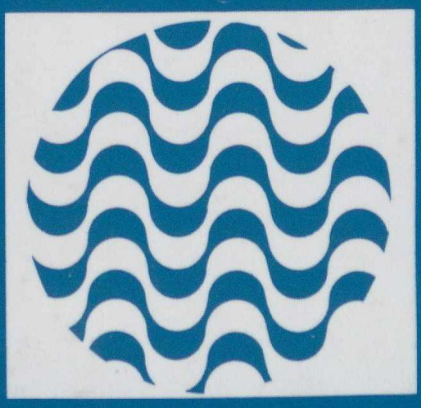
ÖLLŐS GÉZA

SZENNYVÍZ-TISZTÍTÓ TELEPEK ÜZEMELTETÉSE II.



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEK ÜZEMELTETÉSE

II.

V 33568

SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEK ÜZEMELTETÉSE II.

ÖLLŐS GÉZA

egyetemi tanár
a műszaki tudomány doktora
Eötvös Loránd-díjas
Szent-Györgyi Albert-díjas

MTAK 0 00039 36500 2

AKADÉMIAI KIADÓ · BUDAPEST

508.861

Lektor:

Dr. JUHÁSZ ENDRE

a műszaki tudomány
kandidátusa

508861

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

ISBN 963 05 6641 9 (I–II. kötet)
ISBN 963 05 6858 6 (II. kötet)

Kiadja az Akadémiai Kiadó
1117 Budapest, Prielle Kornélia u. 19–35.

Első magyar nyelvű kiadás: 1994–1995
© Öllős Géza, 1995

Minden jog fenntartva.

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat igazgatója
A nyomdai munkálatokat az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat végezte
Felelős vezető: Zöld Ferenc
Budapest 1995
Nyomdai táskaszám: 23 691
Felelős szerkesztő: Polyánszky Piroska – Műszaki szerkesztő: Merkly László
A kötésterv Székely Edit munkája
Kiadványszám: 4/94/8
Terjedelem: 46,8 (A/5) ív

Printed in Hungary

M. TUD. AKADÉMIA KÖNYVTÁRA
Könyvleltár 5537./19 95 sz.

TARTALOM

Bevezetés 11

1. Szagszabályozás 15

1.1. Szagemisszió keletkezési forrásai 15
1.2. A szagvegyületek biológiai keletkezése 16
1.2.1. Hidrogén-szulfid-képződés 17
1.3. Szagazonosítás (identifikálás) és -mérés 19
1.4. Szagpanaszok 21
1.5. A szagproblémák kiküszöbölése, szagvegyületek eltávolítása 21
1.5.1. A szennyvíz szagvegyületeinek kémiai kezelése 22
1.5.2. A levegőben lévő szagvegyületek eltávolítása 24
1.5.2.1. Szageltávolító torony 24
1.5.2.2. A levegőben lévő szagvegyületek további eltávolítási módjai 26
1.5.2.3. Szimultán szagtisztítás eleveniszapos medencében 34
1.5.3. A szageltávolító eljárások összehasonlítása az üzemeltetői vélemények alapján 34
1.5.4. A szagproblémák, jelentkezési helyeik és kiküszöbölésük lehetséges módjai 37
1.6. Irodalom 39
1.7. Kérdések 40

2. Szennyvíz-utótisztítás 41

2.1. Szennyvíz-utótisztítási eljárások 43
2.1.1. Kérdések 48
2.2. Lebegőanyag-eltávolítás az utóülepített szennyvízből 48
2.2.1. Az utóülepített szennyvíz lebegőanyag-tartalmának eltávolítása mikroszitaszűrővel 48
2.2.1.1. A mikroszitaszűrő jellemzése 48
2.2.1.2. A mikroszitaszűrő üzemeltetési problémái, javasolt megszüntetési módok 51
2.2.1.3. Kérdések 54
2.2.2. Utóülepített szennyvíz lebegőanyag-tartalmának eltávolítása gyorsszűréssel 54
2.2.2.1. A gyorsszűrő jellemzése 55
2.2.2.2. Üzemeltetési stratégia 62
2.2.2.3. Üzemeltetési problémák, megszüntetésük módjai 63
2.2.2.4. Kérdések 65
2.2.3. Utóülepített szennyvíz lebegőanyag-tartalmának eltávolítása kémiai tisztítással 66

2.2.3.1. Polimer pelyhesítőszerek ... 66
2.2.3.2. Alumínium-szulfát (szilárd, kristályos) ... 67
2.2.3.3. Alumínium-szulfát (folyékony) ... 67
2.2.3.4. Ferriklorid ... 68
2.2.3.5. Mész ... 68
2.2.3.6. Vegyszerbekeverő, -adagoló és -mennyiségmérő berendezések ... 68
2.2.3.7. Vegyszeradag-meghatározás ... 69
2.2.3.8. Üzemeltetési problémák, kiküszöbölésük ajánlott módjai ... 72
2.2.3.9. Kérdések ... 73
2.3. Foszforeltávolítás ... 74
2.3.1. A tisztítási folyamatok foszforeltávolító hatásfoka ... 74
2.3.2. Kémiai kicsapatás ... 75
2.3.2.1. Foszforeltávolítás fémsókkal ... 75
2.3.2.2. Foszforeltávolítás meszes kicsapatással ... 77
2.3.2.3. Foszforeltávolítás alumínium-szulfátos kicsapatással ... 81
2.3.2.4. Kérdések ... 82
2.3.3. Biológiai foszforeltávolítás ... 82
2.3.3.1. A folyamat jellemzése ... 82
2.3.3.2. Az üzemeltetés fő alapelvei ... 84
2.3.3.3. Napi üzemeltetés ... 84
2.3.3.4. Biztonság ... 85
2.3.3.5. Kérdések ... 85
2.3.4. Nitrogéneltávolítás ... 85
2.3.4.1. Nitrifikáció–denitrifikáció ... 87
2.3.4.2. Ammóniakiűzés (stripping) ... 91
2.3.4.3. Ammóniaoxidálás töresponti klórozással ... 94
2.3.4.4. Ammóniagáz-eltávolítás ioncseréléssel ... 94
2.3.4.5. Úszó vízinövények tápanyag-eltávolítása ... 94
2.3.5. Irodalom ... 99
2.3.6. Kérdések ... 100

3. Iszapstabilizálás ... 101

3.1. Anaerob iszapstabilizálás (rothasztás) ... 103
3.1.1. Az iszapstabilizálás folyamatai ... 103
3.1.1.1. Anyagcsere-folyamatok ... 103
3.1.1.2. A metánbaktériumok tápanyagok szerinti osztályozása ... 104
3.1.1.3. A sav- és metánképződés közötti egyensúly ... 106
3.1.1.4. A keverés szerepe ... 107
3.1.1.5. A hőmérséklet szerepe ... 108
3.1.1.6. Az „utórothasztó" (fázisszétválasztó) szerepe ... 110
3.1.2. Fűtetlen (hideg) rothasztók (oldómedencék) ... 111
3.1.2.1. Az üzemeltető feladatai ... 112
3.1.2.2. Hatásfok- és üzemeltetési tapasztalatok ... 113
3.1.3. Fűtött anaerob iszapstabilizálás (rothasztás) ... 115
3.1.3.1. Rothasztó műtárgy ... 115
3.1.3.2. A rothasztóban lévő iszap keverése ... 120
3.1.3.3. A rothasztó fűtése ... 123
3.1.3.4. A rothasztásra kerülő iszap jellemzése ... 123
3.1.3.5. A rothasztó beindítása ... 124
3.1.3.6. A rothasztó táplálása ... 126
3.1.3.7. Az anaerob reaktorok egyensúlyban tartása ... 130

3.1.3.8. pH-szabályozás ... 132
3.1.3.9. A savas reaktor neutralizálása ... 136
3.1.3.10. A neutralizáló vegyszerek hatása, összehasonlításuk ... 137
3.1.3.11. Habszabályozás ... 140
3.1.3.12. Gáztermelődés ... 141
3.1.3.13. Iszapvíz és szilárd anyagok ... 141
3.1.3.14. Illékony sav/lúgosság-kapcsolat ... 144
3.1.3.15. Üzemeltetési stratégia ... 146
3.1.3.16. Ellenőrző mérések, megfigyelések ... 146
3.1.3.17. Toxicitás ... 151
3.1.3.18. A rothasztóhatékonyság indikátorai ... 153
3.1.3.19. A rothasztó tisztítása ... 154
3.1.3.20. Biztonság a tisztításnál ... 155
3.1.3.21. A nagyterhelésű rothasztó üzemeltetési zavarai, kiküszöbölésük lehetséges módjai ... 156
3.1.3.22. Kérdések ... 165
3.2. Aerob iszapstabilizálás ... 166
3.2.1. A folyamatok jellemzése ... 166
3.2.2. Üzemeltetés ... 168
3.2.3. Üzemeltetési információk feljegyzése ... 169
3.2.4. Tiszta oxigénes aerob iszapstabilizálás ... 169
3.2.5. Az aerob iszapstabilizáló reaktor üzemzavarai, kiküszöbölésük lehetséges módjai ... 170
3.2.6. Irodalom ... 173
3.2.7. Kérdések ... 174

4. Iszapkezelés ... 175

4.1. Az iszapok típusai és jellemzői ... 175
4.1.1. Az iszapokkal kapcsolatos általános üzemeltetési tapasztalatok ... 178
4.1.2. Az iszaptömeg és a térfogat változása ... 181
4.1.3. Az iszapokban lévő patogén szervezetek ... 183
4.1.4. Kérdések ... 185
4.2. Sűrítés ... 185
4.2.1. Gravitációs sűrítés ... 187
4.2.1.1. A gravitációs sűrítést befolyásoló tényezők ... 189
4.2.1.2. A sűrítő beindítása ... 193
4.2.1.3. Vegyszeradagolás a gravitációs sűrítéshez ... 193
4.2.1.4. Az elő-, szimultán és utókicsapatási lépcsőből származó iszapok sűríthetősége ... 194
4.2.1.5. Iszapsűrítés a hatékonyabb iszapstabilizálás érdekében ... 199
4.2.1.6. A gravitációs sűrítő hatékonysága ... 199
4.2.1.7. Gravitációs elősűrítés ... 200
4.2.1.8. Lehetséges üzemeltetési zavarok, kiküszöbölésük ... 202
4.2.1.9. Kérdések ... 207
4.2.2. Oldott levegős flotációs sűrítés ... 208
4.2.2.1. Flotációs eljárások ... 209
4.2.2.2. A flotációs sűrítés folyamata ... 209
4.2.2.3. A flotáció hatékonyságát befolyásoló tényezők ... 212
4.2.2.4. A flotált iszap eltávolítása ... 215
4.2.2.5. A flotációs sűrítés hatékonysága ... 216

4.2.2.6. A flotációs sűrítést zavaró tényezők és a zavarok kiküszöbölési módjai ... 216
4.2.2.7. Kérdések ... 220
4.2.3. Centrifugás sűrítés ... 220
4.2.3.1. Dekantáló centrifuga ... 223
4.2.3.2. Tálcás centrifuga ... 229
4.2.3.3. Dobcentrifuga ... 231
4.2.3.4. Centrifugák teljesítményadatai ... 233
4.2.3.5. A centrifugák üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük lehetséges módjai ... 234
4.2.3.6. Kérdések ... 242
4.2.4. Iszapsűrítés mikroszitaszűréssel ... 243
4.3. Iszapkondicionálás ... 243
4.3.1. Kémiai kondicionálás ... 244
4.3.1.1. Befolyásoló tényezők ... 244
4.3.1.2. Szervetlen kondicionáló vegyszerek ... 247
4.3.1.3. Szerves kondicionáló vegyszerek ... 248
4.3.1.4. Kondicionálószer-dózis meghatározása ... 250
4.3.1.5. A vegyszeroldat előkészítése ... 251
4.3.1.6. Kondicionálószer adagolása ... 254
4.3.1.7. Jellemző kondicionálószer-adagok ... 254
4.3.1.8. A kémiai kondicionálás üzemeltetési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése ... 255
4.3.1.9. Kérdések ... 257
4.3.2. Termikus kondicionálás ... 257
4.3.2.1. Eljárások ... 257
4.3.2.2. A termikus iszapkondicionálás igénye ... 259
4.3.2.3. A termikus kondicionálást befolyásoló tényezők ... 260
4.3.2.4. Hőkezeléses kondicionálás ... 261
4.3.2.5. Alacsony nyomású oxidációs kondicionálás ... 262
4.3.2.6. Üzemeltetési vezérfonal ... 264
4.3.2.7. Normál üzemeltetési lépések ... 265
4.3.2.8. A termikus kondicionálás előnyei és hátrányai ... 266
4.3.2.9. A termikus kondicionálás üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük lehetőségei ... 267
4.3.2.10. Kérdések ... 272
4.3.3. Iszapmosatásos (elutriáció) kondicionálás ... 272
4.3.3.1. Célja ... 272
4.3.3.2. Az alkalmazhatóság problémái ... 272
4.3.3.3. Üzemeltetés ... 273
4.3.3.4. Kérdések ... 273
4.4. Iszapvíztelenítés ... 274
4.4.1. A víztelenítés célja ... 274
4.4.2. A víztelenítési eljárás megválasztása ... 274
4.4.3. A víztelenítési folyamat összehangolása a telepnagysággal ... 275
4.4.4. Az alternatív iszapvíztelenítő eljárások összehasonlítása ... 277
4.4.5. Hagyományos iszapvíztelenítő ágy kialakítása, üzemeltetése ... 281
4.4.5.1. Üzemeltetési tapasztalatok ... 284
4.4.5.2. Az iszapágy hatékonysága ... 289
4.4.5.3. A hagyományos iszapágyak üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük lehetséges módjai ... 291

4.4.5.4. A vákuumágyas iszapvíztelenítés üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük módjai ... 298
4.4.5.5. Kérdések ... 298
4.4.6. Szilárd fenékburkolatú iszapágyak ... 298
4.4.6.1. A dréneződés és a párolgás mechanizmusain alapuló szilárd burkolatú iszapágy ... 300
4.4.6.2. Az iszapvízelfolyás és a párolgás mechanizmusain alapuló szilárd fenékburkolatú iszapágy ... 302
4.4.6.3. Kérdések ... 303
4.4.7. Iszaplagúna ... 303
4.4.7.1. Iszapvíztelenítő lagúna ... 304
4.4.7.2. Kérdések ... 307
4.4.7.3. Fakultatív iszaptározó lagúna ... 307
4.4.7.4. Kérdések ... 315
4.4.8. A gépi víztelenítési eljárások megválasztása az üzemeltetési tapasztalatok alapján ... 316
4.4.8.1. A nyomószűrés ... 318
4.4.8.2. A nyomószűrési eljárások ... 318
4.4.8.3. Vákuumszűrés ... 334
4.4.8.4. Szalagszűrőprés ... 351
4.4.8.5. Centrifugás iszapvíztelenítés ... 370
4.4.8.6. A normál iszapvíztelenítésen túlmenő iszaptérfogat-csökkentés ... 373
4.4.8.7. Iszapégetés ... 391
4.4.8.8. Iszapégetőből kikerülő hamu minősége, kezelése, elhelyezése ... 416
4.4.8.9. Iszapszárítás granulátumkészítés céljából ... 420
4.4.9. Irodalom ... 424

5. A szennyvíziszap elhelyezése ... 431

5.1. Elhelyezési módok ... 431
5.2. A talajbeli tisztítás folyamatai ... 435
5.2.1. A talajba juttatott patogén szervezetek túlélése ... 438
5.3. Az iszap tározása ... 439
5.3.1. A szennyvíziszap-tározás típusai, berendezései, módjai és a tartózkodási idő ... 441
5.4. Iszapszállítás ... 446
5.5. Az iszapok kiválasztott területen való elhelyezése ... 448
5.6. Az iszapok feltöltésbe helyezése ... 451
5.6.1. A feltöltésbe helyezés alkalmassága ... 451
5.6.2. A feltöltési módok megválasztása ... 452
5.6.2.1. Csurgalékvíz ellenőrzése ... 452
5.6.2.2. Üzemeltetési szempontok ... 453
5.7. Az iszap mezőgazdasági hasznosítása ... 454
5.7.1. Az iszap mezőgazdasági hasznosításának fő kritériumai ... 454
5.7.2. Iszapelhelyezés mértéke mezőgazdasági területen ... 456
5.7.3. Üzemeltetési hibák szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezése/hasznosítása során ... 457
5.8. Nyárfás szennyvízelhelyező rendszerek üzemeltetési hibái, okai, kiküszöbölésük lehetséges módjai ... 461
5.9. Irodalom ... 467
5.10. Kérdések ... 468

6. A tisztított szennyvíz elhelyezése vízfolyásban ... 470

6.1. Mérések fontossága a szennyvíztisztításban ... 470
6.2. Az elhelyezés folyamatszemlélete ... 471
6.3. Elfolyáselhelyezés a hígulás révén ... 473
6.4. Tisztítási követelmények ... 482
6.5. Hőmérséklet mérése a befogadóban ... 484
6.6. Oldott oxigén mérése a befogadóban ... 485
6.7. Mintázás és analízis ... 487
6.8. A tisztított szennyvíz befogadó vízfolyásba vezetése ... 490
6.9. Irodalom ... 492
6.10. Kérdések ... 494

7. A tisztított szennyvíz elhelyezése talajban ... 495

7.1. A talaj mint szűrőközeg ... 495
7.2. Az eltömődés folyamata ... 496
7.3. A szennyvíz időszakos adagolása ... 499
7.4. Hidraulikai terhelés ... 500
7.5. A szikkasztómező elhelyezése ... 501
7.6. A szerves anyagok biológiai stabilizálásának folyamata a háromfázisú talajban 501
7.7. Szikkasztórendszerek ... 503
7.7.1. Szakaszos terhelésű homokszűrő ... 503
7.7.1.1. A homokszűrő kialakítása ... 503
7.7.1.2. Üzemeltetés, fenntartás ... 506
7.7.2. Recirkulációs homokszűrő ... 507
7.7.3. Szikkasztóárok ... 508
7.7.3.1. Kavics szikkasztóárok ... 508
7.7.3.2. Időszakos üzemű árkos rendszer ... 509
7.7.3.3. Emelt szintű árkos rendszer ... 510
7.7.3.4. Dombos szikkasztórendszer ... 510
7.8. Szennyvíztisztító rendszerek lakóházcsoportok és nagyon kis települések számára 511
7.9. Az elszikkasztással kapcsolatos környezetvédelmi vonatkozású üzemeltetési tapasztalatok ... 514
7.10. Az oldott szerves anyagok sorsa a talajvízben ... 520
7.11. A szennyvízelszikkasztó rendszerek üzemeltetési problémái, okai, ellenőrzésük, kiküszöbölésük módjai ... 521
7.12. Irodalom ... 522
7.13. Kérdések ... 523

BEVEZETÉS

A *szennyvíztisztítás*sal és a *környezetvédelem*mel kapcsolatos igények felismerése, elfogadása, a hozzájuk tartozó interdiszciplináris tudományterületek ismeretanyagának tudatos alkalmazása a Földön rendkívül sokféle formában jelentkezik. A fejlődés elsősorban azokban az országokban okoz gondot, amelyekben nem alakul ki egyértelmű és elfogadott szakmapolitika, ahol az érdekeltségi rendszerek nem tisztázottak, és ahol a gazdasági alapok elégtelenek.

A XX. század végének környezetvédelme a technikai és – a mintegy 150 évvel ezelőtt elkezdődött – ipari korszak elkésett következménye. Ennek a korszaknak az a jellemzője, hogy az élet alapját képező természeti erőforrások védelmére irányuló törekvések csak az utolsó 10–20 évben jelentkeztek. Ennek eredményeként a környezetvédelem jelenleg már hazai és világviszonylatban egyaránt *gigantikus dimenziójú komplex probléma*. A viszonylag hirtelen, de elkésett környezetvédelmi ébredésünk századunk egyik fontos intellektuális jelenségének minősíthető.

A települési és ipari szennyvizek által okozott környezetvédelmi gondok elsősorban a nagy mennyiségű és sokszor veszélyes vegyületeket tartalmazó szennyvizek koncentrált keletkezése, ill. elégtelen mértékű tisztítása miatt jelentkeznek.

A *szennyvíztisztítás terén* a problémák már a tervezéssel kezdődtek. A „házi szennyvizek" szemléletének uralkodó időszakában a szennyvízben levő vegyületféleségek spektruma szűkebb volt, így a szennyvíz szerves anyagainak biológiai lebontását még viszonylag egyszerűbb, tervezhetőbb folyamatmechanizmusok jellemezték. A tisztítás „kielégítő" voltának elfogadását a környezetvédelmi igények és a „tisztított szennyvíz" fogalmának viszonylag toleránsabb értelmezése is segítette. A szennyvíztisztító telepi üzemeltetéssel szemben támasztott követelmények és feltételek megteremtése terén általában a mérsékeltebb igények voltak jellemzők. A szennyvíztisztító telepek üzemeltetése az esetek jelentős részében problémamentesnek tűnt.

Az utóbbi évtizedek *iparfejlesztés*éhez azonban nem minden esetben társult a környezetvédelem igényeit megfelelő mértékben kielégítő vízgazdálkodás, ami a szennyvíztisztításban is egyre inkább érzékelhető, zavaró hatásokat eredményezett. A biológiai szennyvíztisztítási folyamatok szempontjából az inhibitor hatású toxikus és mérgező vegyületek hányadának fokozódó mértékű megjelenése eleve korlátozta a megbízható, garantálható és hatékony szennyvíztisztítást. Az ipari szennyvízkibocsátó források, a szennyvíztisztító telepek és a befogadók közötti kapcsolatban a tudatos rendszerszemlélet kevésbé érvényesült, és a befogadók öntisztító kapacitása sem volt valójában definiált. Az ilyen „befogadó szemlélet" káros volta a

szennyvíztisztítási igények viszonylag alacsonyabb szintjében, a szakterületi kritikai elemek bizonyos mértékű mellőzésében, az igénytelenebb (szakszerűtlenebb) megoldások elfogadását elősegítő nézetek elismerésében nyilvánult meg. Mindezen problémák további oltóanyagaként jelentkezik a gazdasági állapotok szűkös volta is.

A *tervezés* helyzete alapos változáson ment keresztül. Ma a szennyvíztisztítás tervezése jóval nehezebb feladat a korábbi évtizedekhez képest. A biológiai tisztítás szempontjából mértékadó szennyvízminőség- és szennyvízhozam-tartomány biztosítása, az inhibitor vegyületek szennyvízbe kerülésének garantált megelőzése súlyos feladatnak bizonyul. A tervezőnek a megváltozott viszonyokhoz fokozottabban kell alkalmazkodnia. Így például: a) szennyvízgyűjtő és -transzportáló csatornarendszer és a szennyvíztisztító telep között dinamikus modelleken alapuló rendszerkapcsolatot kell megteremteni; b) a szennyvíztisztító telepen, ahol az szükséges, kiegyenlítést kell beiktatni; c) a tisztítási egységek közötti kapcsolatot a már ismert üzemelési tapasztalatok figyelembevételével kell megtervezni; d) a tartózkodási idő, a recirkulációs arány egyszerű (feltételezett) megválasztásán alapuló szemléletet tovább kell fejleszteni; e) a szennyvíztisztító telepek bonyolultabbá vált üzemeltetési folyamatai miatt az alternatív rendszerekre, ezen belül a kombinációs megoldásokra (pl. a recirkulációs aránytartományra, ill. az arány időszakos változtatására), a fölös iszapmennyiség elvételének ütemezésére, a hidraulikai terhelés változtatására, az esetleges vegyszer(ek) időszakos adagolására, ill. mennyiségük célszerű változtatására, továbbá az üzemelési problémák kiküszöbölését segítő lehetőségek megteremtésére már a tervezéskor is fokozottabban kell gondolni. *A rugalmas üzemeltetési feltételeket biztosító tervezés a jövőben már követelmény.* Ennek bizonyítására szolgáljon e könyv számos, sokféle megállapítása.

A fenti követelmények kielégítéséhez elengedhetetlen *a kutató, a beruházó, a tervező és az üzemeltető újszerű kapcsolata.* Különösen fontos ez a tisztítótelep tervezésének, építésének, beindításának és beüzemelésének időszakában. *A szennyvíztisztítás hatékony fejlesztése a jövőben csak ezen tervszerűbb, összehangoltabb „teammunka" alapján képzelhető el.*

A szennyvíztisztító telepeken a telep nagyságrendjétől, a tisztítási követelményektől függően *az igényelt képzettségi szint és a feladatkörök eltérők.* Az azonban egyértelműen igazolódott, hogy csak a tudomány mai szintjének megfelelő üzemeltetés fogadható el. Ma már – amint a könyv lépten-nyomon érzékelteti – rendkívül sokféle üzemelési tapasztalat létezik. Ha az üzemelő ezeket megismeri és az üzemeltetés terén jártasságot szerez, csak akkor várható, hogy a tisztítási igényeket képes kielégíteni. Amennyiben ezek a feltételek nem állnak fenn, az üzemeltetés véletlenszerű események sorozatából áll, így pedig a szennyvíztisztításhoz kapcsolódó környezetvédelemnek aligha lehet eleget tenni. Azt is tudatosítani kell, hogy *az üzemeltetés a nehezebb feladatok közé tartozik.*

A könyv a *tisztítótelepi kutatási szellem* szennyvíztisztításhoz kapcsolódásának szükségességét is felkarolja. *A telep egyedi sajátosságaihoz tartozó tisztítási folyamatok megismerése némi kutatási szellemet is igényel.* A folyamatok azonosítása, periodikus vagy véletlenszerű jelentkezésük, dinamikájuk törvényszerűségeinek felderítése az esetek többségében kitartó, elmélyült kutató jellegű munkát is igényel. Az ilyen szellemű üzemeltetés az üzemeltető érdekeltségi rendszerét, munkájának elismerését jól elősegíti.

Az üzemeltetők folyamatos önképzése, időszakonkénti továbbképzése a szakterületünket reprezentáló tudomány jelenlegi, rohamos fejlődésének időszakában természetes követelmény. Bízom benne, hogy könyvem ezen igényeket is messzemenően képes kielégíteni.

A könyv I. és II. kötete oktatást segítő szakanyagnak is tekinthető. A szennyvíztisztító telepek üzemeltetési alapjainak oktatását az oktatási intézményekben tervszerűen fel kell karolni. *Üzemelésmentes oktatási szemlélet a jövőben már nem fogadható el.*

A kötet nagymértékben támaszkodik a szerző 1991-ben megjelent „Szennyvíztisztítás" c. könyvében foglalt ismeretekre.

A kötet anyagának összeállítását *dr. Kollár György* tudományos munkatárs, laboratóriumvezető és *dr. Mészáros Gábor* főiskolai tanszékvezető tanár gazdag elméleti, gyakorlati, üzemeltetői szemléletükkel, tanácsaikkal segítették. Ilyen irányú támogatásukért ezúton is hálás köszönetemet fejezem ki.

Az üzemeltetés folyamatainak, problémáinak tanulmányozását különböző országokban nagymértékben segítették WHO-ösztöndíjas útjaim.

Nagyon hasznosnak ítélem meg a különböző külföldi kutatási és oktatási intézmények által nyújtott folyamatos támogatást. Ezek közül a kapcsolatok közül kiemelem az United States Environmental Protection Agency (USEPA), az Office of Water Programs CSU, Sacramento, USA (Prof. *Kenneth D. Kerri* program director), az Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.-Westf. Tech. Hochschule Aachen (Prof. *B. Böhnke*), a Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft (Prof. *H. Kroiss*), az Institut für Siedlungswasserwirtschaft Universität Karlsruhe (Prof. *Hermann H. Hahn*), a Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft Technische Universität Graz (Prof. *Helmut Renner*) magas szintű ismereteket tartalmazó, a kutatásokon és az üzemeltetéseken alapuló korszerű kiadványait. Támogatásukért ezúton is köszönetet mondok.

Végül, de nem utolsósorban köszönöm *dr. Juhász Endrének*, a műszaki tudomány kandidátusának értékes, sok szempontot nyújtó lektori tevékenységét.

1. SZAGSZABÁLYOZÁS

1.1. SZAGEMISSZIÓ KELETKEZÉSI FORRÁSAI

A szennyvíz szennyező anyagai a csatornahálózatban és a szennyvíztisztító telepen

– szeparálódhatnak (pl. a csatornahálózatban leülepedhetnek),
– átalakulhatnak (oxidáció révén),
– keletkezhetnek (pl. közbenső vagy végső oxidációs, redukciós termékek), vagy
– a csatorna- és a szennyvíztisztító rendszerben a transzportálódás révén változatlanul átjuthatnak.

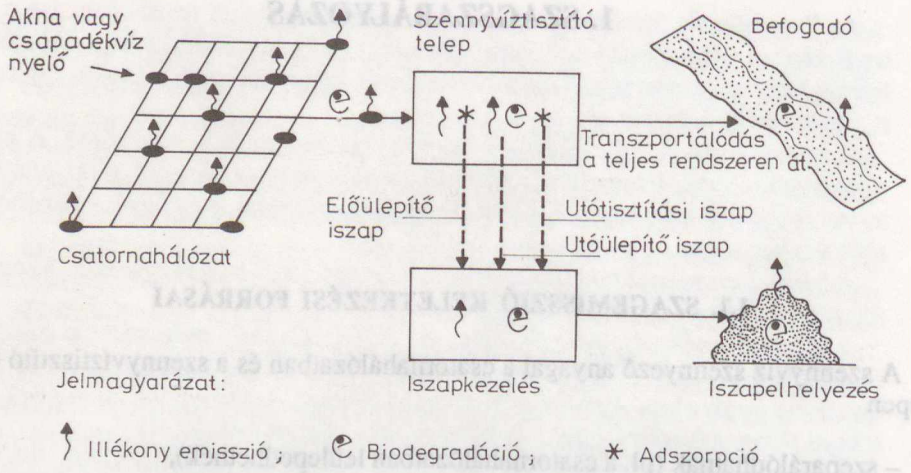
Ezen folyamatokat a következő fő mechanizmusok alakítják:

1. illékony anyagok emissziói (volatile emission),
2. biológiai lebontódás (biodegradation),
3. adszorpció a szilárd anyagok felületén (adsorption),
4. transzportálódás a teljes rendszeren keresztül,
5. anyagok keletkezése az oxidáció, redukció és a fertőtlenítés hatására, vagy a prekurzor vegyületek lebontódása oxidációs melléktermékekké.

Ezek a mechanizmusok *rendszerint nem önállóan, hanem versenyszerű és szimultán mechanizmusok* formájában jelentkeznek.

Az *1. ábra* (Chang et al. nyomán, 1987) szemléletesen érzékelteti, hogy *az illékony emissziók a csatornahálózatban, a tisztítótelepeken, a befogadókban, az iszapkezelés és -elhelyezés során egyaránt jelentkezhetnek.* Jelentkezésük azonban nem törvényszerű, csak akkor az, ha feladataink végrehajtásakor a szakszerűség, az ismeretek hiánya, gazdasági tényezők vagy gondatlanság miatt kielégítő mértékben nem érvényesülnek.

A szagforrások a *szennyvíztisztító telepeken* a következők lehetnek: a) a hidrogén-szulfid és egyéb szagkomponenseket tartalmazó szeptikus (anaerob állapotú) szennyvíz; b) egyes ipari szennyvizek, melyek a csatornahálózatba kerülnek; c) rácsszemét és kimosatlan homok (grit); d) szeptikus szennyvizeket tisztító berendezések; e) az elő- és utóülepítő felszínére felúszott iszap; f) szerves anyagokkal túlterhelt biológiai szennyvíztisztítási folyamatok; g) iszapsűrítő medence; h) hulladékgáz-égető műveletek, amelyekhez az optimálisnál alacsonyabb hő-



1. ábra. Az illékony vegyületek emissziója, a biodegradáció és az adszorpció jelentkezése a csatornahálózatban, a szennyvíztisztító telepen és a befogadóban

mérséklet alkalmazott; i) iszapkondicionáló és -víztelenítő műveletek; j) iszapégetők; k) rothasztott iszap iszapszikkasztó ágyakon vagy iszaplagúnákban; l) iszapkomposztáló telepek.

A hosszabb csatornahálózatok hosszabb hálózatbeli lefolyási időt, az esetek zömében anaerob állapotot és csatornakorróziót eredményez. Így a szennyvíztisztító telepek sok esetben *a csatornahálózat és a tisztítótelep közötti kapcsolat miatt* is eleve szagproblémáknak alávetettek.

1.2. A SZAGVEGYÜLETEK BIOLÓGIAI KELETKEZÉSE

A szagok fő forrásai a biológiai folyamatok során:

a) a szervetlen gázokban nincs (pl. H_2S), vagy csak egy szénatom van jelen;

b) a szerves gázokban több mint egy szénatom van jelen (pl. indol, C_8H_7N).

A tisztítótelepi üzemeltető számára a legnagyobb gondot a szervetlen gázok, a hidrogén-szulfid (H_2S) és az ammónia (NH_3) jelenléte okozza, mert ezek a legbűzösebbek.

Egyéb szaghatást nem okozó, a normál növényi és állati biológiai aktivitás produktumai a telepeken a szén-dioxid- (CO_2), metán- (CH_4), nitrogén- (N_2), oxigén- (O_2) és hidrogéngáz (H_2).

A szennyvíztisztító telepek körüli szerves gázok például

– a *merkaptán* vegyületek, melyek rendkívül bűzösek, kéntartalmúak;
– az *indol* (C_8H_7N) nitrogéntartalmú, ammóniaszagú szerves vegyület;
– a *szkatol* C_9H_9N) nitrogéntartalmú, fekáliaszagú szerves vegyület.

A szerves anyagok normál biológiai oxidációjakor a mikroorganizmusok a szerves vegyületekből hidrogénatomokat vonnak el, miközben az oxigén kötött formáit energiaszerzés céljából hasznosítják.

A hidrogénátadás (hydrogen transfer) sémái a szagtalan és a szagtartalmú vegyületek képződése közbeni hidrogénatom szerepkört jól érzékeltetik:

Hidrogénakceptor		Átadott hidrogén-atomok	Végtermék
AEROB REAKCIÓ			
O_2 (molekuláris oxigén)	+	$4\ H^+ \rightarrow$	$2\ H_2O$ víz (szagtalan)
ANAEROB REAKCIÓK			
$2\ NO_3^-$ (nitrát)	+	$12\ H^+ \rightarrow$	$N_2 + 6\ H_2O$ nitrogéngáz (szagtalan)
CO_2 (szén-dioxid)	+	$8\ H^+ \rightarrow$	$CH_4 + 2\ H_2O$ metángáz (viszonylag szagtalan)
SO_4^{2-} (szulfát)	+	$10\ H^+ \rightarrow$	$H_2S + 4\ H_2O$ (hidrogén-szulfid-gáz) (szagot okozó)
Oxidált szerves vegyületek	+	$n\ H^+ \rightarrow$	Részben oxidált szerves anyagok (szagot okozók)

A „szigorúan aerob baktériumok" (vagy „obligát aerobok") csak molekuláris oxigént (O_2) képesek hasznosítani. A „fakultatív mikroorganizmusok" molekuláris oxigént és kötött oxigénforrásokat – mint például nitrátot – tudnak felhasználni. A „szigorúan anaerob mikroorganizmusok" (vagy „anaerobok") a kötött oxigénforrásokat – mint például a nitrátot –, szulfátot képesek hasznosítani.

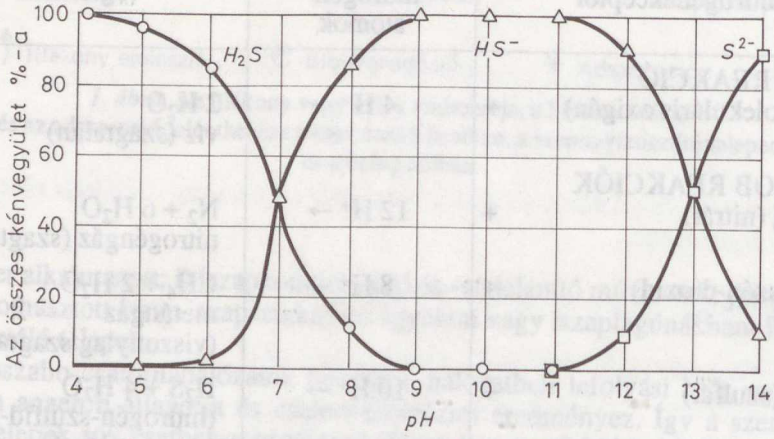
1.2.1. HIDROGÉN-SZULFID-KÉPZŐDÉS

A szennyvízrendszerekben a szagok jelenlétének legfőbb oka a hidrogén-szulfid.

A szulfidvegyületek a kéntartalmú, szerves vegyületek lebontódásából keletkeznek. A lebontódás kisebb mértékű forrása a protein ($C_{16}H_{24}O_5N_4$), amely a szennyvízben a fecesben lévő ki nem rothadt aminosavak és a vizeletben lévő instabil húgyanyag (karbamid) formájában van jelen. A szagkeltő szulfid nagyobb hányada azonban a kéntartalmú, szerves vegyületek lebontódásából képződik.

A szennyvíz fő kénvegyülete a szulfát, amely a vízellátásból és az iparból származik.

A szennyvízbeli oldott oxigén jelenléte vagy hiánya a hidrogén-szulfid jelenlétét vagy hiányát determinálja. Oldott oxigén jelenlétében a szulfátionok szulfátként maradnak jelen. Oldott oxigén hiányában a szulfát a biológiai lebontás során szulfiddá redukálódik, miközben a szulfátvegyületekben lévő kötött oxigén a szerves anyag lebontásához energiaforrásul szolgál. A szennyvízben azonban a szulfát és minden lényeges elem jelen lehet, mégsem keletkezik szulfid, hiszen a szennyvíz pH-ja fontos befolyásoló tényező: a hidrogén-szulfid rendkívül pH-függő *(2. ábra)*. A szulfid a szennyvízben háromféle formában lehet jelen, a pH-tól függően: S^{-2}-ion, HS^--ion vagy H_2S-gáz. Az ion formájú szulfid oldatban van, ezért a szennyvízből nem diffundálhat ki. A gáz formájú szulfid a szennyvízből kidiffundálhat és így *szag keletkezik*. A hidrogén-szulfid zöme a szennyvízből a pH<5 nagyságrend alatti tartományban diffundál ki, ezáltal



2. ábra. A pH hatása a hidrogén-szulfid–szulfid egyensúlyra

- szag-,
- korróziós,
- robbanásveszély és
- respirációs problémák

keletkeznek.

A hidrogén-szulfid keletkezését a hőmérséklet is befolyásolja. A keletkezés mértéke 30 °C-on vagy az a feletti hőmérsékleten a legnagyobb.

1.3. SZAGAZONOSÍTÁS (IDENTIFIKÁLÁS) ÉS -MÉRÉS

Az emberi orr a legtöbb műszernél érzékenyebb, azonban az egyes személyek toleranciaszintje a különböző szagokra eltérő.

A hidrogén-szulfid-szag ólomacetát-próbával *észlelhető*. Speciális gázok észleléséhez gázészlelő műszerek is rendelkezésre állnak.

A szagok *mérése* jelenleg kétféle módon történik:

a) Az *olfaktometer* működési elve az, hogy a szagokat szagmentes levegővel hígítják (Metcalf and Eddy, Inc., 1979). Végül a *szagküszöb*-érték adódik ki, ami valamely szagtartalmú gáz- vagy folyadékminta minimális szagkoncentrációja, ami még kimutatható.

b) A *szagpanel* a személyek olyan csoportja, akiket a szagok észlelésére kiválasztanak (Öllős, 1991, 14. fejezet).

A szagok osztályozását a következő üzemelési tapasztalatok is segítik (Ikesaki és Kerri, 1989):

1. minden személynek szagérzete van,
2. az egyének ugyanazon szagra eltérően reagálnak,
3. egyes szagok kifogásoltak, mások kellemesek,
4. a szagok szélirányban nagy távolságokra eljuthatnak,
5. a kis koncentrációjú szagok is kellemetlenek lehetnek,
6. hasonló vegyületek szaga eltérő,
7. az emberi orr a szagokra gyorsan érzéketlenné válik.

Néha nem a szennyvíztisztító telepen dolgozó személy észleli a szagokat, ugyanakkor az üzemeltető nem érzékeli azokat, mert az orra a már megszokott szagra érzéketlenné vált.

A szagok a következő csoportokba sorolhatók:

- görény,
- rothadt káposzta,
- hal,
- ammónia,
- fekália,
- záptojás és
- lebomló hús.

Ezekkel a csoportinformációkkal az üzemeltető a szagforrások felderítését, majd azok megszüntetését meg tudja kezdeni.

A *görényszagokat* gyakran kénvegyületeket tartalmazó szerves gázok eredményezik. Ezek a szagok rendszerint merkaptánok.

A *rothadtkáposzta-szagokat* a kénvegyületekkel társult szerves vegyületek keltik. Rendszerint a szagot eredményező szerves vegyület dimetil-szulfid.

A *halszagok* nitrogéntartalmú szerves vegyületek. Az ilyen szagok jellemzően a dimetil-amin jelenlétéből származnak.

Az *ammóniaszagok* a nitrogéntartalmú szerves vegyületekből erednek. Ilyen vegyület például az indol.

A *fekáliaszagokat* a szkatol okozza, amely nitrogéntartalmú szerves vegyület.

A *záptojásszagok* eredői a hidrogén-szulfid-molekulák.

A *lebomló hús-szagokat* a diaminok okozzák, amelyek ammónia típusú vegyületek.

Minden szagvegyület hasonló, de valamennyien eltérő szagérzetet keltenek. A szagproblémák kiküszöbölési módjai a *keverékszagok* esetében eltérők, mert ez esetben különböző vegyületekkel állunk szemben.

A szaganyagokat, jellemzőiket, szagküszöbértékeiket az *1. táblázat* összegzi (WPCF, 1976).

1. táblázat. Szagjellemzők

Szaganyag	Jellemzői	Jellemző szagküszöbérték,* mg/l
Alkil-merkaptán	Nagyon kellemetlen, fokhagymához hasonló	0,000050
Ammónia	Erős, szúrósszagú	0,037000
Benzil-merkaptán	Kellemetlen	0,000190
Klór	Irritáló	0,010000
Klórfenol	Gyógyszerszerű	0,000180
Merkaptán	Görényszagú	0,000029
Difenil-szulfid	Kellemetlen	0,000048
Etil-merkaptán	Rothadtkáposzta-szag	0,000190
Etil-szulfid	Émelyítő	0,000250
Hidrogén-szulfid	Záptojás	0,001100
Metil-merkaptán	Rothadtkáposzta-szag	0,001100
Metil-szulfid	Rothadó zöldség-szag	0,001100
Piridin	Irritáló	0,003700
Szkatol	Fekália	0,001200
Kén-dioxid	Irritáló	0,009000
Tiokrezol	Avas, görényszaghoz hasonló	0,000100
Tiofenol	Rothadó, orrfacsaró	0,000062

Megjegyzés:

* Az irodalomban közölt szagküszöbértékek egymástól gyakran eltérnek.

1.4. SZAGPANASZOK

A szennyvíztisztító telepeken időszakonként keletkező és a lakosság által észlelt szagok miatt az üzemeltetőnek a lakossággal azonnal kapcsolatba kell kerülnie, hiszen *a lakosság a víziközmű-szolgáltatásokért fizet.*

Az üzemeltető valamely lakóházat soha ne közelítsen meg negatív hozzáállással, különben a lakók közérzete azonnal felborul. Ha az üzemeltető a szagot nem tudja észlelni, amikor a szagpanaszokra válaszol, az még nem jelenti azt, hogy a szag nem létezett vagy nem létezik. Az üzemeltető orra a lakossági orrokhoz képest lehet, hogy már kevésbé érzékeny, sőt egyes szagokra nézve teljesen érzéketlen is lehet.

Ha a lakosság a szennyvíztisztító telep ellen hangolódik és egyesül, a legkisebb szaghatás is felzúdulást okozhat. Az üzemeltető a kapcsolattartásban legyen diplomatikus. A panaszt tevőket meg kell hívni a szennyvíztisztító telepre látogatás céljából. Miközben az üzemeltető körülvezeti őket a telepen, lehet, hogy felismerik a szag keletkezési helyét, rámutatnak arra a helyre, ahol az a legerősebb, s ami őket zavarja. Ez az üzemeltetőnek segítséget jelenthet.

A panasz helye, környezetének vizsgálata is nagyon hasznos lehet, hiszen a szagok

- a szennyvízgyűjtő csatornahálózatból,
- záporvízlefolyásból,
- szeméthalomból,
- házi szennyvízvegyületekből,
- elhalt állatokból

is származhatnak. Ha a szagpanasz ismétlődik és a szag keletkezési helye azonosítható, célszerű a szag jelentkezésének időszakában a telep egy dolgozóját a helyszínre küldeni, a szagforrás felderítése céljából.

1.5. A SZAGPROBLÉMÁK KIKÜSZÖBÖLÉSE, A SZAGVEGYÜLETEK ELTÁVOLÍTÁSA

A szagproblémák kiküszöböléséhez megfelelő problémaanalízis szükséges. Ennek lépcsői:

1. A problématerületen inspekció és vizsgálatok.
2. A szag azonosításának vagy okának kiderítése.
3. A telepfenntartás felülvizsgálata.
4. A telepi üzemeltetés felülvizsgálata.
5. A telephatékonyság felülvizsgálata.
6. A telephatékonyság értékelése.
7. A telep tervezési és üzemeltetési sajátosságainak felülvizsgálata.

8. A szagproblémákkal kapcsolatos valamennyi szóba jöhető gond áttekintése.

9. A szag megszüntetése érdekében a legjobb tisztítótelep kialakítása, és üzemeltetési megoldások bevezetése.

Azt is szem előtt kell azonban tartani, hogy szennyvíztisztító telepen bárminemű üzemelésmódosítás *új szagproblémák forrása is lehet.*

A szag gyakran több gáz kombinációjából eredhet. Ez utóbbi esetben az egyszerű megszüntetési megoldás általában nem vezethet eredményre. Előfordulhat, hogy az adagolt vegyszerek – amelyek a legerősebb szagot ugyan megszüntetik – újabb, esetleg még erőteljesebb szagokat eredményezhetnek.

A szagkiküszöbölés alapja az anaerob állapot keletkezésének megakadályozása és/vagy a szagvegyületeket produkáló organizmusok aktivitásának gátlása vagy leállítása.

1.5.1. A SZENNYVÍZ SZAGVEGYÜLETEINEK KÉMIAI KEZELÉSE

Számos kémiai kezelési mód ismert:

1. *Klórozás.* A klór nagyon reaktív lévén, számos szennyvízbeli szennyezőanyag-komponenst képes oxidálni. Gyakran alkalmazzák a szagtalanításhoz és a szagszabályozáshoz is.

A klór és a hidrogén-szulfid közötti reakció:

$$H_2S + 4\ Cl_2 + 4\ H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 8\ HCl. \quad (1)$$

Az ammónia és a klór közötti reakciók a klóramin-komponensekre vezetnek:

$$NH_3 + Cl_2 \rightarrow NH_2Cl + HCl \quad (2)$$

$$NH_2Cl + Cl_2 \rightarrow NHCl_2 + HCl \quad (3)$$

$$NHCl_2 + Cl_2 \rightarrow NCl_3 + HCl \quad (4)$$

A klór szagszabályozó mechanizmusai:

a) gátolja a biológiai hártya képződését, ill. aktivitását a szennyvízcsatornákban,

b) a szulfátot szulfiddá redukáló baktériumokat elpusztítja,

c) a hidrogén-szulfidot eloxidálja [(1) egyenlet].

A klóros *megelőző szagszabályozás vegyszerigénye kevesebb, mintha a már keletkezett szagot kellene oxidálni.* Ez azt jelenti, hogy *a klórt már a szennyvíztisztító telep előtti csatornaszakaszba kell adagolni.* A csatornabeli hidrogén-szulfid szabályozásakor 12 mg/l klór szükséges minden 1 mg/l szulfidhoz.

A szagok azonban klórral nem minden esetben távolíthatók el. A klór bizonyos vegyületekkel még inkább szagtartalmú gázt okoz. Így például a fenolból gyógyszerszagú vegyület, klórfenol képződik.

2. *Hidrogén-peroxid.* Háromféle úton szabályozza a szagot:

a) *Oxidáló hatása* révén a szagvegyületeket szagmentes állapotúvá teszi. Például: a hidrogén-szulfidot szulfátvegyületekké alakítja:

$$H_2S + H_2O_2 \rightarrow H_2O + \text{szulfátvegyületek} \qquad (5)$$

A szabályozáshoz 2:1–4:1 dózis szükséges a H_2O_2-ból az S^{2-} átalakításához.

b) *Oxigéntermelődés* révén a szagvegyületek keletkezése gátlódik, hiszen a rendszer aerob marad.

c) *A szulfátredukáló baktériumokat* elöli, ezáltal azok szagképző biológiai aktivitása nem érvényesül. Ez a mechanizmus azonban a nagy H_2O_2-dózisigény miatt nem gazdaságos.

3. *Oldott oxigén.* A levegőztetés révén a szennyvíz aerob állapota biztosítható. Az oxigén szennyvízbe vitele a redoxipotenciált növeli [az elektromos potenciál az elektronok egyik vegyületből vagy elemből (oxidáló) a másik vegyületbe vagy elembe (redukáló) viteléhez szükséges], így a szagtartalmú gázok keletkezését csökkenti. *Nagy redoxipotenciál esetében a szulfátion oxigénforrás szerepet nem játszik, így a szag elmarad.*

A felfelé irányuló levegőztetés során a hidrogén-szulfid is kilevegőződik a szennyvízből (ha jelen van), összegyűjthető és kezelhető. Ha a szagok (mint gázok) nem megfelelően kezeltek, lokális korrózió- és szagproblémák keletkeznek.

4. *Ózon.* A szagvegyületeket hatásosan oxidálja, azonban a nagy szennyvíztisztító telepeken alkalmazása költséges.

5. *Kromát.* A kromátvegyületek a szulfát szulfiddé redukálását gátolják. Azonban ezúton nehézfémek kerülnek a szennyvízbe, ill. az iszapba, ami erős szagképződéssel jár. A kromát súlyos toxikus állapotot idéz elő.

6. *Fémionok.* Bizonyos (főleg cink) fémionok a szulfidvegyületekkel csapadékot alkotnak. A csapadékok oldhatatlanok és a biológiai folyamatokra (pl. a rothasztásra) toxikus hatásúak, ezért alkalmazásuk korlátozott.

7. *Nitrátvegyületek.* Ha a nitrátionok koncentrációja elegendő, a szulfát nem redukálódik. Nagy költségük miatt jelenleg nem alkalmazzák.

8. *pH-szabályozás.* Rövid idejű, pH>12,5 tartomány beállítása, NaOH-adagolással, hatékony szulfidszabályozó, a csatornabeli hőmérséklettől és az ottani állapotoktól függően. pH=13 szinten a HS^--ionok és az S^{2-}-ionok koncentrációja közelítőleg azonos és H_2S nem képződik *(2. ábra)*. Az adagolás időtartamára gondot kell fordítani, nehogy a biológiai szennyvíztisztítás kárt szenvedjen.

1.5.2. A LEVEGŐBEN LÉVŐ SZAGVEGYÜLETEK ELTÁVOLÍTÁSA

1.5.2.1. SZAGELTÁVOLÍTÓ TORONY

A szageltávolító torony 6–9 m magas, rendszerint műanyag töltetű, kis terhelésű (0,3 kg $BOI_5/m^3 \cdot d$) csepegtetőtest. A hidraulikai terhelés 1,6–2,0 l/töltet $m^2 \cdot s$ legyen, így a nitrifikáló zoogleatömeg jelenléte a töltet felszínén biztosítható. A szennyvíztisztító telepen összegyűjtött tisztítandó gázok a torony aljára vezetendők (*3. ábra;* Ikesaki és Kerri, 1989; Sacramento körzeti konzultánsok).

Amint a szagtartalmú levegő a toronyban felfelé áramlik, a szag elfogadható szagszintig oxidálódik, majd a torony tetején keresztül a légtérbe távozik. A toronyban kétféle áramlás létezik:

a) *lefelé* a biológiailag tisztított szennyvíz mozog, miáltal a töltőtestben a biológiai hártya folyamatosan biztosítható,
b) *felfelé* a levegő mozog, magával szállítva a szagvegyületeket.

A torony terhelési adatait a *2. táblázat* tartalmazza.

2. táblázat. A torony terhelési adatai

Terhelés	Mértéke
Szervesanyag-terhelés	0,3 kg BOI_5/m^3 töltőtest · d
Hidraulikai terhelés	1,6–2,0 l/m^2 töltőanyagtest-felület · s
Szagvegyületeket szállító levegőterhelés	0,63 m^3/m^2 töltőanyag-felület · s
Levegőáramlás átlagos sebessége	46 m/min
Maximális recirkulációs arány	7:1

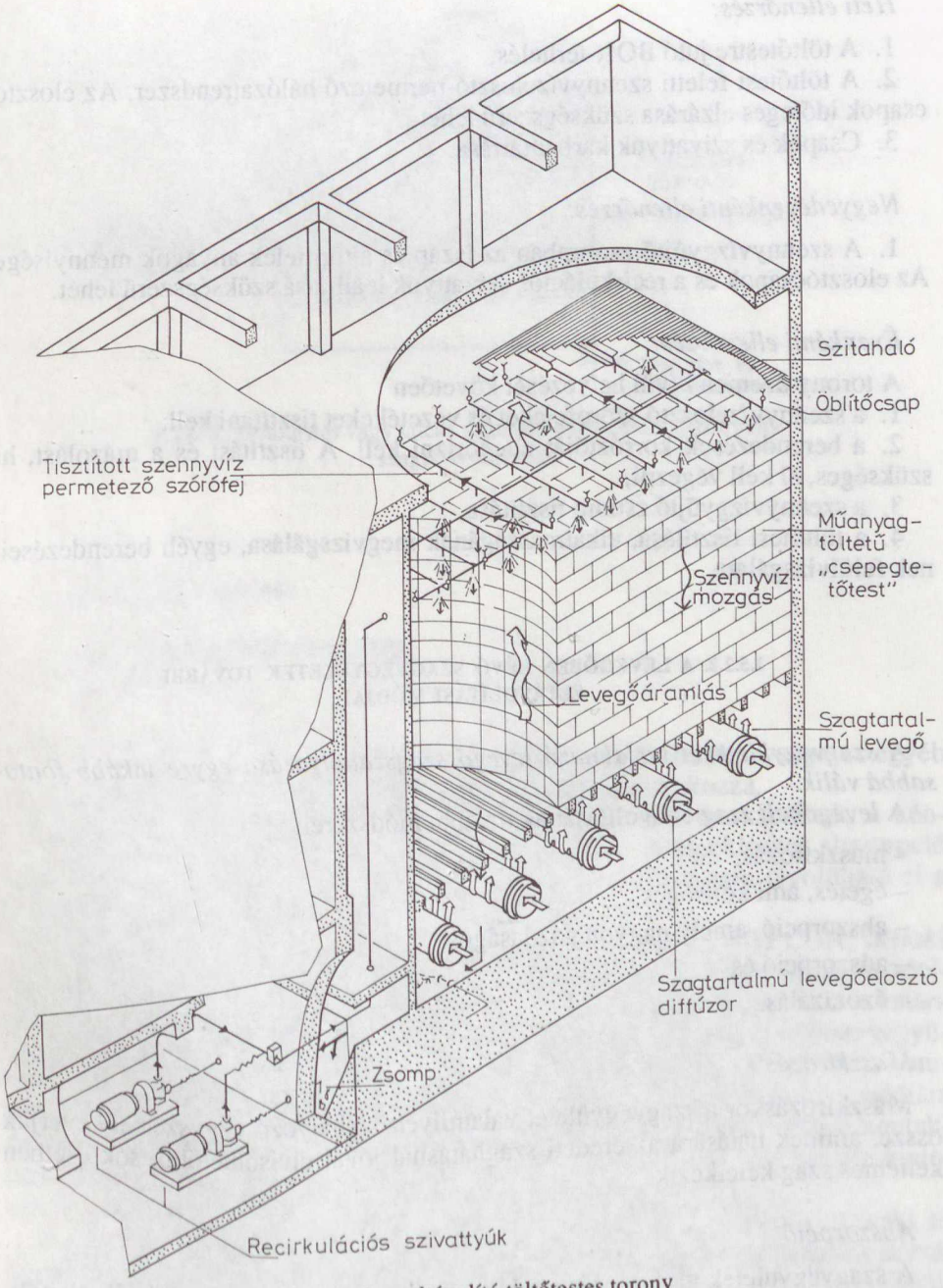
A *3. ábrán* feltüntetett recirkulációs szivattyúk utóülepített – vagy elő- és utóülepített – szennyvíz keverékét nyomják a csepegtetőtest tetejére. A keverék azért fontos, mert elegendő BOI_5 jelenléte szükséges a csepegtetőtestben avégből, hogy a biomassza nitrifikáló állapota fennmaradjon. A *2. táblázat*beli terhelések a nitrifikációs igényeket kielégítik.

A torony üzemének ellenőrzése

A torony üzemének ellenőrzése a következőképpen történjen (Ikesaki és Kerri, 1989).

Napi ellenőrzés:

1. Szelepek és szivattyúk.
2. A tisztított levegő nedvességtartalmát eltávolító csapok.
3. Szennyvízgyűjtő zsompbeli *(3. ábra)* szennyvízszint, recirkuláció.
4. A zsompbeli recirkuláltatandó szennyvíz pH-ja. A pH>6,0 feltétel betartásáról gondoskodni kell. Ha a pH túl alacsony, a zsomp túlfolyását növelni kell, vagy nátrium-hidroxidot adagolni. Az alacsony pH miatt korrózió jön létre.



3. ábra. Szageltávolító töltőtestes torony

Heti ellenőrzés:

1. A töltőtestre jutó BOI_5-terhelés.
2. A töltőtest feletti szennyvízelosztó-permetező hálózatrendszer. Az elosztócsapok időleges elzárása szükségszerű lehet.
3. Csapok és szivattyúk karbantartása.

Negyedévenkénti ellenőrzés:

1. A szennyvízgyűjtő zsompban az iszap és a törmelék anyagok mennyisége. Az elosztócsapok és a recirkulációs szivattyúk leállítása szükségszerű lehet.

Évenkénti ellenőrzés:

A torony üzemen kívül helyezését követően

1. a szennyvízelosztó szórófejeket és vezetékeket tisztítani kell,
2. a berendezések korrózióját ellenőrizni kell. A tisztítást és a mázolást, ha szükséges, el kell végezni,
3. a szennyvízgyűjtő zsomp tisztítása,
4. a töltőtest tisztítása, alkalmasságának megvizsgálása, egyéb berendezéseinek felülvizsgálata.

1.5.2.2. A LEVEGŐBEN LÉVŐ SZAGVEGYÜLETEK TOVÁBBI ELTÁVOLÍTÁSI MÓDJAI

A szagvegyületeket tartalmazó levegő szagszabályozása egyre inkább fontosabbá válik.

A *levegőbeli szag* eltávolításának további módszerei:

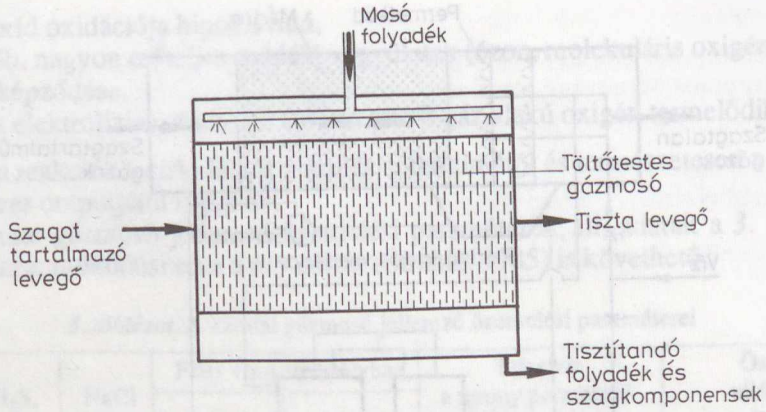
- maszkírozás,
- égetés, ami költséges,
- abszorpció, amely nagyon gazdaságos,
- adszorpció és
- ózonizálás.

Maszkírozás

Maszkírozáskor a szagvegyületet valamilyen szabályozó vegyszerrel keverjük össze, aminek hatására az eredeti szaghatásnál jóval elviselhetőbb, sok esetben kellemes szag keletkezik.

Abszorpció

A szagvegyületek a gázmosás révén nagyon gazdaságosan abszorbeáltathatók. A szagvegyület az oldatba abszorbeáltatható az oldhatóság vagy a kémiai abszorpció (kálium-permanganát, nátrium-hipoklorit-oldat, nátrium-hidroxid és klórdioxid) révén. A szagtartalmú levegőáramlást az abszorbeáló komponenssel kell kontaktusba hozni (*4. ábra;* Ikesaki és Kerri nyomán, 1989).



4. ábra. Töltőtestes vagy tálcás gázmosó berendezés abszorpciós szageltávolításhoz

A gázmosó berendezés

– egyszerű porlasztókamra, vagy
– töltőtestes torony

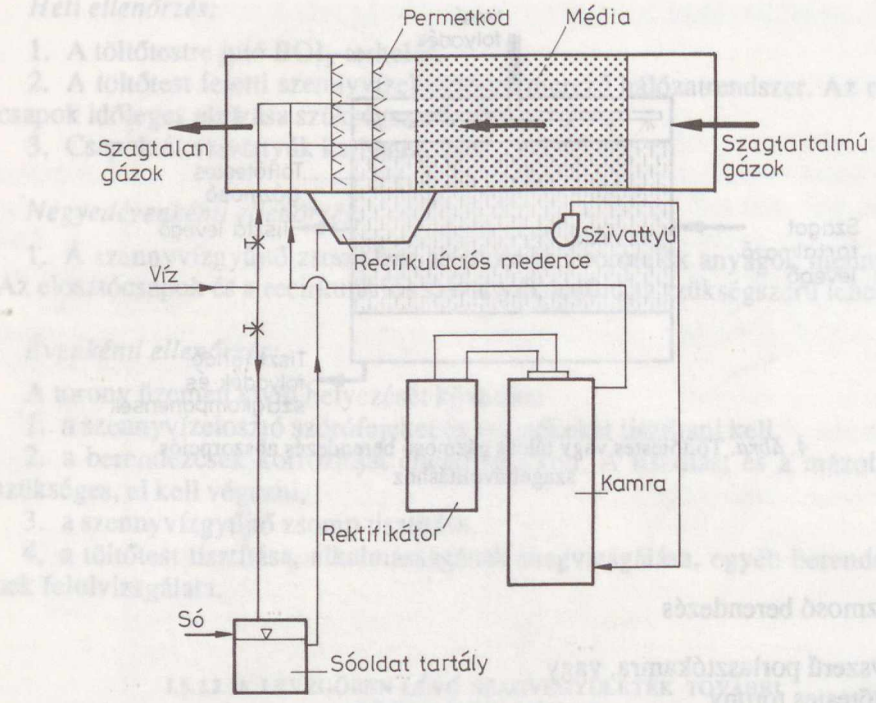
lehet.

Az üzemelési tapasztalatok szerint a porlasztókamrák hatékonysága az egyéb gázmosóknál kisebb mértékű. Ezt a rövidebb kontaktidő okozza.

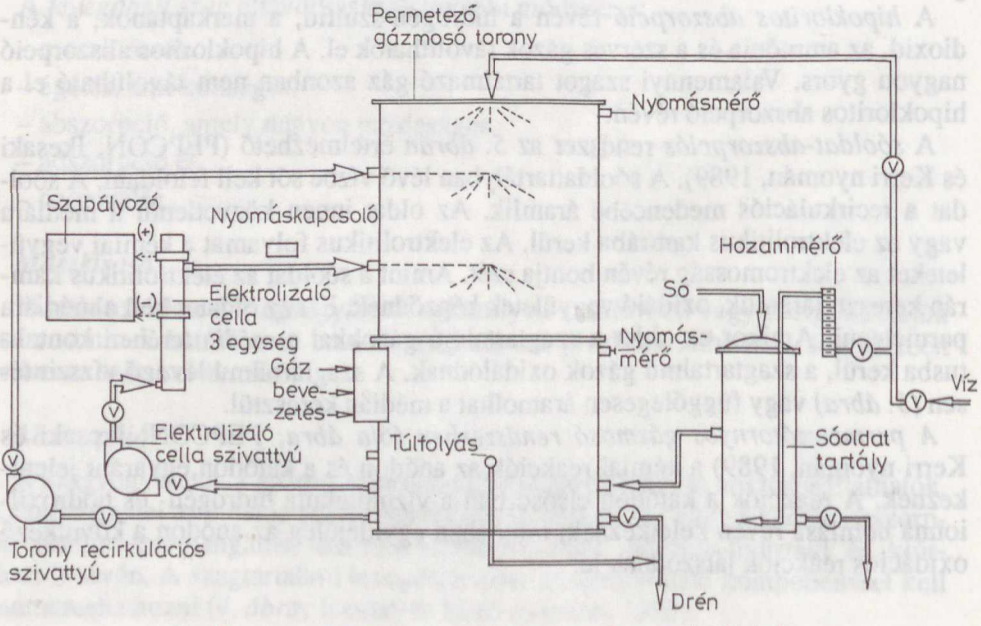
A *hipokloritos abszorpció* révén a hidrogén-szulfid, a merkaptánok, a kéndioxid, az ammónia és a szerves gázok távolíthatók el. A hipokloritos abszorpció nagyon gyors. Valamennyi szagot tartalmazó gáz azonban nem távolítható el a hipokloritos abszorpció révén.

A *sóoldat-abszorpciós* rendszer az *5. ábrán* értelmezhető (PEPCON, Ikesaki és Kerri nyomán, 1989). A sóoldattartályban lévő vízbe sót kell feloldani. A sóoldat a recirkulációs medencébe áramlik. Az oldat innen közvetlenül a médiára vagy az elektrolitikus kamrába kerül. Az elektrolitikus folyamat a kémiai vegyületeket az elektromosság révén bontja szét. Amint a sóoldat az elektrolitikus kamrán keresztüláramlik, oxidáló vegyületek képződnek. Ezt az oldatot kell a médiára permetezni. Amikor az oldat a szagtartalmú gázokkal a média terében kontaktusba kerül, a szagtartalmú gázok oxidálódnak. A szagtartalmú levegő vízszintesen *(5. ábra)* vagy függőlegesen áramolhat a médián keresztül.

A permetezőtornyos gázmosó rendszerben (6/a ábra; PEPCON; Ikesaki és Kerri nyomán, 1989) a kémiai reakciók az anódon és a katódon egyaránt jelentkeznek. A reakciók a katódon elsősorban a vízmolekula hidrogén- és hodroxilionná bomlása révén keletkeznek, miközben egyidejűleg az anódon a következő oxidációs reakciók játszódnak le:



5. ábra. Sóoldat-abszorpciós szageltávolító rendszer



6/a ábra. A permetezőtornyos gázmosó rendszer működési elve

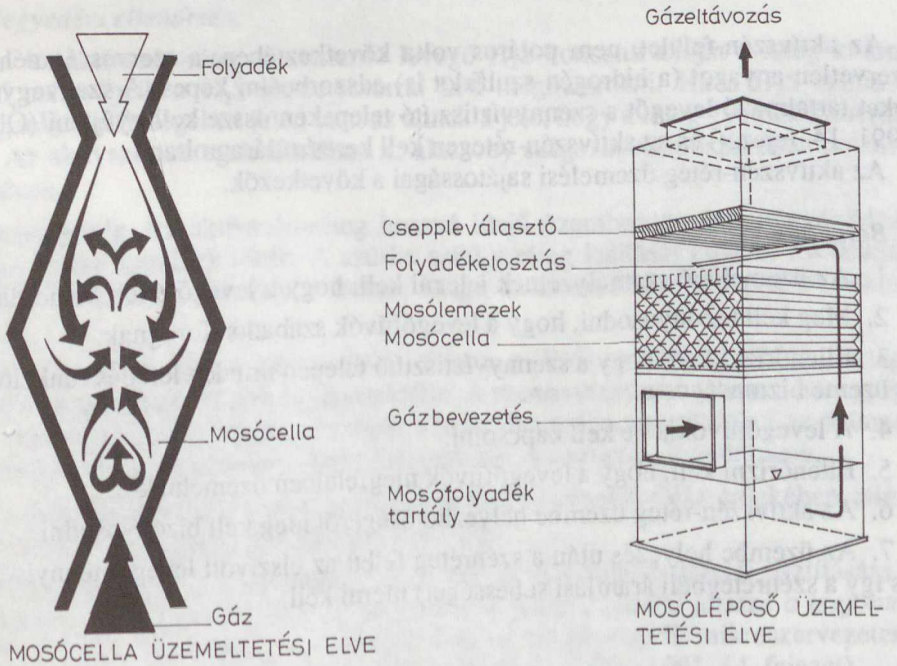
– a klorid oxidációja hipoklorittá,
– egyéb, nagyon erőteljes oxidáló vegyületek (ózon, molekuláris oxigén és peroxidok) képződése,
– a víz elektrolízise, melynek során normál gáz alakú oxigén termelődik.

Ezek a reakciók a cirkulációs áramlás sótartalmától és természetesen a gázmosó rendszer outputjától függnek.

A kémiai gázmosó jellemző üzemelési paramétereit, ill. adatait a *3. táblázat* tartalmazza; működési elve a *6/b ábrán* (Strähle, 1985) is követhető.

3. táblázat. A kémiai gázmosó jellemző üzemelési paraméterei

H_2S, mg/l	H_2S, kg/d	NaCl kg/d	Friss víz a sótartályban		Friss víz a torony permetező-fejein keresztül, l/d	Összes túlfolyás a mosótartályból, l/d
			l/d	mm/min		
1	0,58	3,5	14,00	9,7	28,4	48,4
2	1,60	6,9	28,00	19,4	56,8	96,8
5	2,90	17,5	70,07	48,7	172,2	242,2
10	5,81	34,9	140,00	97,2	284,0	484,4
20	11,62	69,9	280,00	197,3	568,0	968,8

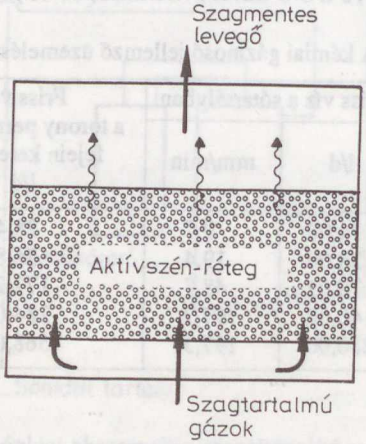


6/b ábra. A kémiai gázmosó rendszer működési elve

Adszorpció

Az adszorpciós eljárás során a gázformájú szagkomponensek a rendkívül nagy gázadszorpciós képességű, szilárd adszorbeáló felületen (mint az aktívszén) kötődnek meg *(7. ábra)*. A gázmolekulákat a szilárd felületen tartó erő

– fizikai adszorpciós, vagy
– kémiai (kemiszorpciós) adszorpció lehet.



7. ábra. Aktívszén-adszorpciós eljárás

Az aktívszén-felület, nem poláros volta következtében, a szerves és néhány szervetlen anyagot (a hidrogén-szulfidot is) adszorbeálni képes. A szagvegyületeket tartalmazó levegőt a szennyvíztisztító telepeken össze kell gyűjteni (Öllős, 1991, 14. fejezet) és az aktívszén-rétegen kell keresztüláramoltatni.

Az aktívszén-réteg üzemelési sajátosságai a következők.

Beindítás

1. Az üzemeltető személyzetnek jelezni kell, hogy a levegőfúvók beindulnak.
2. Meg kell bizonyosodni, hogy a levegőfúvók szabadon forognak.
3. Ellenőrizni kell, hogy a szennyvíztisztító telepen minden lefedés funkcionál és üzeme biztonságos-e.
4. A levegőfúvókat be kell kapcsolni.
5. Ellenőrizni kell, hogy a levegőfúvók megfelelően üzemelnek-e.
6. Az aktívszén-réteg üzembe helyezhetőségéről meg kell bizonyosodni.
7. Az üzembe helyezés után a szénréteg felett az elszívott levegőmennyiséget (és így a szénrétegbeli áramlási sebességet) mérni kell.

Leállítás

1. Az elektromos áramot a levegőfúvónál ki kell kapcsolni. Rövid idő esetében ez a kikapcsolási mód elég, de kábelcédula alkalmazása szükséges. Hosszú idő esetében az áramot a főkapcsolónál kell kikapcsolni, kábelcédulázni és áramtalanítani.
2. Az aktívszenes berendezés üzemállapotáról minden dolgozót tájékoztatni kell.
3. Ha a leállítás hosszú idejű, az aktívszén-réteget tiszta vízzel ki kell mosni.

Az üzemelés ellenőrzése

Napi ellenőrzés:

1. A levegőfúvókat és a motort ellenőrizni kell.
2. A szénrétegen keresztül történő levegőáramlást is ellenőrizni kell.

Heti ellenőrzés:

1. A levegőhozamot a kimeneti oldalon sebességmérővel kell meghatározni. A mérési adatot a kezdeti adattal kell összehasonlítani. A levegőhozam csökkenése az aktívszén-réteg eltömődését jelzi. A réteg eltömődése esetén, annak megszüntetése céljából, a levegőfúvók leállítása után, egy órán át, a réteg felszínére vizet kell permetezni. Ezt követően a rendszer újból üzembe helyezhető, a levegőhozamot pedig az aktívszén-réteg felszíne felett ellenőrizni kell.

Negyedévi ellenőrzés:

1. Az aktívszén-rétegen átáramló levegő H_2S-koncentrációját a réteg különböző mélységeiben H_2S-gázdetektorral kell meghatározni. Ha a H_2S szinte a réteg teljes mélységében jelen van, az annak a jele, hogy a réteg gyorsan kimerülhet. Az aktívszén-rétegek általában az alacsony szagszintek időszakában regenerálódnak.

Megjegyzés. Az aktívszén-réteg hosszú idejű üzemben tartása utáni leállításakor szürke színűnek tűnik. A szürke színt a réteg leállását követő, kiszáradás közben keletkező sókristályok keltik. Maga az aktívszén természetesen fekete marad.

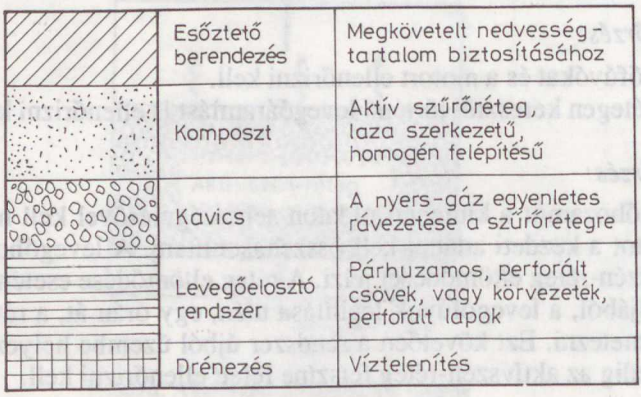
Ózonizálás. Az ózonizálás oxidálási folyamat. Erős oxidálószer lévén, a szagkeltő komponenseket hatékonyan oxidálja. A szennyvíztisztító telepen összegyűjtött szaganyagokat tartalmazó levegőt a keverőkamrába vezetik, ahol az ózonnal keveredik. Így a szagtartalmú levegő oxidálódik, s a szagok eltávolíthatók.

Az üzemelési tapasztalatok szerint a hatékony szagoxidálás érdekében minimálisan 15 s keverési és kontaktidő szükséges.

Komposztszűrő. A szaganyagokkal szennyezett levegő biológiai tisztítására *a természetes jellegű bioszűrők csoportjában a komposztszűrő játssza a legfontosabb szerepet.* Tisztítási elve a hártyás rendszerekben rögzült mikroszervezetekkel történő biológiai szennyvíztisztításhoz hasonló (Öllős, 1991, 14. fejezet).

A komposztszűrő elvi felépítése a *8. ábrán* látható (Eitner nyomán, 1984). Fő elemei:

– a szagtalanítást biztosító, 1 m vastagságú komposzt szűrőréteg, alatta
– a nyers levegő szűrőrétegre való egyenletes rávezetésére szolgáló kavicsréteg, ez alatt
– a nyers levegőt elosztó perforált csőrendszer vagy perforált lapok helyezkednek el. Legalul
– a drénrendszer található.



8. ábra. Komposztszűrő elvi felépítése a kreuztali szennyvíztisztító telepen

Legfelül a komposzt megkövetelt nedvességtartalmát elősegítő esőztető berendezés van.

A tisztítandó levegőt a rendszerbe alul vezetik be.

A komposztszűrő elterjedését elsősorban

– hatékony szageltávolító képessége (*9. ábra;* Eitner nyomán, 1984),
– másodlagos szennyeződési problémáktól mentes működése és
– *gazdaságossága*

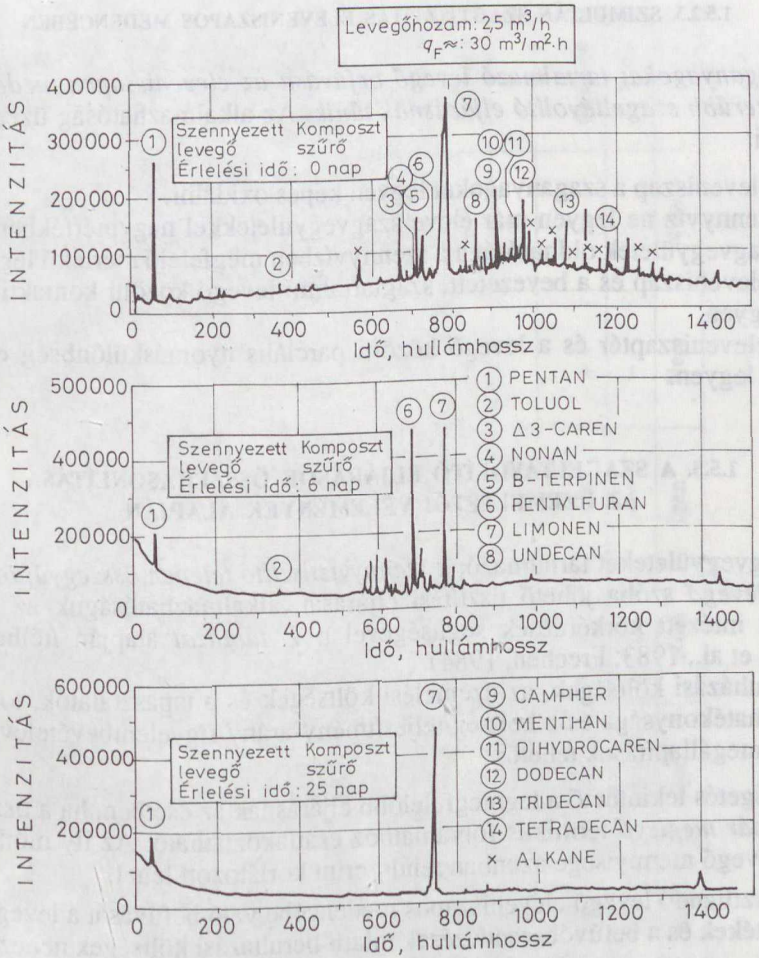
segítette elő.

Alkalmazását, nagy tisztítandó levegőmennyiség esetében, bizonyos mértékig nagy helyigénye korlátozza.

A bioszűrő szakszerű üzeme a következő feltételek teljesülése esetében biztosítható:

fajlagos terhelés < fajlagos szorpció < fajlagos lebontás
(mg ozmogén/m^3 szűrőanyag · idő)

Szűrőanyagként *érlelt, jó minőségű* komposzt, homok, agyag, humusz, humusz–komposzt keverék, szemét–iszap–komposzt jöhet szóba.



9. ábra. Komposztszűrő által megtisztított levegő ionáram-kromatogramjai. Érlelési idő: 0, 6 és 25 nap

Jellemző üzemeltetési adatok szemét–iszap–komposzt szűrőre (például a kreuztali telepen):

- nyerslevegő-hozam 700 m^3/h,
- ventilátorteljesítmény 4 kW,
- szűrőfelület 39 m^2,
- a tisztítandó levegő tartózkodási kontaktideje 171 s (85% pórustérfogat),
- fajlagos szűrőterhelés 19 $m^3/m^2 \cdot h$,
- szűrőréteg vastagsága 1,0 m,
- szűrőegység 1.

A fajlagos szűrőterhelés az üzemelési adatok alapján 5–35 $m^3/m^2 \cdot h$ tartományba esik. A komposztszűrő a kevésbé szennyezett levegővel nagyobb mértékben terhelhető.

1.5.2.3. SZIMULTÁN SZAGTISZTÍTÁS ELEVENISZAPOS MEDENCÉBEN

A szaganyagokat tartalmazó levegő befúvása az eleveniszapos medencébe a legegyszerűbb szageltávolító eljárásnak tűnik. Az alkalmazhatóság üzemeltetési feltételei:

– az eleveniszap a szaganyagokat legyen képes oxidálni,
– a szennyvíz ne legyen már eleve szagvegyületekkel nagymértékben terhelt,
– a szagvegyületek oldhatósága a szennyvízben megfelelő mértékű legyen,
– az eleveniszap és a bevezetett, szagtartalmú levegő közötti kontaktidő megfelelő legyen,
– az eleveniszaptér és a levegő közötti parciális nyomáskülönbség elegendő mértékű legyen.

1.5.3. A SZAGELTÁVOLÍTÓ ELJÁRÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA AZ ÜZEMELTETŐI VÉLEMÉNYEK ALAPJÁN

A szagvegyületeket tartalmazó, *a szennyvíztisztító telepen összegyűjtött szennyezett levegő* szóba jöhető tisztítási eljárásai, alkalmazhatóságuk az üzemeltetőkhöz intézett körkérdések segítségével a *4. táblázat* alapján ítélhető meg (Böhnke et al., 1983; Frechen, 1984).

A beruházási költségek, az üzemelési költségek és a tapasztalatok, továbbá a tisztítás hatékonysága és a költség/teljesítmény-arány figyelembevételével a következő megállapítások tehetők:

– Az égetés tekinthető a legmegfelelőbb eljárásnak az esetben, ha a tisztítandó levegő *már meglévő* termikus folyamathoz csatlakoztatható. Az ily módon tisztítható levegő mennyisége azonban rendszerint korlátozott lehet.

– A tisztítandó levegő eleveniszapos medencébe való befúvását a levegőt szállító vezetékek és a befúvóberendezések miatti beruházási költségek nehezítik.

– A bioszűrő (komposztszűrő) beruházási költségeit elsősorban a szűrőfelületi terhelés befolyásolja, amely az esetek zömében 40 $m^3/m^2 \cdot h$ alatt választható meg. Alkalmazásuk a kis és közepes levegőmennyiségek esetében indokolt. Előnye, hogy *természetes, problémamentes eljárás.*

– Az aktívszén-szűrők létesítési és üzemeltetési előnye, hogy *helyigényük kicsi.* Elsősorban a kisebb és közepes levegőmennyiséghez alkalmazhatók. Hátrányuk, hogy a szennyezett levegő gyakran nedves és poranyagokat is tartalmaz.

– Üzemeltetési költségek szempontjából a leghátrányosabb a szennyezett levegő önálló égetése.

– *A tisztítás hatékonysága az égetés esetében a legnagyobb.*

– A gázmosók a közepes és a nagy levegőmennyiséghez alkalmazottak. Az eljárás előnye, hogy *a változó levegőminőséghez illeszthető.*

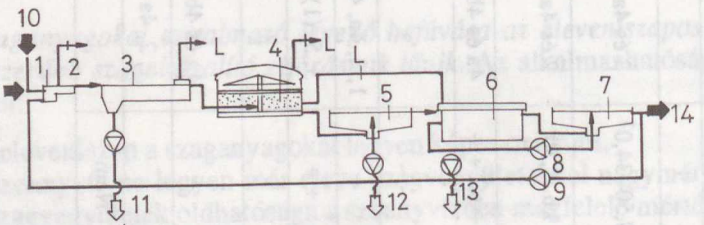
A szagemisszióval és a szag eltávolításával kapcsolatban – fejlettségünk jelenlegi szintjén – fontos hangsúlyozni:

4. táblázat. A levegőtisztító eljárások összehasonlítása az üzemeltetői vélemények alapján

Kritérium \ Eljárás		Egység	Bioszűrő	Befúvás eleveniszapos medencébe	Levegőmosó (gázmosó)	Égetés		Aktívszénszűrő	Legmegfelelőbb eljárás
						már meglévő égetőben	önálló égetőben		
			1	2	3	4a	4b	5	
Beruházási költségek[1]		DM (m^3/h)	20,0–26,0	10,0 + +	15,0–45,0[3] – –	+ +	kb. 60-tól	7,50–34,0[3]	2 és 4a
Üzemi költségek[2]		DM/10^3m^3	0,5–0,7 +	0,14 + +	0,70 0	+ +	4,0–6,0 – –	kb. 1,30	2 és 4a
Hatékonyság	normálüzem		+	+	+	+ +	+ +	+-tól + +	4a és 4b
	eljárásproblémák		–	–	+	0	0	– –	3
Előnyös: levegőmennyiség	kicsi		+ +	+ +	–	+	+ +	+	1, 2, 4a, 4b
	közepes		(+ +)[4]	+	+ +	(+)[6]	–	+ +	3, 5, (1)
	nagyobb		(+)[4]	(+)[5]	+ +	– –	– –	+	3
Szélsőségesen szennyezett levegő			0	–	+	+ +	+ +	–	4a és 4b
Eljárás problémája			+ +	+ +	0	+ +	– –	–	1, 2, 4a
Alkalmazás korlátolt			Igen[4]	Igen[5]	Nem	Igen[6]	Nem	Nem	

Megjegyzések:
+ = jó; + + = nagyon jó; 0 = semleges; – = rossz; – – = nagyon rossz.
1. Berendezéseket és levegőbefúvókat is figyelembe véve; 2. Beruházási költség nélkül; 3. Hozzászámítva az elhelyezést; 4. Korlátozás helyigény miatt; 5. Csak megfelelő kapacitású, levegőbefúvásos eleveniszapos medence esetében alkalmazható; 6. Megfelelő kapacitású, már meglévő égető esetében alkalmazható. (A költségadatok 1981-re vonatkoznak.)

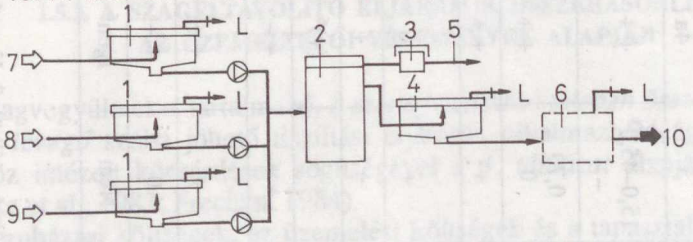
A DE GROOTE LUCHT-I SZENNYVÍZTISZTÍTÓ FOLYAMAT-RENDSZERE



Jelmagyarázat:

1. Érkező szennyvíz (fedett medencében); 2. Rács; 3. Előülepítő (fedett elfolyó vályúval); 4. Fedett csepegtetőtest; 5. Közbenső ülepítő; 6. Fedett eleveniszapos medence; 7. Utóülepítő, 8. Iszaprecirkuláció; 9. Tisztított szennyvíz recirkuláció; 10. Vegyszeradagolás; 11. Előülepítő iszap; 12. Humusziszap, 13. Fölösiszap, 14. Tisztított szennyvíz, L. Levegőelszívás

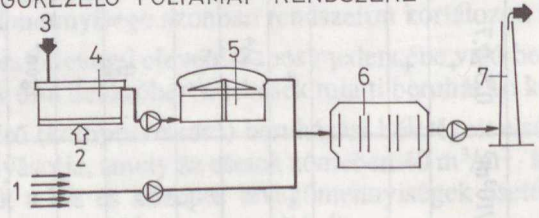
ISZAPKEZELŐ FOLYAMAT-RENDSZERE



Jelmagyarázat:

1. Fedett iszapsűrítő; 2. Rothasztó; 3. Gáztartály; 4. Fedett utósűrítő; 5. Energiatermelőhöz; 6. Fedett iszapvíztelenítő; 7. Előülepítő iszapja; 8. Humusziszap; 9. Utóülepítő; 10. Víztelenített iszap

LEVEGŐKEZELŐ FOLYAMAT-RENDSZERE



Jelmagyarázat:

1. Szennyezett (elszívott) levegő (érkező szennyvíz medencéiből, előülepítő elvezető vályújából, homokmosóból, sűrítőkből, utósűrítőből, iszapvíztelenítőből); 2. Eleveniszapos medence-levegőztetés; 3. Szellőztető levegő; 4. Eleveniszapos medence; 5. Csepegtetőtest; 6. Háromlépcsős keresztáramú levegőmosó (*NaClO, NaOH*); 7. Kémény

10. ábra. A De Groote Lucht-i (Hollandia) szennyvíztisztító telep szennyvíztisztító-, iszapkezelő rendszeréből származó szagtartalmú levegő összegyűjtése, szageltávolító rendszerbe vezetése és kezelése

1. A zavaró mértékű szagemisszió a szennyvíztisztításnak nem velejárója.

2. A szagemisszió zavaró mértékű hatása sem a szennyvíztisztító telepen, sem annak környezetében nem engedhető meg.

3. A szagok keletkezésének megakadályozása, a már keletkezett szagok megfelelő mértékű eltávolítása *a szennyvíztisztítás-technológia részének tekintendő.*

4. *Az egyes tisztítóberendezések lefedése,* üzemeltetési szempontból, *csak részmegoldásnak tekinthető.*

5. *A teljes értékű megoldás a szennyvíztisztító telepen keletkezett szagvegyületek összegyűjtése és valamilyen levegőtisztító rendszerbe juttatása.* Erre jellemző példát a *10. ábra* nyújt (van Overbeek et al. nyomán, 1984).

6. Természetesen *a szagprobléma legtökéletesebb megoldása a szagok keletkezésének megakadályozása.*

7. *A szagok elleni védelem alapja a tisztítótelep megfelelő fenntartása is,* ami azt jelenti, hogy az üzemeltetőnek a merülőfalakat, a válaszfalakat, a bukókat, az elvezetővályúkat, csatornákat, az iszapakkumulálódás helyeit *rendszeresen tisztítani kell.*

1.5.4. A SZAGPROBLÉMÁK, JELENTKEZÉSI HELYEIK ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSÜK LEHETSÉGES MÓDJAI

A szagproblémákról, jelentkezési helyeikről, lehetséges kiküszöbölésük módjairól az *5. táblázat* tájékoztat (Ikesaki és Kerri, 1989).

5. táblázat. Szagproblémák, jelentkezési helyeik és kiküszöbölésük lehetséges módjai

Keletkezési (jelentkezési) hely	Szagproblémák	Lehetséges kiküszöbölési módok
Befolyás a szennyvíztisztító telepre	H_2S-szag Szerves szag	Vegyszeradagolás Levegőáramú tisztítás
Elosztóakna	H_2S-szag Szerves szag	Vegyszeradagolás Levegőáramú tisztítás Hibás telepi üzemeltetés kijavítása
Előülepítő	H_2S-szag	Vegyszeradagolás a telep elején Levegőáramú tisztítás Gyorsabb iszapeltávolítás Vegyszeradagolás Előülepítő lefedése, levegőelszívás tisztítása
Eleveniszapos medence	Szerves szag	A levegőztető medencebeli rövidzárlat megszüntetése a levegőztetés mértékének növelésével
Csepegtetőtest	H_2S-szag	Levegőáramú tisztítás Vegyszeradagolás (H_2O_2 adagolása a csepegtetőtestre vezetendő szennyvízbe)

5. tábl. folyt.

Keletkezési (jelentkezési) hely	Szagproblémák	Lehetséges kiküszöbölési módok
		A csepegtetőtestre vezetendő szennyvíz rövid idejű klórozása, előnyben részesítve a kis szennyvízhozamok időszakát
		Egyenletes levegőeloszlás biztosítása a csepegtetőtestben az anaerob helyek képződésének megakadályozására
		A ventilátorok és a drénező berendezés tisztítása
		Bármely tervezési fogyatékosság korrigálása
	Lebomlás miatti szerves szag (ammónia, halszag, rothadt káposzta)	Bármely tervezési probléma korrigálása Vegyszeradagolás (H_2O_2, Cl_2, NO^-_3) Levegőáramú tisztítás
Utóülepítő	Szerves szag Szervetlen szag	Tervezési probléma korrigálása Iszapelvétel mértékének növelése Szag kidiffundálását (stripping) segítő turbulenciamérték csökkentése A levegőtartalom növelése a levegőztető rendszerben Üzemelés javítása
Anaerob rothasztás	Sejtanyaglebomlás miatti szerves szag Szervetlen szag	A hulladékgáz-égőt meg kell gyújtani, ha nem égett A fix rothasztófedél esetében: a) víz adagolandó a vízzárba és b) a fedél repedéseit szigetelni kell A mozgó rothasztófedél esetében: a) a fedél addig süllyesztendő, amíg kívül elegendő szigetelés jön létre. Gázberendezés A nyílásokat a szelepek körül meg kell keresni és kijavítani
Iszapszikkasztó ágyak	Sejtanyaglebomlás miatti szerves szag	Vegyszeradagolás (szagmaszkírozás) Száraz mész adagolandó, ha részlegesen rothasztott iszap került az iszapszikkasztó ágyra Rothasztóüzem ellenőrzése Iszapelvétel mértékének ellenőrzése rothasztóból
Vákuumszűrő, nyomószűrő	Szerves szag	Üzemellenőrzés Üzemellenőrzés a rothasztórendszerben Fenntartás javítása Levegőáram-tisztítás
Centrifugák	Szerves szag	Üzemellenőrzés Rothasztóüzem ellenőrzése Fenntartás javítása Centrifugarendszerből elszívott levegőbeli szagvegyületek tisztítása

5. tábl. folyt.

Keletkezési (jelentkezési) hely	Szagproblémák	Lehetséges kiküszöbölési módok
Iszaptározó medencék	Szerves szag	Üzemellenőrzés
Szennyvíz-tisztító tó	Ammóniaszag Hidrogén-szulfid	Üzemellenőrzés Üzemeltetésadatok ellenőrzése Vegyszeradagolás
Fertőtlenítés	Klórszag	Bekeverés ellenőrzése Injektoron átáramló szennyvízmennyiség növelése/optimalizálása Adagolás mértékének csökkentése Diffúzor ellenőrzése Klórelszivárgás ellenőrzése
	Ammóniaszag	Iszaplerakódás eltávolítása a kontaktmedencéből Fenntartás javítása

A szagszabályozás és a normál szennyvíztisztítás összehangolása fontos. Erre a következő üzemeltetési példák utalnak:

– Ha az ülepítők és egyéb nagy medencék lefedésére kerül sor, a lefedő tető felemelési lehetőségéről gondoskodni kell, ellenőrzési és fenntartási célokból.

– A hidrogén-szulfid-gáz a nedvességgel reakcióba lép és nagyon korrozív hatású kénessav képződik. Ezért minden beton kénessav elleni védelméről gondoskodni kell. A szagtartalmú levegővel érintkező felületek, szerelvények, berendezések korrózióval szembeni rezisztens anyagúak legyenek.

– Meg kell győződni, hogy a fedett, lezárt terek szellőztetése friss levegővel biztosított-e, mielőtt bárki ilyen térbe belép.

– A zárt terek hidrogén-szulfid-, a robbanásveszélyes állapotok és az oxigénhiány *belépés előtti* kimutatásához megfelelő berendezések és műszerek szükségesek.

1.6. IRODALOM

Böhnke, B., Frechen, F. B. (1983): Untersuchungen über Geruchsprobleme auf Kläranlagen. Ursachen und Behebung unter Einbeziehung der Kosten- und besondere Berücksichtigung der Probleme in Nordhein Westfalen. *RWTH*, Aachen, Oktober.

Chang, D. P. Y., Schroeder, E. D., Corsi, R. L. (1987): *Emissions of Volatile and Potentially Toxic Organic Compounds from Sewage Treatment Plants and Collection Systems*. Dep. of Civ. Engineering, Univ. of California, Davis, July.

Eitner, D. (1984): Untersuchungen über Einsatz und Leistungsfähigkeit von Kompostfilteranlagen zur biologischen Abluftreinigung im Bereich von Kläranlagen unter besonderer Berücksichtigung der Standzeit. *GWA*, H, 71.

Frechen, F. B. (1984): Stellung des Kompostfilterverfahrens zur Abluftdesodorierung im Bereich von Kläranlagen in Vergleich zu anderen Verfahren. *Wissenschaft und Umwelt*, 1.

Ikesaki, T., Kerri, K. D. (1989): Odor Control. In: Kerri, K. D. (1989): *Advanced Waste Treatment.* EPA Grant No. T900690010. California States University.
Metcalf and Eddy, Inc. (1979): *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse.* (2nd ed.) McGraw-Hill, New York.
van Overbeek, Th., Muller, Th., Hessels, W. A. (1984): De invloed van de millieu-eisen op de ontwerpen van de rwai's De Groote Lucht en Kralingseveer. H_2O, 6.
Öllős G. (1991): *Szennyvíztisztítás.* AQUA Kiadó, Budapest.
Öllős G. (1990): *Csatornázás.* AQUA Kiadó, Budapest.
Strähle, E. (1985): Vermeidung von Geruchsemissionen am Beispiel der Kläranlage Göppingen. *Korrespondenz Abwasser.*, 32 Jg., 7.
Water Pollution Federation (1976): *Odor Control.* Chapter 27, MOP 11. Washington D.C.

1.7. KÉRDÉSEK

1. Honnan származhat a szagemisszió? (1.1. fejezet, *1. ábra.*)
2. Melyek a szennyvíztisztító-telepi lehetséges szagforrások? (1.1. fejezet.)
3. Hogy képződnek a szagvegyületek? (1.2. fejezet.)
4. Melyik az üzemelő számára a legkellemetlenebb szervetlen gáz? (1.2., 1.2.1. fejezet.)
5. A hidrogén-szulfid-képződés mechanizmusai. (1.2. fejezet.)
6. A hidrogén-szulfid milyen pH-tartományban okoz gondot? (1.2.1. fejezet, *2. ábra.*)
7. Hogy észlelhető a szag, és miként határozható meg intenzitása? (1.3. fejezet.)
8. Milyen jellemző csoportokba sorolhatók a szagok? (1.3. fejezet.)
9. Milyen szerepe lehet a szagpanelnak? (1.3. fejezet.)
10. Az üzemeltető teendői szagpanaszok jelentkezése esetén. (1.4. fejezet.)
11. Milyen a szerepe az oldott oxigénnek a szagszabályozás területén? (1.5., 1.5.1. fejezet.)
12. Milyen kémiai oxidációs eljárások ismertek? (1.5.1. fejezet.)
13. Milyen módon oxidálhatók a szagvegyületek biológiai eltávolító toronyban? (1.5.2.1. fejezet, *3. ábra.*)
14. A biológiai oxidálótorony üzemének ellenőrzése. (1.5.2.1. fejezet.)
15. A levegőbeli szag eltávolításának további módszerei. (1.5.2.2. fejezet.)
16. Az aktívszenes (adszorpciós) szageltávolítás folyamatai, üzemeltetése. (1.5.2.2. fejezet, *7. ábra.*)
17. A szageltávolító komposztszűrő szerkezeti felépítése, üzeme, hatékonysága. (1.5.2.2. fejezet, *9. ábra.*)
18. Szimultán szagtisztítás eleveniszapos medencében. (1.5.2.3. fejezet.)
19. Szageltávolító eljárások előnyei, hátrányai és alkalmazhatóságuk. (1.5.3. fejezet, *3. táblázat.*)
20. A szagszabályozás és a normál szennyvíztisztítás összehangolásának fontossága. (1.5.4. fejezet.)

2. SZENNYVÍZ-UTÓTISZTÍTÁS

A szennyvíz-utótisztítás a második, hagyományos biológiai tisztítási fokozat után a még szennyvízben maradt

– lebegő- és
– oldott anyagok

további eltávolítását célozza.

Az anyagok normál szerves anyagok, szuszpendált anyagok vagy a viszonylag egyszerű szervetlen ionoktól (kalcium, kálium, szulfát, nitrát, foszfát) kiindulva, az egyre növekvő számú, komplex szintetikus szerves anyagok lehetnek. Ezek közül számosnak a hatása a környezetre már ismert. Sokféle toxikus anyag hatása a környezetre azonban még tisztázatlan. Ezért a kutatások egyre inkább arra is irányulnak, hogy hogy lehet ezeket a hagyományos és az utótisztításos rendszerekben eltávolítani. Így érthető, hogy *a tisztított szennyvizek minőségével kapcsolatos követelmények szigorodnak.* Ennek következtében a hagyományos szennyvíztisztító telepek jelentős hányadát tovább kell fejleszteni, ill. új utótisztító berendezésekkel kell kiegészíteni.

A biológiailag tisztított szennyvízben maradt jellemző szennyező anyagok, hatásaik és kritikus koncentrációik a *6. táblázat*ban adottak. A szennyvíztisztító telepek üzemeltetőinek a telephatékonyság, ill. a továbbfejlesztési igények megítéléséhez a táblázatban foglalt tényeket szem előtt kell tartani.

6. táblázat. A biológiailag tisztított szennyvízben maradt jellemző szennyező anyagok, hatásaik, kritikus koncentrációik

Szennyező anyag	A befogadóra gyakorolt hatás	Kritikus koncentráció, mg/l
Szuszpendált lebegő-anyagok	Iszaplerakódás keletkezhet, vagy a befogadó felszíni víz minőségét befolyásolja	Változó
Lebontható szerves anyagok	Az oxigénforrásokat kimerítheti	Változó[1]
Elsődleges szennyező anyagok[2]	Az emberre toxikusak, rákkeltő hatásúak	Komponensenként változó
	A növényi környezetre toxikusak	A vízmélységtől, az élőhelytől, a hordaléktól függően

6. tábl. folyt.

Szennyező anyag	A befogadóra gyakorolt hatás	Kritikus koncentráció, mg/l
Illékony szerves vegyületek[3]	Az emberre toxikusak, rákkeltő hatásúak, fotokémiai oxidálószerek prekurzorjai	Komponensenként változó
Növényi tápanyagok		
Ammónia	Klórigényt növeli, nitráttá alakulhat, az oxigénforrásokat kimerítheti, foszfátokkal együttesen a növényi szervezetek túlburjánzását idézheti elő	Bármilyen mennyiség
	Halakra toxikus	Változó
Nitrát	Az algák és egyéb növényi szervezetek szaporodását serkenti	0,3 (nyugodt vizű tóra)
	Csecsemőkben methemoglobinémiát okozhat (ivóvíz esetén)	45 (jelenleg a megítélés nem egységes)
Foszfor	Az algák és egyéb növényi szervezetek szaporodását serkenti	0,015 (nyugodt vizű tóra)
	A derítést akadályozza	0,2–0,4
	A mészszódás lágyítást akadályozza	0,3
Egyéb szervetlen vegyületek		
Kalcium és magnézium	A keménységet és az összes oldott anyag mennyiségét növeli	
Klorid	Sós ízt idéz elő	250
	A mezőgazdasági és ipari folyamatokat károsan befolyásolja	75–200
Szulfát	Hashajtó hatású	600–1000
Egyéb szerves anyagok		
Felületaktív anyagok	Habzást idéznek elő és a koagulációt károsan befolyásolják	1,0–3,0

Megjegyzés:

[1] A tisztított szennyvíz kis vízfolyásokba, tavakba és egyéb környezetvédelmi szempontból érzékeny vízterekbe vezetésekor lehet követelmény.

[2] Az emberre és a vízi környezetre különösen toxikus szennyező anyagok egyaránt lehetnek szerves és szervetlen vegyületek. Az eddig ismert 129 szennyező anyag kiválasztása az ismert vagy gyanított karcinogenitásuk, mutagenitásuk, teratogenitásuk vagy nagymértékű toxicitásuk alapján történt.

[3] Az illékony szerves vegyületek, ha gáz állapotba jutnak, nagyon mobilak, ezért környezetbe kerülésük valószínűsége nagy; néhány vegyület közülük az atmoszférában nagyfokú közegészségügyi kockázatot okoz: hozzájárulnak a reaktív szénhidrogének mennyiségének atmoszférabeli általános növekedéséhez, s ezáltal fotokémiai oxidálószerek keletkezhetnek. Ezen vegyületek szennyvízcsatornákból és szennyvíztisztító telepeken, különösen az elosztóműszerekből való elillanása, közegészségügyi szempontból igen veszélyes lehet az ott dolgozókra.

Az elsődleges szennyező anyagokra és az illékony szerves anyagok jelentős hányadára különösen nagy figyelmet kell fordítani, amikor a biológiailag tisztított szennyvíz befogadója felszíni víz vagy felszín alatti talajtér.

A 7. *táblázat* a szennyvíz-utótisztítás igényét egyértelműen tükrözi: *a szennyvíz-utótisztítás a foszfor és nitrogén eltávolításán túlmenően ennél jóval szélesebb körű.* Ennek megfelelően a szennyvíz-utótisztítási eljárások, a rendszerek és a velük elérhető tisztítás mértéke, továbbá az üzemelési tapasztalatok is tisztázandók.

A tisztított szennyvízzel együtt a felszíni vízbefogadóba juttatott foszfor- és nitrogéntápanyag lehetséges hatása az oxigénforrásra a tápanyagok által létrejövő szerves anyag tisztított szennyvízbeli szerves anyaghoz való viszonyításából ítélhető meg. Legyen a nyers szennyvízre a KOI=400 mg/l a jellemző, a foszforkoncentráció a 6–10 mg/l, a nitrogénkoncentráció a 30–40 mg/l tartományba essen.

Ha 1 kg foszfort az algák teljes mértékben asszimilálják, a fotoszintézis és a szervetlen elemek hasznosításával 111 kg biomassza képződik, amely KOI=138 kg-ot képvisel, feltételezve, hogy az algasejt összetétele $C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P$. Így a tisztított szennyvízbeli 6 mg/l foszfor KOI=828 mg/l equivalens szerves anyagot eredményez, *ami a nyers szennyvíz szervesanyag-koncentrációját képviselő KOI több mint kétszerese.*

1 kg nitrogén 16 kg algabiomassza keletkezését segíti elő, ami 20 kg KOI-val equivalens. Így a tisztított szennyvíz 30 mg/l nitrogéntartalma 600 mg/l-nek megfelelő szerves anyagot képviselő KOI-értéket eredményez, ami a foszfor lehetséges produkciójánál ugyan kevesebb, de még mindig több, mint a nyers szennyvíz szervesanyag-tartalmát képviselő KOI-érték.

Ezek az adatok az üzemeltető számára jól érzékeltetik a szennyvíz-utótisztítás fontosságát.

2.1. SZENNYVÍZ-UTÓTISZTÍTÁSI ELJÁRÁSOK

A fő szennyvíz-utótisztítási eljárások és azok alkalmazhatósági feltételéről a 7. *táblázat* tájékoztat (Tchobanoglous és Burton, 1991).

7. *táblázat.* A fő szennyvíz-utótisztító eljárások (példák)

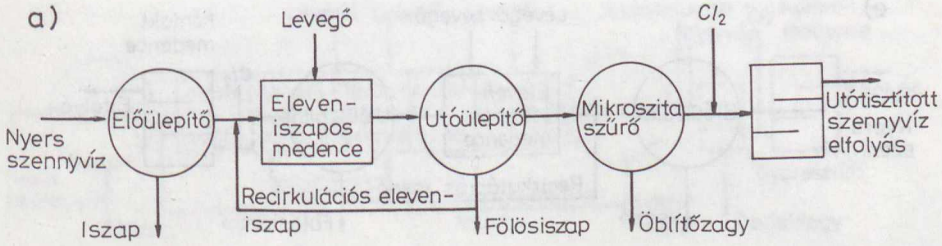
Utótisztítás célja	Folyamat	Utótisztításra kerülő tisztított szennyvíz típusa
Szuszpendált lebegőanyag eltávolítása	Mikroszitaszűrés Gyorsszűrés	Utóülepített Előülepített, utóülepített
Ammóniaoxidáció	Biológiai nitrifikáció	Előülepített, biológiai műtárgyat elhagyó utóülepített
Nitrogéneltávolítás	Biológiai nitrifikáció/denitrifikáció	Előülepített, utóülepített
Nitráteltávolítás	Önálló lépcsős biológiai denitrifikáció	Utóülepített + nitrifikált

7. tábl. folyt.

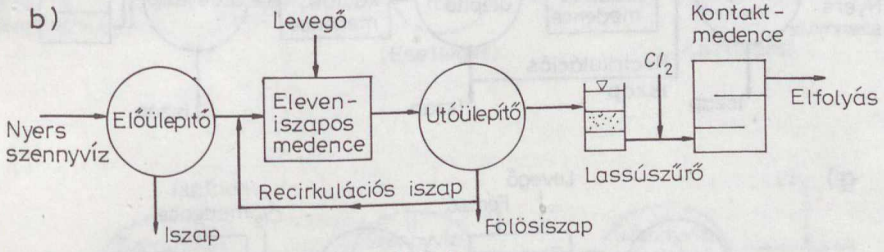
Utótisztítás célja	Folyamat	Utótisztításra kerülő tisztított szennyvíz típusa
Biológiai foszforeltávolítás	Főáramú foszforeltávolítás[1] Mellékáramú foszforeltávolítás[2]	Nyers szennyvíz, előülepített Recirkulációs eleveniszap
Együttes biológiai nitrogén- és foszforeltávolítás	Biológiai nitrifikáció/denitrifikáció és foszforeltávolítás	Nyers szennyvíz, előülepített szennyvíz
Nitrogéneltávolítás fizikai vagy kémiai módszerekkel	Levegőkiűzés (stripping) Törésponti klórozás	Utóülepített szennyvíz Utóülepített + gyorsszűrt
Foszforeltávolítás vegyszeradagolással	Kémiai kicsapatás fémsókkal	Nyers szennyvíz, előülepített, biológiai műtárgyból elfolyó szennyvíz, utóülepített szennyvíz
	Kémiai kicsapatás mésszel	Nyers szennyvíz, utóülepítőből, biológiai műtárgyból elfolyó szennyvíz, utóülepített szennyvíz
Toxikus vegyületek és nehezen lebontható (refractory) szerves anyagok eltávolítása	Aktívszenes adszorpció	Utóülepített + gyorsszűrt szennyvíz
	Eleveniszap-por alakú aktívszén	Előülepített szennyvíz
	Kémiai oxidáció	Utóülepített + gyorsszűrt
Oldott szerves anyagok, patogén mikroorganizmusok eltávolítása	Lassúszűrés	Utóülepített szennyvíz
Oldott szervetlen anyagok eltávolítása	Kémiai kicsapatás	Nyers szennyvíz, előülepített, a biológiai műtárgyból elfolyó szennyvíz, utóülepített szennyvíz
	Ioncserélés	Utóülepített + gyorsszűrt szennyvíz
	Ultraszűrés	Utóülepített + gyorsszűrt szennyvíz
	Fordított ozmózis	Utóülepített + gyorsszűrt szennyvíz
	Elektrodialízis	Utóülepített + gyorsszűrt szennyvíz + aktívszenes adszorpció
Illékony szerves anyagok	Elpárologtatás (volatilization) és gázkiűzés (stripping)	Nyers szennyvíz, előülepített szennyvíz

Megjegyzés:

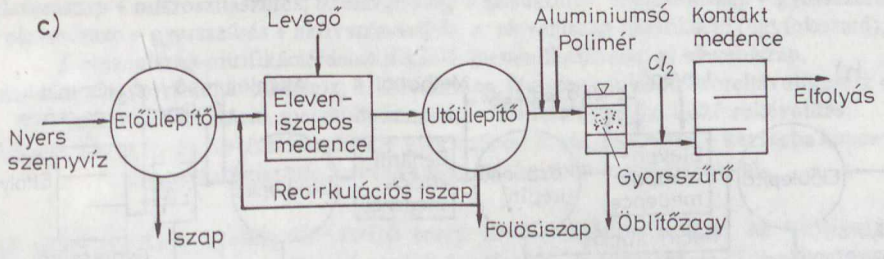
[1] és [2] lásd *6. táblázat.*

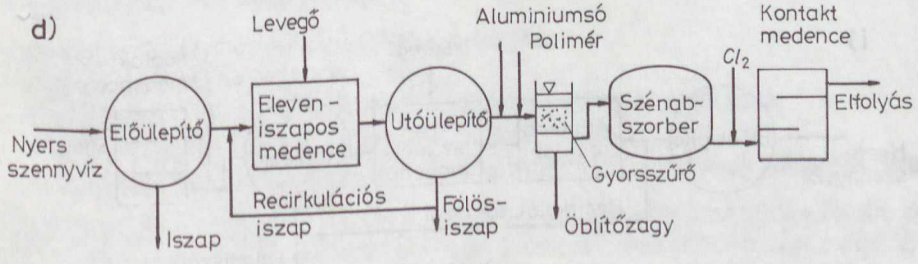


11/a ábra

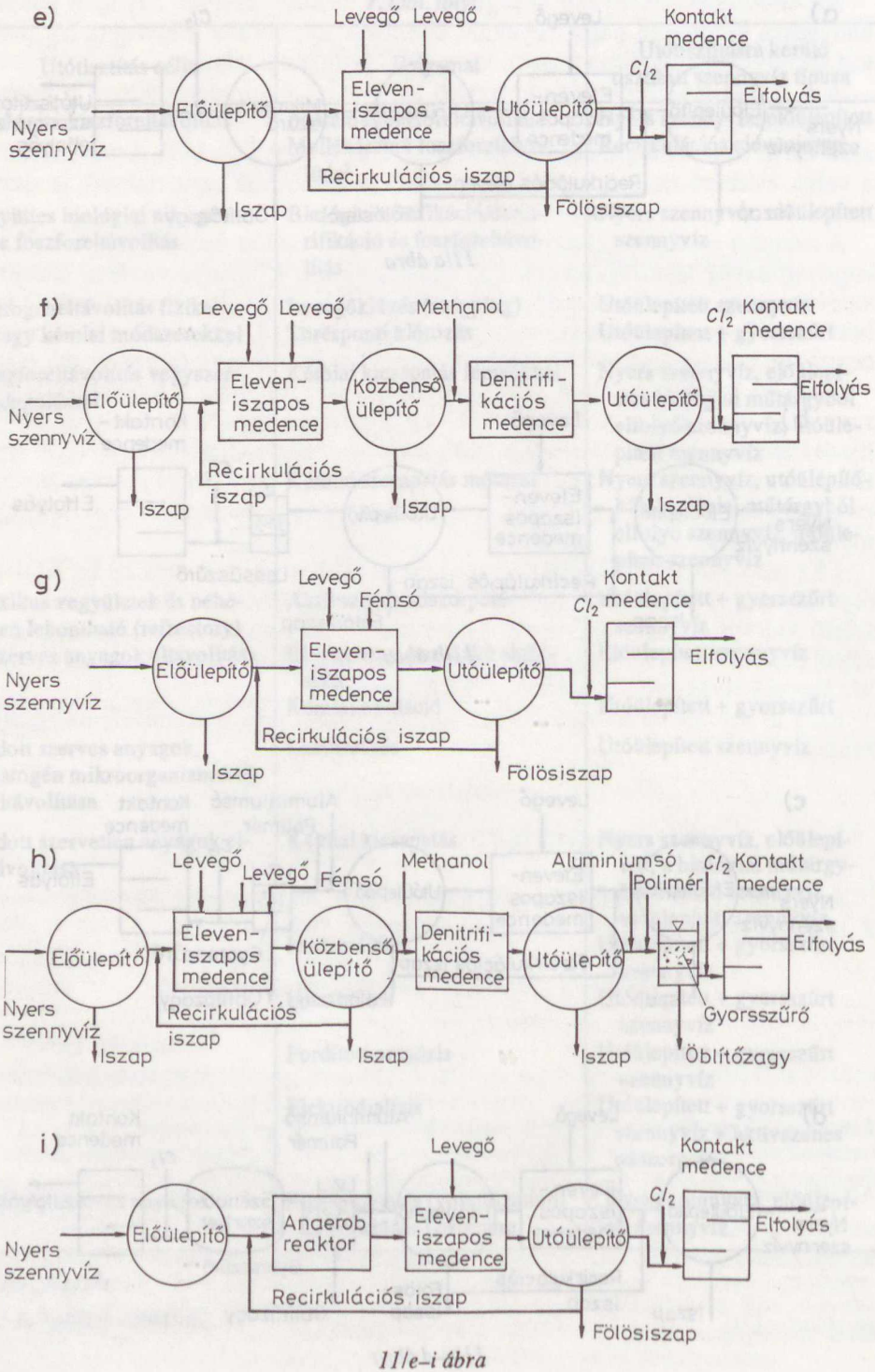


11/b ábra

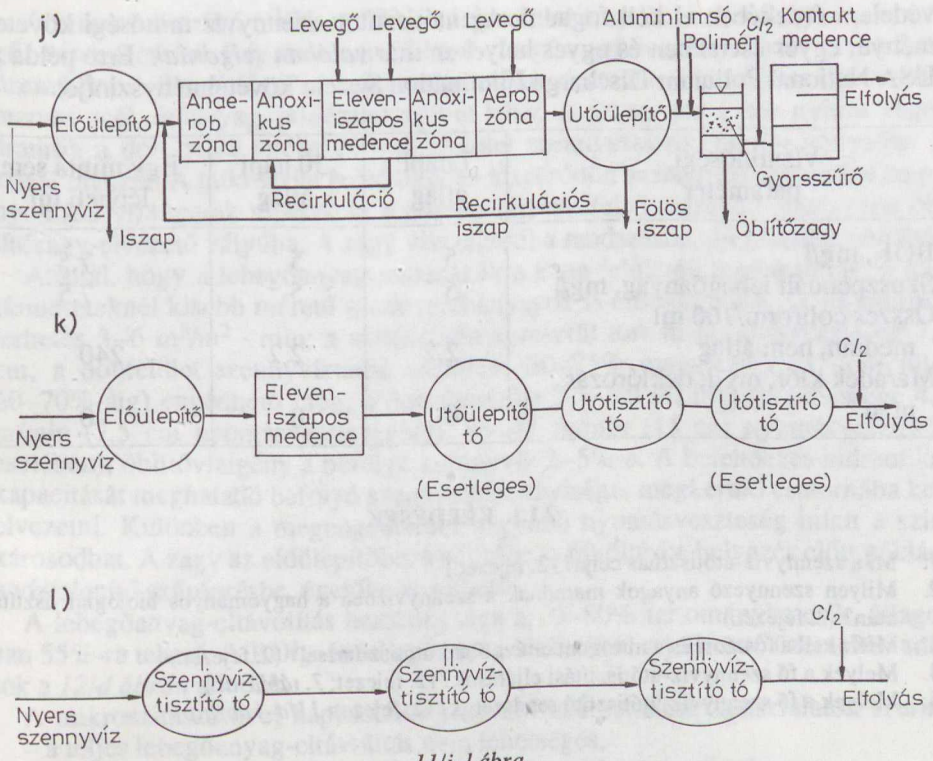




11/a–d ábra


e)
Levegő Levegő
Kontakt medence
Előülepítő
Eleven-iszapos medence
Utóülepítő
Cl_2
Elfolyás
Nyers szennyvíz
Recirkulációs iszap
Iszap
Fölösiszap
f)
Levegő Levegő
Methanol
Előülepítő
Eleven-iszapos medence
Közbenső ülepítő
Denitrifikációs medence
Utóülepítő
Cl_2
Kontakt medence
Elfolyás
Nyers szennyvíz
Recirkulációs iszap
Iszap
g)
Levegő
Fémsó
Előülepítő
Eleven-iszapos medence
Utóülepítő
Cl_2
Kontakt medence
Elfolyás
Nyers szennyvíz
Recirkulációs iszap
Iszap
Fölösiszap
h)
Levegő
Levegő
Fémsó
Methanol
Aluminiumsó
Polimér
Cl_2
Kontakt medence
Előülepítő
Eleven-iszapos medence
Közbenső ülepítő
Denitrifikációs medence
Utóülepítő
Elfolyás
Nyers szennyvíz
Recirkulációs iszap
Gyorsszűrő
Iszap
Öblítőzagy
i)
Levegő
Kontakt medence
Előülepítő
Anaerob reaktor
Eleven-iszapos medence
Utóülepítő
Cl_2
Elfolyás
Nyers szennyvíz
Recirkulációs iszap
Fölösiszap

111e–i ábra



11/j–l ábra

11/a–l ábra. Szennyvíz-utótisztító rendszerek (példák).
a: eleveniszap + mikroszitaszűrés; *b:* eleveniszap + lassúszűrés; *c:* eleveniszap + gyorsszűrés; *d:* eleveniszap + gyorsszűrés + aktívszén-szűrés; *e:* eleveniszap-nitrifikáció (egyfokozatú); *f:* eleveniszap-nitrifikáció/denitrifikáció, metanolhasználat; *g:* eleveniszap, fémsóadagolás foszforeltávolításhoz; *h:* eleveniszap, fémsóadagolás foszforeltávolításhoz + nitrifikáció/denitrifikáció, metanolhasználat; *i:* főáramú biológiai foszforeltávolítás; *j:* biológiai nitrogén- és foszforeltávolítás + gyorsszűrés; *k:* eleveniszapos + két sorba kapcsolt szennyvíz-utótisztító; *l:* sorba kapcsolt három szennyvíztisztító tó

Az üzemeltető a szennyvíztisztító telep továbbfejlesztésekor, az utótisztítás megválasztásakor a *11/a–l ábra* figyelembevételével indulhat el (Tchobanoglous és Burton, 1991; Öllős nyomán 1991).

A választáshoz a fő szempontok:

– a tisztított szennyvíz lehetséges hasznosítása,
– a szennyvízminőség sajátos vonásai,
– a különböző üzemelési és tisztítási szempontok összehasonlítása,
– a végső szennyező anyagok elhelyezési lehetőségei,
– a különböző tisztítórendszerek környezetvédelmi és gazdasági alkalmassága.

Mivel a szennyező anyagok eltávolítása általában speciális feltételek teljesítéséhez kötődik, *a szennyvíz-utótisztító rendszerek létesítésekor a gazdasági megítélésük nem lehet döntő szabályozó tényező.* Ezt a szemléletet a hatékony környezet-

védelem érdekében el kell fogadni. Az utótisztított szennyvíz minőségi követelményei egyes esetekben és egyes helyeken már *valóban szigorúak*. Erre példa az USA National Pollutant Discharge Elimination System követelményszintje:

Vízminőségi paraméter	7 napi átlag	30 napi átlag	Egy minta sem lépheti túl
BOI_5, mg/l	5	5	7,5
Szuszpendált lebegőanyag, mg/l	5	5	7,5
Összes coliform/100 ml medián, nem átlag	2,2	2,2	240
Maradék klór, mg/l, deklórozás után	0	0	0

2.1.1. KÉRDÉSEK

1. Mi a szennyvíz-utótisztítás célja? (2. fejezet.)
2. Milyen szennyező anyagok maradnak a szennyvízben a hagyományos biológiai tisztítás után? (2. fejezet.)
3. Miért kell a foszfort és a nitrogént eltávolítani utótisztítással? (2. fejezet.)
4. Melyek a fő szennyvíz-utótisztítási eljárások? (2. fejezet; *7. táblázat.*)
5. Melyek a fő szennyvíz-utótisztító rendszerek? (2. fejezet; *11/a–j ábra.*)

2.2. LEBEGŐANYAG-ELTÁVOLÍTÁS AZ UTÓÜLEPÍTETT SZENNYVÍZBŐL

Az utóülepített szennyvíz minőségének javítása, utótisztítása négyféle módon lehetséges:

– mikroszitaszűréssel,
– gyorsszűréssel (gravitációs és nyomás alatti),
– lassúszűréssel és
– vegyszeradagolással.

Ezen utótisztító műveletek a finom lebegőanyagok eltávolításán túlmenően elsősorban *a nagyon finom szemcséjű anyagok, a BOI, a patogén szervezetek, a coliform nagyobb igényű eltávolítását segítik.*

2.2.1. AZ UTÓÜLEPÍTETT SZENNYVÍZ LEBEGŐANYAG-TARTALMÁNAK ELTÁVOLÍTÁSA MIKROSZITASZŰRŐVEL

2.2.1.1. A MIKROSZITASZŰRŐ JELLEMZÉSE

A mikroszitaszűrő a biológiailag tisztított, tehát utóülepített szennyvíz- vagy a szennyvíztisztító tóból elfolyó szennyvíz nagyon finom lebegőanyag-tartalmát tovább csökkenti.

A mikroszitaszűrő (Öllős, 1993, 7. fejezet) változtatható, kis forgási sebességű, vízsugarakkal folyamatosan öblített, forgó-, mikroszitapalástú, gravitációs üzemű dob *(12/a–d ábra)*. A mikroszita nyílásmérete 23–35 μm. Anyaga rozsdamentes acél, műanyag, poliészter szövet lehet. A szennyvíz a dob nyitott végén áramlik a dob belső terébe és a dobfelület szennyvíztérbe merült hányadán át kifelé távozik. A mikroszita belső oldalán kiszűrődött szennyező anyagokat nagynyomású vízsugarak mossák le a dob belsejének felső részében elhelyezett öblítőzagy-elvezető vályúba. A zagy visszakerül a rendszerbe, újratisztítás céljából.

Azáltal, hogy a lebegőanyag-részecskék a szita felületén fennakadnak, a nyílásméreteknél kisebb méretű szennyező anyagok is eltávolíthatók. A hidraulikai terhelés 3–6 $m^3/m^2 \cdot min$; a szitaszűrőn keresztül történt nyomásveszteség 7,5 cm; a dobfelület szennyvíztérbe merülése 70–75% magasságig (a dobfelület 60–70%-áig) engedhető meg; a dob átmérője 2,5–5,0 m; forgási sebessége 4,5 m/min (7,5 cm nyomásveszteségnél), 35–45 m/min (15 cm nyomásveszteség esetében); öblítővízigény a befolyó szennyvíz 2–5%-a. A berendezés hidraulikai kapacitását meghaladó befolyó szennyvízmennyiséget megkerülő csatornába kell elvezetni. Különben a megengedettnél nagyobb nyomásveszteség miatt a szita károsodhat. A zagy az előülepítőbe, a sűrítőbe, a feltöltésbe helyezés előtt például a víztelenítő szűrőprésbe, égetőbe vezethető.

A lebegőanyag-eltávolítás hatékonysága a 10–80% tartományba esik, átlagosan 55%-ra tehető. A BOI_5- és lebegőanyag-eltávolításra jellemző üzemelési adatok a *12/d ábrán* adottak.

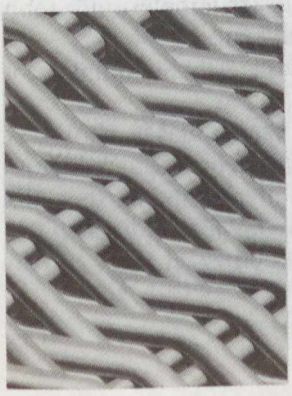
A mikroszitaszűrővel kapcsolatos alapvető üzemeltetési tapasztalatok szerint

– a teljes lebegőanyag-eltávolítás nem lehetséges,

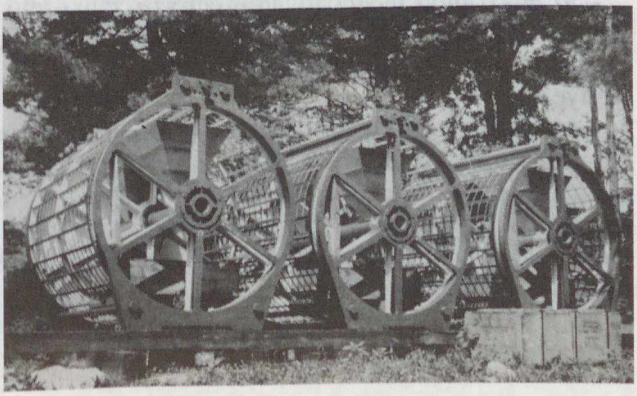
– a berendezés a lebegőanyag-koncentráció ingadozására érzékeny,

– a dob forgási sebességének csökkentése, valamint a dob szakaszos öblítése az eltávolítás hatékonyságát ugyan növeli, azonban a berendezés hidraulikai kapacitása csökken,

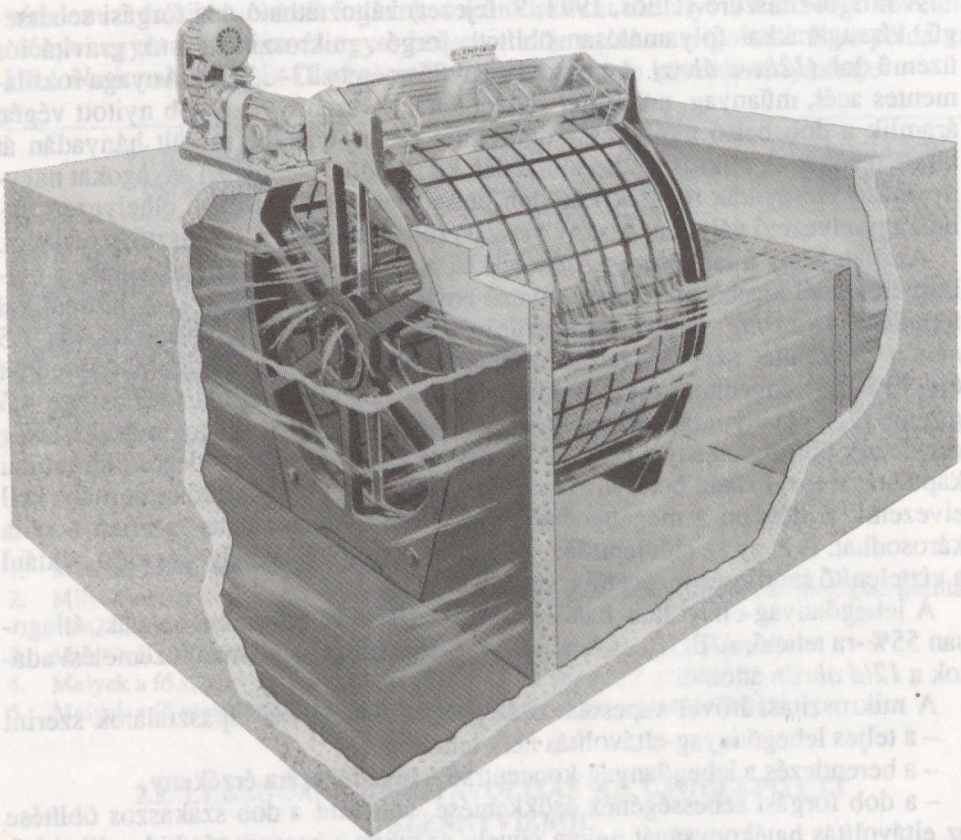
– a berendezés változékony hatásfoka miatt az előzetes félüzemi vizsgálatok fontosak, különösen akkor, ha szennyvíztavas rendszer elfolyó szennyvizét kell utótisztítani,



12/a ábra



12/b ábra



12/c ábra

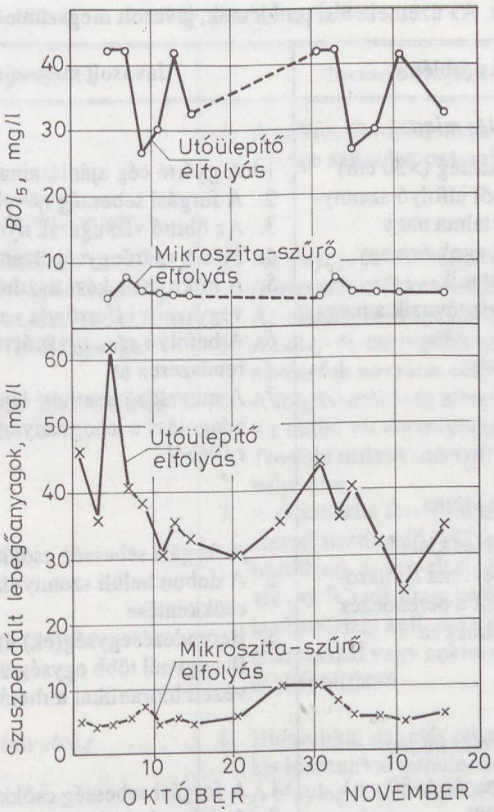
– a berendezés helyigénye kicsi, ezért ott is beiktatható, ahol korlátozott hely áll rendelkezésre,

– emberi munkaerőigényük minimális,

– az eltávolított lebegőanyag miatt az iszapkezelő rendszer terhelése nő: több iszapot kell szivattyúzni, víztelleníteni, rothasztani és elhelyezni,

– a berendezés sajátos fenntartási és szervizelési munkája többletmunkaerőt igényel,

– az ultraviola fény a szitafelületen a biológiai hártya szaporodását gátolja. A megmaradt hártyát az öblítő vízsugarak rendszerint tökéletesen nem tudják lemosni, így azok részleges eltömődést is okozhatnak. Az UV-fény azonban a speciális lemosást igénylő emberi munkaerőigényt is csökkenti. *Az UV-fény rendkívül veszélyes a szemre.* Valamennyi telepi dolgozónak tisztában kell ezzel lenni és szemeiket védeni kell.



12/d ábra

12/a–d ábra. Mikroszita-dobszűrő, működési elve.
a: a mikroszita szerkezete; *b:* készülő hengeres berendezés;
c: berendezése; *d:* BOI_5 és a szuszpendált lebegőanyagok eltávolítása
23 μm nyílású mikroszitaszűrővel

2.2.1.2. A MIKROSZITASZŰRŐ ÜZEMELTETÉSI PROBLÉMÁI, JAVASOLT MEGSZÜNTETÉSI MÓDOK

Az üzemeltetés megindításának feltételeiről (például: a berendezés üzembe helyezését megelőző munkálatok után a szerszámok, különböző építőanyagok eltávolítása megtörtént-e; az elektromos berendezések az indítási feltételeket kielégítik-e; a dobot forgató motor üzemeltetésre kész állapotú-e; az üzem biztonsága garantálható-e) meg kell győződni.

A rendellenes üzemeltetés problémái és azok megszüntetésére vonatkozó javaslatok a következők lehetnek (*8. táblázat;* Johnson és Gudgel, 1989).

8. táblázat. Az üzemeltetési problémák, javasolt megszüntetési módok

Üzemeltetési probléma	Javasolt megszüntetési mód
Nagy hidraulikai terhelés miatt:	
1. Túlzott nyomásveszteség (>30 cm) 2. A mikroszitaszűrőből elfolyó szennyvíz lebegőanyag-tartalma nagy 3. A szitát a lebegőanyagok és/vagy zsiradékanyagok eltömik 4. Tisztítatlan szennyvíz távozik a megkerülő csatornába	1. A gyártó cég ajánlásainak ellenőrzése 2. A forgási sebesség növelése 3. Az öblítő vízsugarak nyomásának növelése 4. Másik szűrőegység üzembe helyezése 5. A mikroszita kézi tisztítása baktericid hatású vegyszerrel (forró víz vagy gőz szóba jöhet) 6. A befolyó szennyvíz átvezetése kiegyenlítőrendszeren át 7. A megelőző tisztítási lépcsőkbe vegyszer adagolása a lebegőanyag-terhelés csökkentése céljából
Kis hidraulikai terhelés miatt:	
1. A lebegőanyag-terhelés kisebb 2. Vékonyabb hártyabevonat a mikroszita felületén. Emiatt a berendezés tisztítási hatásfoka csökken	1. A forgási sebesség csökkentése 2. A dobon belüli szennyvízfelszín szintjének csökkentése 3. Berendezésegység(ek) üzemen kívül helyezése (ha egynél több egység üzemel). Ezáltal a tervezett hidraulikai terhelés fenntartható
Nagy lebegőanyag-terhelés miatt:	
1. Túlzott nyomásveszteség (>30 cm) a szitaszűrőn keresztül 2. A mikroszitaszűrt, elfolyó szennyvíz lebegőanyag-tartalma túlzott 3. A mikroszita-felület eltömődik lebegőanyagokkal 4. Tisztítatlan szennyvízelfolyás a megkerülő csatornában	1. A forgási sebesség csökkentése 2. A dobon belüli szennyvízfelszín szintjének csökkentése 3. Berendezésegység(ek) üzemen kívül helyezése (ha egynél több egység üzemel). Ezáltal a tervezett hidraulikai terhelés fenntartható
Nagy vagy kis pH-szint miatt:	
1. A nagy pH-szint ásványi lerakódást eredményezhet, ami a mikroszita nyílásait eltömheti 2. A pH-szint gyors növekedése a megelőző lépcsők tisztítási folyamatait felboríthatja, így a mikroszitaszűrő lebegőanyag-terhelése nőhet 3. A kis pH-szint a fémek korrózióját okozza, különösen a fémanyagú mikroszitaszűrőét	1. Ha a pH-szint változása gyors, a telepi befolyás ellenőrzendő és a pH-szintet vegyszeradagolással a kívánt szintre kell beállítani. A pH-változások okainak felderítése és megszüntetése 2. A pH kémiai beállítása a lúgosság és a hőmérséklet kapcsolatának egyensúlyba hozatala céljából. Ezáltal a korrózió és a bevonatképződés kiküszöbölhető (lásd Langelier telítettségi index) 3. Az abnormális pH-jú szennyvizet kiegyenlítő medencébe kell vezetni, majd azt lassú visszavezetés után az érkező normál szennyvízzel keverni kell

8. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Javasolt megszüntetési mód
	4. A mikroszita-felületen képződő ásványi kéreg gyenge savas lemosással távolítható el
Nagy olaj- és zsírkoncentráció miatt:	
1. A szitafelület eltömődése 2. Eltömődés miatt a nyomásveszteség nő, a hidraulikai átbocsátás csökken, a vízsugaras öblítés hatékonysága csökken 3. Tisztítatlan szennyvíz távozik a megkerülő csatornán át	1. Az olaj- és zsírterhelést a kibocsátásnál (forrásnál) csökkenteni kell 2. Az olaj- és zsírfogó hatásfokát növelni kell 3. Az olaj- és zsírfogóba vegyszert kell adagolni a hatásfok növelése céljából 4. A forgási sebesség növelése 5. Az öblítő vízsugárnyomás növelése 6. További mikroszita-szűrőegység üzembe helyezése 7. A mikroszita forró vízzel, gőzzel vagy vegyszerrel tisztítandó. Műanyag szita gőzzel nem tisztítható. A zsír eltávolításához csak meleg víz (49 °C) alkalmazható. A mikroszitát havonta ellenőrizni kell. Az alga- és hártyabevonat chloroxszal vagy baktericid hatású szappannal is eltávolítható
Gyenge lebegőanyag-eltávolítás	1. Hidraulikai terhelés ellenőrzése. A hatásfok kis hidraulikai terhelésnél kedvezőbb. A tényleges és a tervezett hidraulikai terhelés összehasonlítása 2. A megelőző tisztítási lépcsők ellenőrzése. A mikroszitaszűrő növekvő lebegőanyag-koncentrációja az elfolyás lebegőanyag-koncentrációjának növekedését eredményezi 3. A forgási sebesség ellenőrzése. Kisebb forgási sebesség esetében vastagabb hártyabevonat képződik és a tisztítás hatásfoka nő 4. A túlzott mértékű turbulenciát a megelőző tisztítási lépcsőkben fel kell deríteni. A már képződött pelyhek széttöredezése a befolyó szennyvízben gyengébb lebegőanyag-eltávolítási hatásfokot eredményez 5. Az utóülepítő elfolyásbeli mikropelyhek (pin floc) a mikroszitaszűréssel nehezen távolíthatók el
Nagy nyomásveszteség a mikroszitán keresztül	1. A forgási sebesség meghatározása. Ha a forgás lassú, a bevonat túl vastaggá válik, a nyomásveszteség pedig nő 2. A nagyobbá vált lebegőanyag-terhelés a lebegőanyag-bevonat gyors fejlődéséhez vezet

8. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Javasolt megszüntetési mód
	3. A vízsugár-elosztófejek ellenőrzése eltömődés szempontjából 4. A nyomás ellenőrzése az öblítőrendszerben 5. A vas, a mangán és a zsír ellenőrzése a mikroszitán. Ha szükséges, tisztítása gyenge savval, gőzzel vagy forró vízzel
Gyenge lebegőanyag-eltávolítás, nyomásveszteség hiánya	1. Mikroszita meghibásodása, szakadása 2. Nem megfelelő mikroszitaszűrő-mező beépítésének ellenőrzése 3. A dob hibás szélének ellenőrzése 4. Eltömődött vagy hibásan működő nyomásveszteség-mérő ellenőrzése

2.2.1.3. KÉRDÉSEK

1. Az utóülepített szennyvíz lebegőanyag-tartalma milyen módszerekkel távolítható el? (2.2. fejezet.)
2. A mikroszitaszűrő berendezés, jellemzése. (2.2.1.1. fejezet.)
3. Milyen anyagú lehet a mikroszita? (2.2.1.1. fejezet.)
4. Mi a célja az ultraviola-sugárzásnak mikroszitaszűrő esetében? (2.2.1.1. fejezet.)
5. Milyen üzemelési zavarok jelentkezhetnek mikroszitaszűrő üzemeltetésekor? (2.2.1.2. fejezet; *8. táblázat.*)
6. Milyen üzemelési problémákat okoz a nagy vagy kicsi pH a mikroszitaszűrő üzemeltetésekor? (2.2.1.2. fejezet; *8. táblázat.*)
7. Mi a szerepe a megelőző szennyvíztisztítási lépcsőnek a mikroszitaszűrő hatásfokának befolyásolásában? (2.2.1.2. fejezet; *8. táblázat.*)

2.2.2. UTÓÜLEPÍTETT SZENNYVÍZ LEBEGŐANYAG-TARTALMÁNAK ELTÁVOLÍTÁSA GYORSSZŰRÉSSEL

A szemcsés anyagú gyorsszűrés az összes szuszpendált lebegőanyag (TSS) eltávolítására is alkalmas eljárásnak bizonyult. Alkalmazására a szennyvíztisztítás terén akkor kerül sor, ha *a biológiai szennyvíztisztító rendszer utóülepítőjéből elfolyó szennyvíz lebegőanyag-tartalmának további csökkentése követelmény.* Így az összes szuszpendált lebegőanyag-koncentráció csaknem minden esetben 10 mg/l alá, egyes esetekben 5 mg/l alá csökkenthető.

A gyorsszűrés a következő esetekben alkalmazható:

1. Eleveniszapos vagy csepegtetőtestes tisztítórendszer utóülepítőjéből elfolyó biológiai pelyhek eltávolítására.

2. A biológiai tisztítórendszerek utóülepítőjébe adagolt alumínium, vas sók vagy mész hatására elért foszforkicsapatás után az elfolyásban maradt kémiai-biológiai pelyhek eltávolítására.

3. A kémiai kicsapatásos szennyvíz-utótisztítást vagy az önálló fizikai-kémiai szennyvíztisztítást követően még az elfolyásban maradt lebegőanyag eltávolítására.

4. A szennyvíz újrahasználata esetében az utóülepített szennyvíz gyorsszűrése akkor szükséges, ha a szűrlet az élelmiszerként hasznosított növények, parkok, játszóterek öntözésére, fürdés céljait is szolgáló állóvizek táplálására szolgál.

2.2.2.1. A GYORSSZŰRŐ JELLEMZÉSE

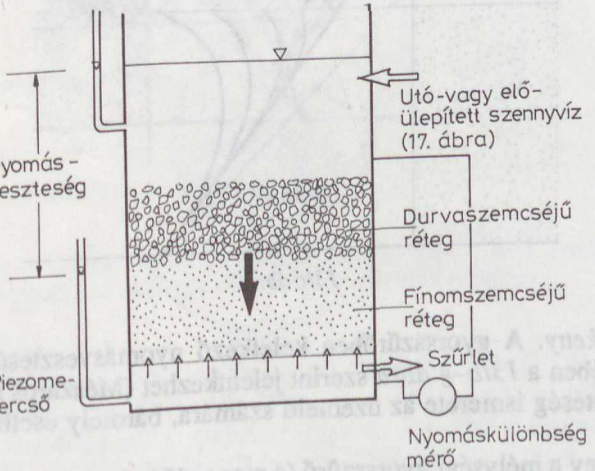
A gyorsszűrő nagyobb méretű, súlyosabb, változó méretű részecskéket és ingadozó lebegőanyag-terhelést fogad, ezért a szűrés mechanizmusai komplexek. A szűrőn belül némi biológiai folyamatok is jelentkeznek, amelyek a szűrés hatásfokát növelik (ASCE, 1986). Minthogy a gyorsszűrő hatásfokát számos tényező befolyásolja, ahol a tisztítási követelmények szigorúak, ott tervezés előtt a félüzemi kísérletek elengedhetetlenek.

A szűrőegységek száma. A szükséges szűrőfelületet a megengedett maximális szűrési sebesség és a csúcs-szennyvízhozam alapulvételével kell megválasztani. Fontos üzemelési szempont: a szűrőegységek száma azonban a lehetséges minimum legyen, hiszen

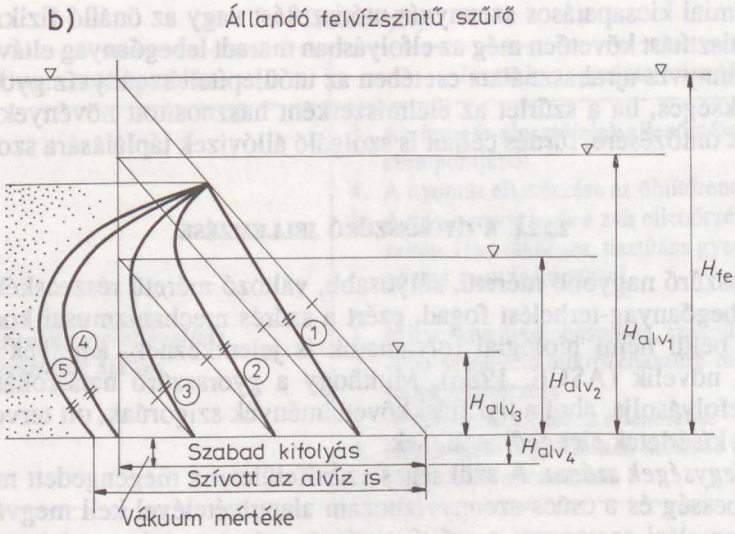
– az öblítéshez használt szűrlethozam nem lehet túl nagy, és
– ha egy szűrőegység az öblítés miatt az üzemből kikapcsolódik, a többi szűrőegység tranziens terhelése nem nőhet akkorára, amely terhelés már a szűrők áttörését eredményezné.

Az egyes szűrők szélesség : hosszúság aránya 1:1–1:4 lehet.

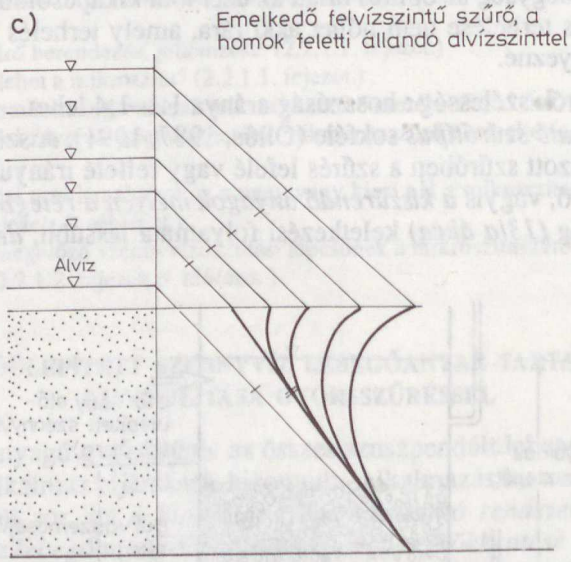
Az alkalmazható szűrőtípus sokféle (Öllős, 1987, 1991). A szennyvíz utótisztításához alkalmazott szűrőben a szűrés lefelé vagy felfelé irányul. Az ilyen szűrő „mélységi" szűrő, vagyis *a kiszűrendő anyagok mélyen a rétegbe hatolnak.* Így a nyomásveszteség *(13/a ábra)* keletkezési folyamata lassúbb, *de a szűrőréteg az*



13/a ábra



13/b ábra



13/c ábra

áttörésre érzékeny. A gyorsszűrőben keletkező nyomásveszteség a különböző feltételek esetében a *13/b–g ábra* szerint jelentkezhet (Mészáros nyomán, 1994). A nyomásveszteség ismerete az üzemelő számára, bármely esetben, *nélkülözhetetlen*.

Avégből, hogy a mélységi gyorsszűrő (a maga előnyös üzemeltetési tulajdonságaival) alkalmazható legyen, az áttörés mértékének és időbeliségének csökken-

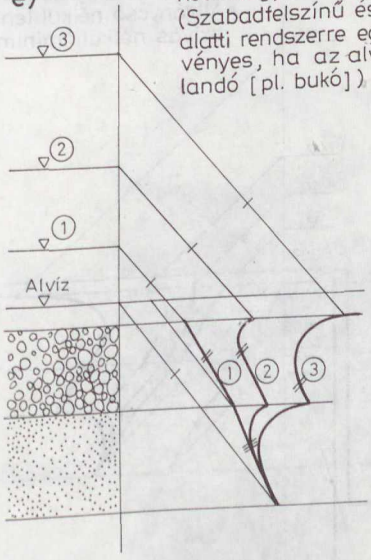
d)

Két réteg, állandó felvízszint (Szabadfelszínű és nyomás alatti rendszerre egyaránt érvényes)

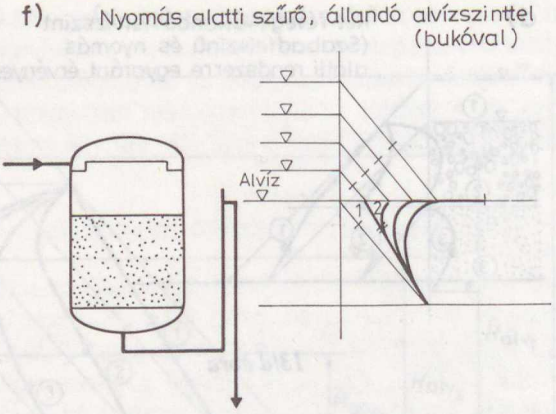
13/d ábra

e)

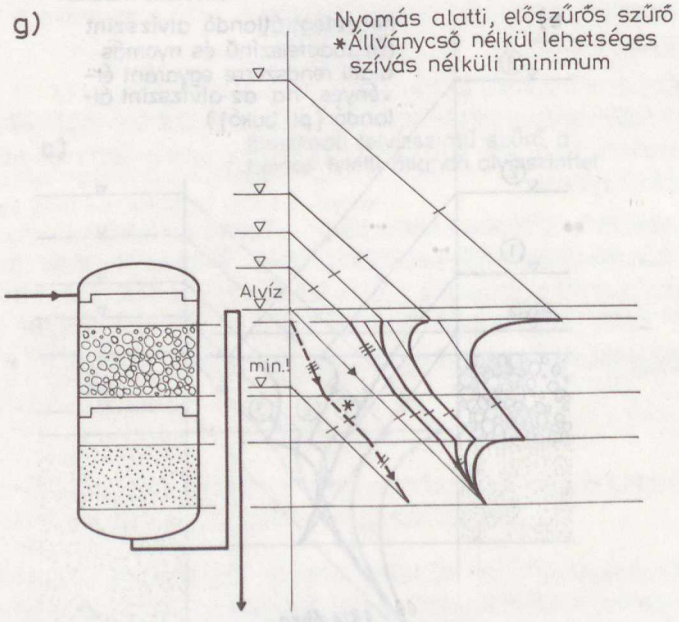
Két réteg, állandó alvízszint (Szabadfelszínű és nyomás alatti rendszerre egyaránt érvényes, ha az alvízszint állandó [pl. bukó])



13/e ábra



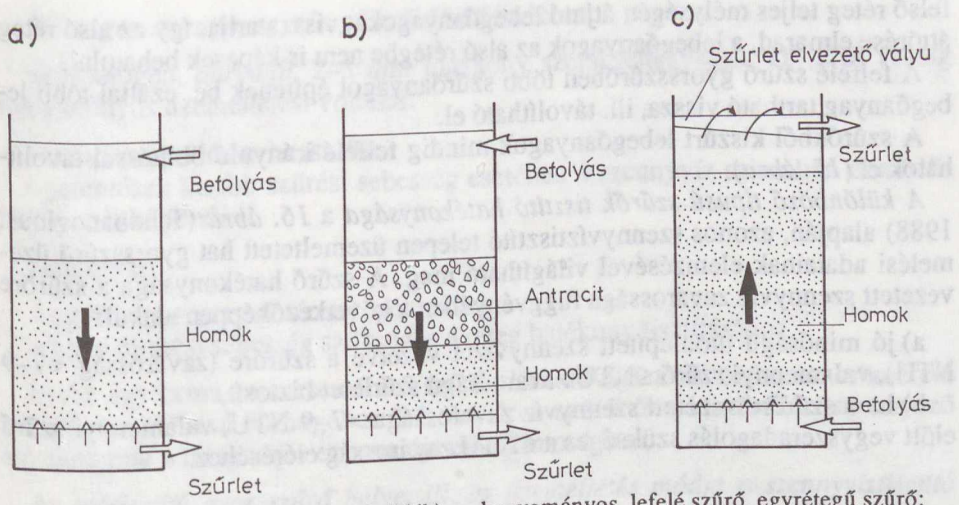
13/f ábra



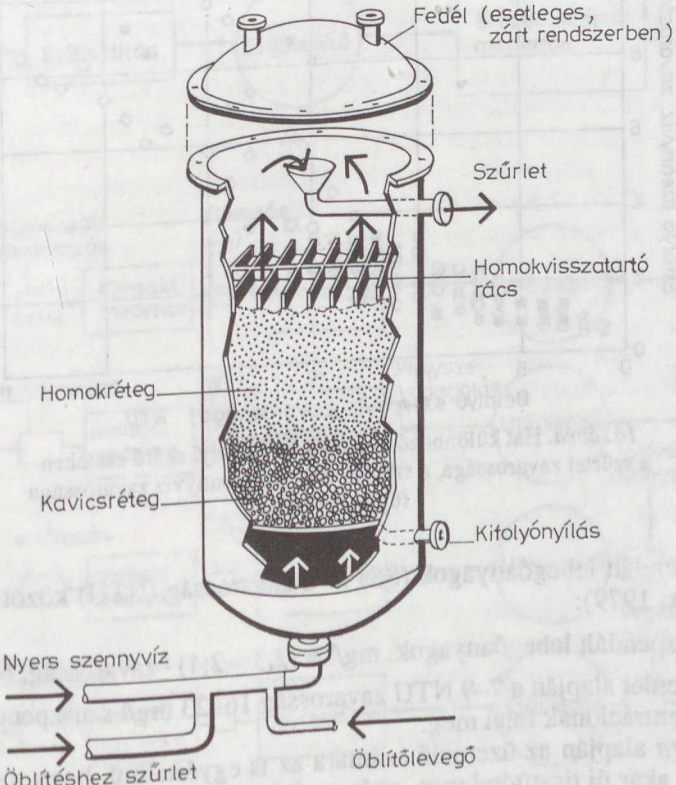
13/g ábra

13/a–g ábra. A nyomásveszteség értelmezése *(a);* a nyomáseloszlás alakulása különböző szűrési feltételek esetében *(b–g)*

tése céljából általában *többrétegű gyorsszűrést* alkalmaznak *(14/a–c ábra).* Az ilyen szűrő alsó rétege finomabb, nagyobb fajsúlyú szemcsés anyag (homok). A felső réteg könnyebb fajsúlyú anyagú (antracit). A durvább anyag a nagyméretű lebegőanyagokat eltávolítja, ezáltal az alsó finom réteg a gyors eltömődéstől mentesül. Az alsó finom réteg tetején, a réteghatáron, felületi szűrés jelentkezik, ami a



14/a–c ábra. Gyorsszűrőtípusok (példák). *a:* hagyományos, lefelé szűrő, egyrétegű szűrő; *b:* kétrétegű, lefelé szűrő kétrétegű szűrő; *c:* egyrétegű, felfelé szűrő szűrőrendszer



15. ábra. Felfelé szűrő szűrőrendszer

felső réteg teljes mélységén átjutó lebegőanyagokat visszatartja, így az alsó réteg áttörése elmarad, a lebegőanyagok az alsó rétegbe nem is képesek behatolni.

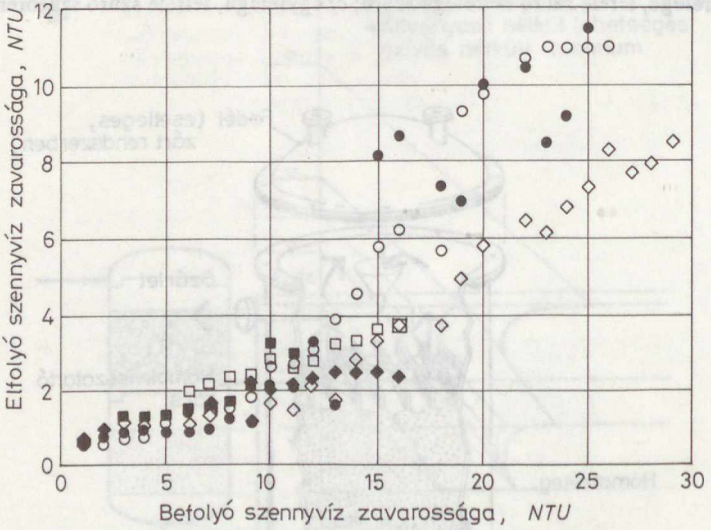
A felfelé szűrő gyorsszűrőben több szűrőanyagot építenek be, ezáltal több lebegőanyag tartható vissza, ill. távolítható el.

A szűrőkből kiszűrt lebegőanyagok mindig felfelé irányuló öblítéssel távolíthatók el *(15. ábra)*.

A különböző típusú szűrők tisztító hatékonysága a *16. ábra* (Tchobanoglous, 1988) alapján, azonos szennyvíztisztító telepen üzemeltetett hat gyorsszűrő üzemelési adatainak elemzésével világítható meg. A szűrő hatékonysága a szűrőre vezetett szennyvíz zavarossága függvényében a következőképpen alakul:

a) jó minőségű utóülepített szennyvizet vezetve a szűrőre (zavarosság <7–9 NTU), valamennyi szűrő ≤NTU zavarosságú szűrletet biztosít,

b) ha a szűrőre vezetett szennyvíz zavarossága >7–9 NTU, valamennyi szűrő előtt vegyszeradagolás szükséges a ≤NTU zavarosság eléréséhez.



16. ábra. Hat különböző homogén szemcséjű szűrő esetében a szűrlet zavarossága, a szűrőre vezetett szennyvíz zavarossága függvényében

A szuszpendált lebegőanyagok (SS) és a zavarosság (NTU) közötti kapcsolat (Thibodeaux, 1979):

$$\text{Szuszpendált lebegőanyagok, mg/l} \approx (2{,}3 - 2{,}4) \cdot \text{zavarosság, NTU.} \qquad (6)$$

Ezen egyenlet alapján a 7–9 NTU zavarosság 16–23 mg/l szuszpendált lebegőanyag-koncentrációnak felel meg.

A *16. ábra* alapján az üzemelő számára az is egyértelmű, hogy az *utóülepítő hatásfokára* akár új tisztítótelepen, akár továbbfejlesztendő telepen, *nagy gondot kell fordítani.*

Homogén anyagú, egyrétegű szűrő kétféle lehet:

a) Homogén, *durvább*, 2–3 mm hatékony szemcsenagyságú, kb. 2 m vastag réteg előnyös üzemeltetési vonásai:

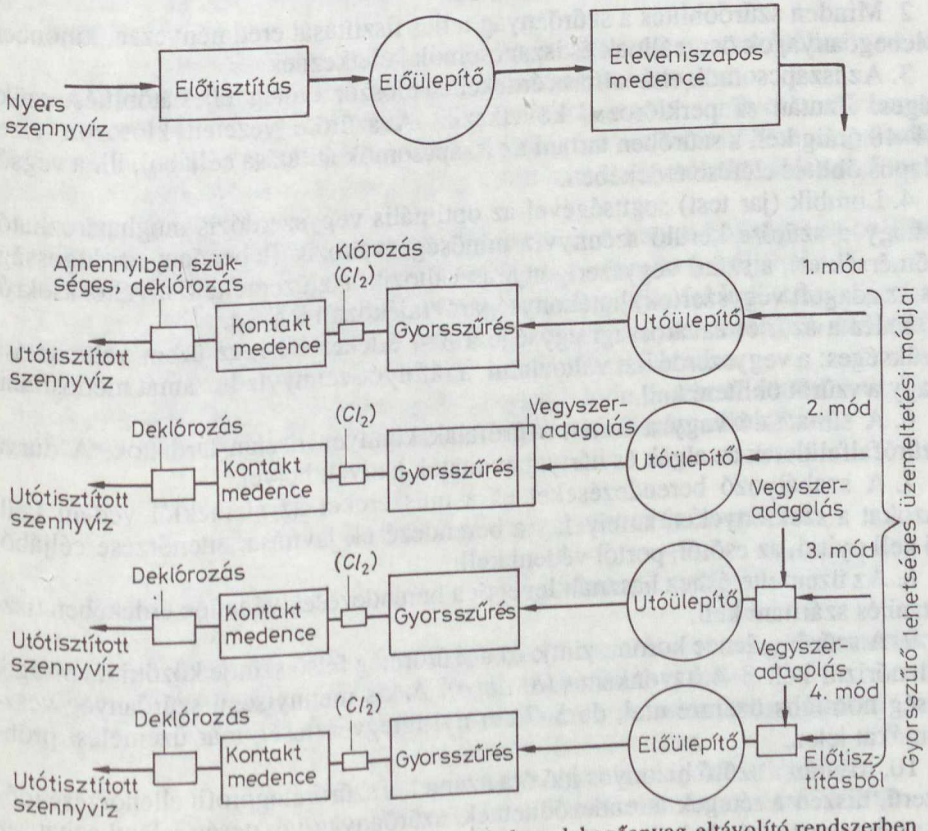
– a szűrési periódus hosszabb,
– jelentősen kisebb szűrési sebesség esetében a szennyvíz szimultán denitrifikálására is képesek.

Hátrányai:

– egyforma szemcseméretet igényelnek,
– nagy öblítési sebesség szükséges a réteg hatékony tisztításához.

b) Az egyforma szemcseméretű szűrő alternatívája a változó szemcseméretű levegő–víz öblítésű homogén szűrő. Az ilyen szűrőből a kiszűrődött szennyező anyagok már a réteg teljes expanziója előtt kimosódnak.

Az utótisztító gyorsszűrő helye, ill. az üzemeltetés módja a szennyvíztisztító rendszerben a 17. ábrán értelmezhető (Johnson és Kerri, 1989 nyomán):



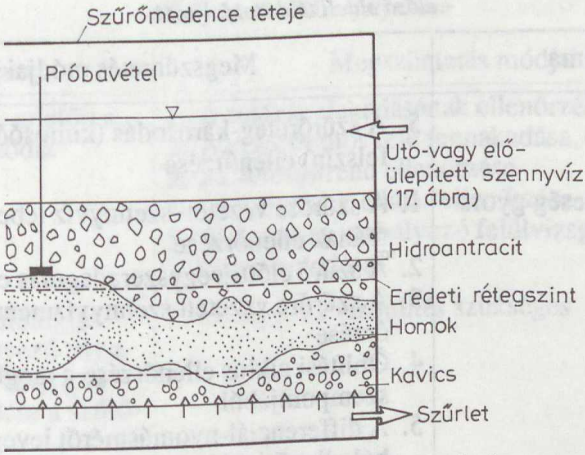
17. ábra. Szennyvízutószűrő négy lehetséges helye a lebegőanyag-eltávolító rendszerben

1. mód: az utóülepített szennyvíz tisztítása vegyszeradagolás nélkül.
2. mód: az utóülepített szennyvíz tisztítása a gyorsszűrő elé adagolt vegyszer segítségével.
3. mód: az utóülepített szennyvíz tisztítása utóülepítő előtti vegyszeradagolással.
4. mód: a nyers szennyvíz tisztítása a fizikai-kémiai rendszerbeli előülepítő elé adagolt vegyszeradagolás segítségével.

2.2.2.2. ÜZEMELTETÉSI STRATÉGIA

Az üzemeltetési stratégia kidolgozása például számos üzemelési probléma jelentkezése miatt, új dolgozók oktatásához szükséges. A stratégia elemei a következők lehetnek (Johnson és Kerri, 1989).

1. A szűrési sebesség a tervezett, ill. optimális határon belül maradjon. Új szűrőegységet kell bekapcsolni vagy üzemen kívül helyezni, az igényeknek megfelelően. Nagyon kis szűrési sebesség időszakában a szűrőréteg felszínén hártyaszerű bevonat képződik, ami, ha a sebesség hirtelen nő, a szűrőréteg áttörését eredményezi. Nagyon nagy szűrési sebesség esetében a lebegőanyagok egy része a szűrőrétegen áthaladva, a szűrletbe kerül.
2. Minden szűrőöblítés a szűrőanyag teljes tisztítását eredményezze, különben a lebegőanyagok összeállnak és iszapcsomók keletkeznek.
3. Az iszapcsomók eltávolítása érdekében először a réteg teljes átöblítése szükséges. Ezután szuperklórozás következik. A szűrőre vezetett klórozott vizet 24–48 óráig kell a szűrőben tartani az iszapcsomók átitatása céljából, ill. a végső, alapos öblítés elérése érdekében.
4. Lombik (jar test) segítségével az optimális vegyszerdózis meghatározható. Ahogy a szűrőre kerülő szennyvíz minősége változik (lebegőanyag, lúgosság, hőmérséklet), a szűrő vegyszerigénye is változik. Az üzemeltető a változásokról és az adagolt vegyszer(ek) hatékonyságáról tájékozott legyen.
5. Ha a szűrlet zavarossági egysége a 3–4 értéket eléri, az üzem változtatása szükséges: a vegyszerdózist változtatni, a ráfolyó szennyvíz hozamát módosítani, vagy a szűrőt öblíteni kell.
6. A sima falú vagy a festett szűrőfalak könnyen tisztán tarthatók. A durva szűrőfalfelületek az algák és hártyabevonatok kedvelt helyei.
7. A szabályozó berendezéseket és a műszereket az elemektől védeni kell. Azokat a szekrényeket, amelyeket a berendezések javítása, ellenőrzése céljából ki kell nyitni, az esőtől, portól védeni kell.
8. Az üzemeltetéshez használt levegőt a berendezések védelme érdekében tisztítani és szárítani kell.
9. A szűrőmedence koronaszintje és a szűrőréteg felső szintje közötti távolságot ellenőrizni kell 3–4 havonként *(18. ábra)*. A kis mennyiségű szűrőanyag-veszteség normális üzemre utal, de 5–7 cm-nyi rétegveszteség már üzemelési problémákat jelez.
10. Miután a szűrő bizonyos idő óta üzemel, a szűrőrétegprofil ellenőrzése időszerű, hiszen a rétegek átrendeződhetnek, szűrőanyag-veszteség jelentkezhet, az összrétegvastagság helyileg változhat *(18. ábra)*.



18. ábra. A szűrőanyag-veszteség ellenőrzése

11. Ha nyitott felszínű gyorsszűrők körül fák, bokrok vannak, a levelek szűrőbe kerülését meg kell akadályozni, mert a levelek a szűrőből nagyon nehezen öblíthetők ki.

12. Soha ne dobjunk szemetet, például cigarettavéget a gyorsszűrőbe, mert az nehezen öblíthető, sőt egyre mélyebbre kerülhet a szűrőrétegben.

13. Időszakonként a szűrő előtt előklórozás kívánatos, mellyel a medencefalakon és a rétegben algák és hártyabevonatok jelenléte és fejlődése megakadályozható. Az előklórozás után rövid ideig a szűrlet a szokottól eltérőbb színű lesz, de rövidesen újra tisztává válik.

14. A szűrőtisztítás költségét meg kell határozni. A kapott költséget az öblítéshez felhasznált szűrlettérfogatra kell vonatkoztatni, ellenőrzés céljából.

15. Az üres szűrőt az öblítőrendszeren keresztül mindig fel kell tölteni, ezáltal a szűrőfelszín zavarása elkerülhető. Ha a szűrőt a befolyási tolózáron keresztül töltjük fel, a szűrőfelszín zavarása, a helyi erózió elkerülhetetlen.

16. A száraz szűrőréteget öblítés előtt hosszabb időn keresztül áztatni kell. Ezáltal a száraz szűrőanyag öblítővízzel való együttes felúszása elkerülhető.

2.2.2.3. ÜZEMELTETÉSI PROBLÉMÁK, MEGSZÜNTETÉSÜK MÓDJAI

Probléma	Megszüntetés módjai
A szűrt víz lebegőanyag-tartalma és zavarossága nagyfokú	1. A szűrőrétegbeli nyomásveszteség nagymértékű lehet. Emiatt a szűrőáttörés jellemző 2. Fluktuáló hidraulikai terhelés. Nagymértékű fluktuálás szűrőáttörést okoz 3. A szűrő előtti vegyszeradagolás ellenőrzése 4. Öblítési ciklus ellenőrzése a megfelelő öblítés szempontjából

előző oldali táblázat folytatása

Probléma	Megszüntetés módjai
	5. A szűrőréteg-károsodás (kimosódás, egyenlőtlen felszín) ellenőrzése
A nyomásveszteség gyors növekedése	1. A szűrőre vezetett szennyvíz lebegőanyag-tartalmának ellenőrzése 2. A szűrő előtti vegyszeradagolás ellenőrzése 3. A szűrőre vezetett szennyvízmennyiség ellenőrzése 4. Öblítési ciklus ellenőrzése a megfelelő öblítés szempontjából 5. A differenciál-nyomásmérőt levegő szempontjából ellenőrizni kell. A levegő jelenléte hibás leolvasást eredményez
A nyomásveszteség jelentéktelen	1. A szűrőre kerülő szennyvíz lebegőanyag-tartalmának ellenőrzése 2. A szűrőre vezetett szennyvízmennyiség ellenőrzése 3. A differenciál-nyomásmérőt levegő szempontjából ellenőrizni kell. A levegő jelenléte hibás leolvasást eredményez 4. A szűrlet ellenőrzése lebegőanyag-koncentráció (áttörés) szempontjából 5. A szűrőréteg károsodása *(18. ábra)* az öblítés helytelen volta miatt 6. Öblítés ellenőrzése a teljes ciklus szempontjából
Gyorsszűrő anyagának vesztesége	1. Kimosódás az öblítési időszak alatt 2. A szűrlet szűrőanyag-tartalmának vizsgálata, amely a drénrendszer meghibásodását jelezheti. A drénrendszer és az öblítőzagy-elvezető vályú megfelelő kialakítása 3. Túlzott mértékű tisztítás az öblítés alatt, amely a szűrőanyag aprózódását eredményezheti
Nagymértékű nyomásveszteség a tiszta szűrőrétegben	1. A differenciál-nyomásmérő ellenőrzése 2. Tökéletlen öblítési ciklus, ellenőrzése 3. Az iszapcsomók vizsgálata a szűrőrétegben. Mintavétel *(18. ábra)*
Szűrés észlelhető, amikor a szűrlettolózár zárt állású	1. A differenciál-nyomásmérő ellenőrzése 2. A mérőműszerkör ellenőrzése kalibráció szempontjából 3. A szűrlettolózár megfelelő állásának ellenőrzése

előző oldali táblázat folytatása

Probléma	Megszüntetés módjai
Az öblítés leáll, mielőtt a ciklus befejeződik	1. A tolózár elakadásának ellenőrzése 2. Az elektromos relé fennakadása, ellenőrzése 3. Időrelé-sorrend ellenőrzése 4. Öblítőszűrlet-ellátás ellenőrzése 5. Elektromos szabályozó felülvizsgálata (szivattyú kikapcsolódása)
Iszapcsomók (biológiai pehely, szennyező anyagok és a szűrőanyag alkotja) képződése a szűrőrétegben	1. Levegő- és vízöblítés szükséges
Emulgeált zsíranyagok felhalmozódása a szűrőrétegben	1. Levegő- és vízöblítéssel távolíthatók el. Szélső esetben gőzzel való tisztítás válhat szükségessé
Elégtelenül tisztított szűrőréteg falai közelében „repedések" keletkezhetnek és a réteg „zsugorodik". Végül iszapcsomók képződnek	1. Megfelelő öblítés szükséges
Az alátámasztó durva (kavics-) réteg felszínén dombok képződése	1. Túlzott sebességű öblítés okozhatja (ellenőrzése) 2. További, 50–75 mm vastag, nagy sűrűségű és durva szemcséjű (pl. korund-) réteg is alkalmazható 3. Öblítővíz-mennyiség szabályozót kell alkalmazni
Az öblítőzagy az öblítési ciklus végén szennyezett	1. Öblítési időt hosszabbítani kell

2.2.2.4. KÉRDÉSEK

1. Mikor és milyen célból célszerű a gyorsszűrés alkalmazása? (2.2.2. fejezet.)
2. A gyorsszűrőegységek száma miként választható meg? (2.2.2. fejezet.)
3. Gyorsszűrőtípusok (2.2.2. fejezet; *14/a–d ábra.*)
4. Miért előnyös a többrétegű gyorsszűrő alkalmazása? (2.2.2. fejezet; *13/a–c ábra.*)
5. Mit jelent a „gyorsszűrés" és a „lassúszűrés"?
6. Melyek a szűrési mechanizmusok kétrétegű, lefelé irányuló szűrés esetében? (2.2.2.1. fejezet.)
7. Milyen szűrőanyagok használatosak? (2.2.2.1. fejezet; *14. ábra.*)
8. Miként határozható meg a szűrőrétegen keresztül jelentkező nyomásveszteség? (2.2.2.1. fejezet; *13. ábra.*)
9. A szennyvíz-utószűrő lehetséges alkalmazási módjai. *(16. ábra.)*
10. Milyen üzemeltetési stratégiák léteznek? (2.2.2.2. fejezet.)
11. Melyek a fő utószűrő üzemeltetési problémák, és hogy szüntethetők meg? (2.2.2.3. fejezet.)

2.2.3. UTÓÜLEPÍTETT SZENNYVÍZ LEBEGŐANYAG-TARTALMÁNAK ELTÁVOLÍTÁSA KÉMIAI TISZTÍTÁSSAL

A kémiai tisztítás háromlépcsős folyamat.

1. *Koaguláció.* A vegyszer(ek) gyors bekeverése eredményeként a nagyon finom részecskék mikropelyhekké tömörülnek. A nagyon kis pelyheket (pin point floc) gyors reakciók eredményezik.
2. *Flokkuláció.* A koaguláció után következik, amikor a szennyvizet gyengén kell keverni. Így már nagyobb, sűrűbb pelyhek képződnek.
3. A folyadék/szilárdanyag-*szeparációt* ülepítés, levegős flotáció vagy szemcsés anyagú szűrés biztosíthatja.

A kémiai tisztítás mint utótisztítás

a) előülepítő vagy
b) az utóülepítő

után kapcsolt medencében valósítható meg. De a vegyszer az elő- és utóülepítő *előtt* is adagolható, s ilyenkor önálló, további medencére nincs szükség.

Az utóülepítő hatásfokát javító adagolt vegyszerek elsősorban:

– polielektrolitok,
– alumínium-szulfát (szilárd és folyékony),
– ferriklorid,
– mész.

2.2.3.1. POLIMER PELYHESÍTŐSZEREK

A polimer pelyhesítőszerek hosszú láncú, nagy molekulasúlyú (10^4–10^6) szerves vegyületek. A polimerek az elektrolitok (olyan anyag, amely két vagy több ionná disszociál, ha vízben oldódik) tulajdonságával rendelkeznek, általában polielektrolitok néven ismertek. Természetes vagy szintetikus eredetűek lehetnek. Minden szintetikus polielektrolit a polimerláncon lévő töltésfajta szerint osztályozható. A negatív töltésű polimerek az anionos, a pozitív töltésű polimerek a kationos polimerek. Az elektromos töltés nélküli polimerek a nem ionos polimerek.

A sokféle polimer önállóan vagy egyéb vegyszerekkel kombinálva alkalmazható, így gyakorlatilag minden esetben megtalálható a kedvező kombináció. A dózis megválasztásakor szem előtt kell tartani, hogy azt a szennyvízkémia komplex volta jelentősen befolyásolja. A polielektrolit-dózisok általában nagyon kicsinyek, rendszerint a <1 mg/l tartományba esnek. Az üzemelési tapasztalatok szerint *a hatékony adagtartomány beállítása rendkívül fontos. A polielektrolit-túladagolás rosszabb hatású, mintha egyáltalán nem adagolunk.*

A polielektrolitok száraz por vagy folyékony állapotban szerezhetők be. A por állapotú anyag tározásakor tisztában kell lenni azzal, hogy az gyorsan nedvességet abszorbeál és *hatástalanná válik.*

A por alakú polielektrolitból előállított oldatot a vizsgálatokhoz külön tartályból kell a lombikba (batch) táplálni. Ha a keverés a lombikban történik, *a port lassan, folyamatos keverés közben kell adagolni.* Különben használhatatlan csomók képződnek, amelyek a tápszivattyúkat és a csővezetékeket eltömhetik.

Az a hiedelem, hogy a polielektrolitok kezelése nem veszélyes. De a polielektrolitok, *ha nedvesek, rendkívül csúszós felületeket eredményeznek.* A csúszós felületeket azonnal meg kell tisztítani. A klór a polielektrolitokat lebontja. A kiloccsant polielektrolitot savval (NaCl) vagy nátrium-hipoklorittal kell neutralizálni. Egyes alacsony pH-jú polielektrolitok korrozívek lehetnek.

2.2.3.2. ALUMÍNIUM-SZULFÁT (SZILÁRD, KRISTÁLYOS)

A szemcsés alumínium-szulfát [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14\ H_2O$] rizsszem nagyságú és a nagyon finom szemcséjű anyagok keveréke. A szennyvíztisztításhoz is zömmel ez az alumínium-szulfát forma használatos. Könnyen adagolható, és a tölcséres adagolótartályban, ha nedvesség vagy víz nem éri, nem csomósodik össze. Ez esetben nem is korrozív tulajdonságú. Minden mechanikai adagolóberendezés, így a szállítószalag is addig működjön, amíg tisztává válik, különben az alumínium-szulfát megkeményedik rajta, ami könnyen eldugulásokhoz vezethet. Az anyag jól szellőztetett, száraz helyiségben tárolandó. A tározótartály oldalfalait a fenékhez 60°-os lejtésű fallal kell kialakítani, így a teljes ürítés biztosítható.

Mind a száraz és a nedves alumínium-szulfát a bőrt és a nyálkahártyát irritálja és súlyos szemkárosodást okozhat. Védőruhát kell hordani a por, a loccsanás vagy a porlasztás káros hatása ellen.

2.2.3.3. ALUMÍNIUM-SZULFÁT (FOLYÉKONY)

Az alumínium-szulfát folyékony formában is beszerezhető. *Az üzemeltetők ezt a fajta formát kedvelik,* mert kezelése könnyű, noha a vízhányad szállítási költsége teherként jelentkezik.

A folyékony alumínium-szulfát *nagyon korrozív,* ezért a tartályok, szivattyúk és a csővezetékek védelméről gondoskodni kell.

Az alumínium-szulfát, ha nagyon híg állapotú, akkor a baktériumok szaporodását segíti (Kollár, 1993) és/vagy a tápvezetékekben iszapként lerakódik, *ha a transzportáló közeg szennyvíz.* A hártyaszaporulat és az iszap a vegyszert tápláló vezetékeket eltömheti. Ez a probléma a szennyvíz gyors áramoltatásával küzdhető le. A koncentráltabb alumínium-szulfát-oldat a baktériumok szaporodását azonban nem segíti elő.

Az alumínium-szulfát a szennyvíz lúgosságát csökkenti. A természetes lúgosság hidratált mésszel, kalcinált szódával vagy nátrium-hidroxiddal állítható helyre.

Az alumínium-szulfát túladagolása a pH-szintet olyan pontra csökkenti, ami a biológiai aktivitást is csökkenti. Ezt az alacsony pH-értéket a fertőtlenítés céljából adagolt klór tovább csökkenti, ami a befogadóbeli növényi életet is kedvezőtlenül befolyásolja.

Ha az adagolt vegyszer koncentrációja változik, az üzemeltetőnek a vegyszeradagolás mértékét is változtatni kell.

2.2.3.4. FERRIKLORID

A ferriklorid három – vízmentes, száraz kristályos, hidratált és folyadék – formában szerezhető be. A száraz forma az atmoszférából gyorsan abszorbeál nedvességet és korrozív hatásúvá válik. A vízmentes ferrikloridot a már felnyitott tartályból teljesen ki kell szedni, különben korrozív oldattá válik. Az oldatok készítésekor vigyázni kell, mert az oldat hőmérséklete a vegyszer oldódásakor emelkedik.

A folyékony ferriklorid csak korrózió-ellenálló tartályban tárolható.

A ferriklorid minden formája foltot idéz elő szinte minden anyagon, így a falakon, a padlókon, berendezéseken, sőt még az üzemeltetőn is. A ferriklorid kezelésére a savakra vonatkozó biztonsági előírások betartása kötelező.

2.2.3.5. MÉSZ

A hidratált mész [kalcium-hidroxid, $Ca(OH)_2$] alkalmazási céljai:

– a szilárd anyagok pelyhesedésének elősegítése,
– egyéb vegyszerek pelyhesítő hatásának javítása a pH beállítása révén.

A mész, a nedvesség-abszorbeálás elkerülése érdekében, száraz helyen tárolandó. A tároló lejtős oldalfala 60–66 fokos legyen.

A mész oltatlan (égetett) formában is beszerezhető. Tárolása azonban nehéz, mert a nedvességet gyorsan adszorbeálja és lepényszerűvé válik. Az oltatlan mészhez vizet adagolva, hő fejlődik. A megfelelő vízellátásról, ill. a hőfejlődés szabályozásáról gondoskodni kell.

A koncentrált mész csővezetékbeli szállításakor könnyen keletkezik lerakódás, ami eltömődést okozhat. Ezért az 50–60 mm-es csöveket évenként vagy kétévenként új csövekkel kell felváltani.

A mész a bőrt, a szemet, a nyálkahártyát és a tüdőt irritálja.

2.2.3.6. VEGYSZERBEKEVERŐ, -ADAGOLÓ ÉS -MENNYISÉGMÉRŐ BERENDEZÉSEK

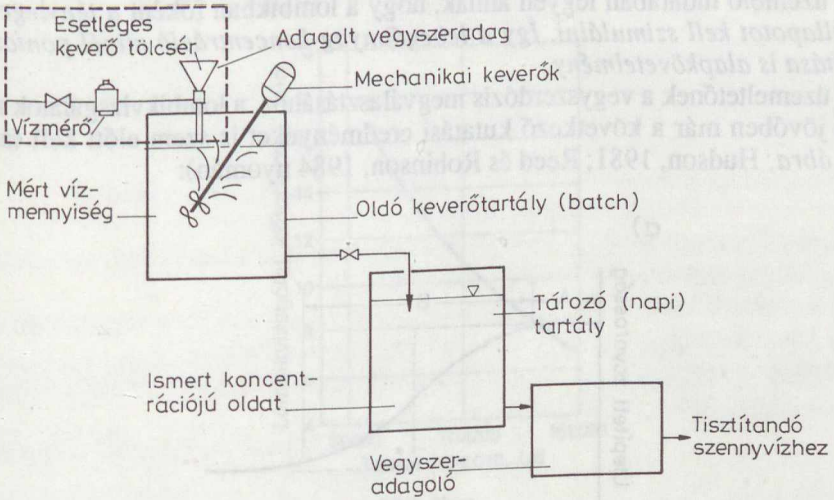
A vegyszerbekeverő berendezések *(19. ábra)* az igényelt koncentrációjú oldatot készítik elő. A dózis mennyiségét mérni kell. Erre a célra a következő adagolóberendezéseket alkalmazzák folyadék esetén:

a) dugattyús szivattyú,
b) fogaskerék-szivattyú,
c) membránszivattyú.

Szilárd vegyszerek esetén:

a) csavarszivattyú,
b) vibrációs vályú,
c) forgó adagoló,
d) gravimetrikus szállítószalagos adagoló.

Az üzemeltetési tapasztalatok szerint a polielektrolitok oldása nehéz. Oldásuk után *csak bizonyos idő elteltével adagolhatók.*



19. ábra. Vegyszerbekeverő berendezések

2.2.3.7. VEGYSZERADAG-MEGHATÁROZÁS

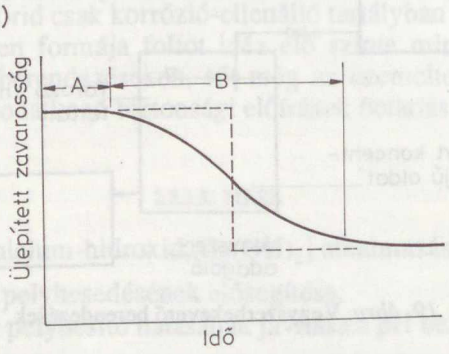
Minthogy a szennyvíztisztító rendszerbe bevezetett szennyvíz mennyisége és minősége a hét napjain, a hétvégeken, évszakonként, évről évre változhat, az üzemeltetőnek az adagolt vegyszer(ek) lebegőanyag-eltávolítással kapcsolatos hatékonyságát gondosan kell figyelemmel kísérni. Ennek érdekében a következő *napi vizsgálatok* szükségesek:

1. A telepre befolyó és elfolyó szennyvíz lebegőanyag-koncentrációját mérni kell.
2. A lebegőanyag-eltávolítás hatásfokát számítani kell.
3. A vegyszeradagot számítani kell.
4. Az elfolyás zavarosságát mérni kell.
5. Az elfolyás vizuális megfigyelése szükséges.
6. Az összes üzemelési paramétert fel kell jegyezni.

A vegyszeradag meghatározására a legáltalánosabb módszer a lombikvizsgálat (jar test). A lombikvizsgálat a *koagulációs/flokkulációs folyamatot szimulálja* különböző derítőszerdózisok esetében. A vizsgálat célja a minimális koagulációdózis *közelítő meghatározása*, bizonyos tisztított szennyvízminőség elérése céljából. A szennyvízminták (500–1000 ml) hat lombikba kerülnek, majd minden lombikba egyszeri alkalommal különböző mennyiségű derítőszert adagolnak. Ezt követően a lombik tartalmát keverni kell (először a koaguláció szimulálása céljából gyors bekeverés, majd a flokkuláció céljából lassú keverés), majd az ülepedés (nyugalmi szennyvíztérben) következik. A legkisebb derítőszerdózist – amely *még elegendő ülepedést biztosít* – kell alkalmazni.

Az üzemelő tudatában legyen annak, hogy a lombikban főként *a tényleges telepi állapotot kell szimulálni. Így a lebegőanyag-koncentráció minél pontosabb beállítása is alapkövetelmény.*

Az üzemeltetőnek a vegyszerdózis megválasztásához, a lombikvizsgálatok alapján, a jövőben már a következő kutatási eredményeket is szem előtt kell tartani (*20/a ábra;* Hudson, 1981; Reed és Robinson, 1984 nyomán):



20/a ábra

1. Az ülepítőből az ülepítési zóna bizonyos mélységéből különböző időpontokban vett minták „ülepedett" zavarossága az ábrán lévő folyamatos görbe szerint alakul.

2. A szaggatott vonal valamennyi részecske azonos ülepítési sebességét tételezi fel. Ez esetben a választott mélységben akkor jelentkezik állandó zavarosság, amikor az utolsó részecske is a vizsgált mélység alá került.

3. A folyamatos görbe jobb oldali része a finomszemcséjű részecskéket képviseli, melyek a vizsgált időpontig még nem ülepedtek le.

4. Az *A* szakasz hosszúsága a vizsgált mélység és a pelyhek ülepítési sebességétől függ. Az *A* szakasz hossza nagyobb, ha a mélység nagyobb, és ha az ülepítési sebesség kisebb.

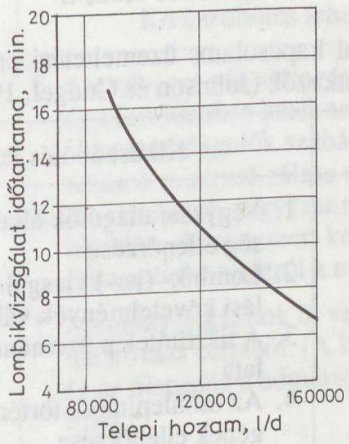
5. A *B* szakasz lejtése az ülepítési sebességtartománytól, vagyis a pehelyméret-eloszlástól és a pelyhek sűrűségétől függ.

6. Optimális az ülepítési sebesség, ha az *A* szakasz minimalizált (nagy ülepítési sebességek, nagyméretű pelyhek esetében), és ha a *B* szakasz lejtése maximált (szűk részecskeméret-eloszlás esetében). A folyamatos görbe akkor fut be a zéró zavarosságba, ha az ülepítőelfolyás jó minőségű, és valamennyi kis részecske a nagy pelyhekbe tömörült.

7. A lombikvizsgálat ülepítési időtartamát a tényleges tisztítótelep folyadékhozamának megfelelően célszerű megválasztani (*20/b ábra;* Reed és Robinson, 1984 nyomán).

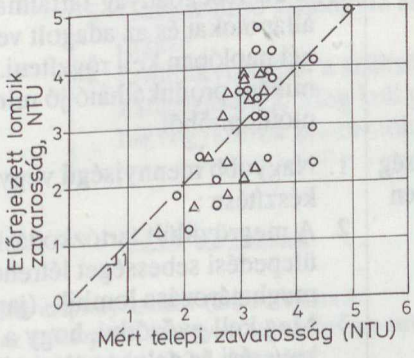
8. A lombikvizsgálatok alapján előre jelzett és a telepi zavarosság kapcsolatát a *20/c ábra* (Reed és Robinson, 1984 nyomán) szemlélteti. A szaggatott vonal a tökéletes előrejelzést képviseli.

b)



20/b ábra

c)



20/c ábra

20/a–c ábra. Lombikban lejátszódó és a telepi folyamatok kapcsolata. *a:* ülepítési görbe a folyadékfelszín alatt bizonyos mélységben, a zavarossági mérések alapján; *b:* a lombikvizsgálatok időtartama és a telepi folyadékhozam kapcsolata; *c:* a lombikvizsgálatok alapján előre jelzett és a telepi zavarosság kapcsolata

9. *Az ilyen irányú kutatások a lombik- és a telepi zavarosság közötti méret-arányhatás (hidraulikai – kinematikai – hasonlóság) kérdését is felvetik.*

A keletkezett iszapréteg feletti iszapvíz zavarosságát, lebegőanyag-tartalmát és pH-értékét meg kell határozni. Ezen információkkal az üzemeltető a vegyszer-dózist megválaszthatja.

2.2.3.8. ÜZEMELTETÉSI PROBLÉMÁK, KIKÜSZÖBÖLÉSÜK AJÁNLOTT MÓDJAI

A vegyszeradagolással kapcsolatos üzemeltetési problémák, megszüntetésük lehetséges módjai a következők (Johnson és Gudgel, 1989):

Üzemelési probléma	Kiküszöbölés lehetséges módjai
Utóülepített szennyvíz lebegőanyag-tartalma nagy (a felúszó iszap vagy lebegőanyag-kimosódás miatt)	1. Vegyszeradagolók által adagolt vegyszermennyiség ellenőrzése 2. Lombik- (jar-) vizsgálatok, ha a vegyszeradagolási követelmények változtak 3. A tisztítótelep üzemének általános felülvizsgálata 4. Az utóülepítőből történő iszapelvétel mennyiségének ellenőrzése
Utóülepített szennyvíz lebegőanyag-tartalma kevés	1. Vegyszeradagolók által adagolt vegyszermennyiség ellenőrzése 2. Lombik- (jar-) vizsgálatok, ha a vegyszeradagolási követelmények változtak 3. A kis lebegőanyag-tartalmat okozó üzemeltetési állapotokat és az adagolt vegyszer(ek) mennyiségét naplóban kell rögzíteni. Meg kell határozni, miként produkálható jó minőségű elfolyás az utóülepítőből
Nagy szennyvízmennyiség halad át a tisztítótelepen (tranziens folyamat)	1. Nagyobb mennyiségű vegyszeradagolás előkészítése 2. A megrövidült tartózkodási idő miatt gyorsabb ülepedési sebességet létrehozó vegyszeradag meghatározása lombik- (jar-) vizsgálatokkal 3. Meg kell győződni, hogy a lombikvizsgálatok keverési és pelyhesedési idői a tranziens szennyvízhozam-áthaladás időtartamait megfelelően szimulálják
Kis szennyvízmennyiség halad át a tisztítótelepen (tranziens folyamat)	1. Lombikvizsgálatok végzése az optimális vegyszeradag-meghatározás céljából. A hosszabb tartózkodási idő a vegyszeradag, ill. a vegyszerköltség csökkenését eredményezi 2. A vegyszer-túladagolás a biológiai tisztításra és a befogadóra toxikus állapotokat idézhet elő
A tisztítandó szennyvíz pH-jának változása	1. A vegyszeradagolók ellenőrzése a vegyszer okozta pH-változás szempontjából 2. Lombik- (jar-) vizsgálatok a vegyszeradagolás mértékének esetleges változtatása szempontjából

az előző oldali táblázat folytatása

Üzemelési probléma	Kiküszöbölés lehetséges módjai
	3. Szélsőséges pH-változások a biológiai aktivitást és a fertőtlenítés hatékonyságát befolyásolhatják. Vegyszeradagolók szabályozása a kémiai változások minimalizálása céljából 4. Ha az adagolt vegyszer nem segíti elő a jó pelyhesedést, új vegyszert kell alkalmazni (pl. egyik fajta polielektrolitról a másik fajtára kell áttérni)
A szennyvíz hőmérséklet-változása évszakos időjárás-változás, talajvíz-infiltráció és/vagy a csatornahálózat-beli csapadékhányad növelése miatt	1. Lombikvizsgálatok új vegyszermennyiség meghatározása céljából. (A koaguláció, pelyhesedés és az ülepedés a hőmérséklet-változásokkal változik)
Nincs pelyhesedés	1. Vegyszeradagoló szivattyú ellenőrzése 2. Vegyszerellátás és tolózárállás ellenőrzése 3. Oldatszállító szennyvíz és tolózárállás ellenőrzése 4. Lombikvizsgálat a szükséges vegyszeradag meghatározásához. Meg kell győződni, hogy a lombikvegyszerek koncentrációja megfelelő-e

2.2.3.9. KÉRDÉSEK

1. Melyek a kémiai tisztítás alapfolyamatai? (2.2.3. fejezet.)
2. Miként távolítható el az utóülepített szennyvíz lebegőanyag-tartalma? (2.2.3. fejezet.)
3. Vegyszerfajták a kémiai tisztításhoz. (2.2.3. fejezet.)
4. Mire kell vigyázni, ha a vegyszert a biológiai tisztítási lépcső elé adagoljuk? (2.2.3. fejezet.)
5. Miért kell az alumínium-szulfátot szárazon tartani? (2.2.3.2. fejezet.)
6. Miért válik a száraz ferriklorid korrozív hatásúvá? (2.2.3.4. fejezet.)
7. Miért kell a polielektrolittól nedves felületet azonnal megtisztítani? (2.2.3.1. fejezet.)
8. Miként távolítható el a szállító csővezetékekből a mészbevonat, ill. a mésziszap? (2.2.3.5. fejezet.)
9. Milyen szempontok alapján választhatók meg a vegyszeradagolók? (2.2.3.6. fejezet.)
10. Miként határozható meg az optimális vegyszeradag? (2.2.3.7. fejezet.)
11. Milyen tényezőkre kell ügyelni a lombik- (jar-) vizsgálatok végzésekor? (2.2.3.7. fejezet.)
12. Mi a lombik- (jar-) vizsgálat? (2.2.3.7. fejezet.)
13. Milyen szennyvízmennyiségi és -minőségi tényezőket kell ellenőrizni a kémiai tisztítási folyamatokhoz? (2.2.3.8. fejezet.)
14. Milyen jellemző üzemeltetési problémák jelentkezhetnek a kémiai tisztítások során? (2.2.3.8. fejezet.)

2.3. FOSZFORELTÁVOLÍTÁS

A hagyományos rendszerben tisztított szennyvíz fő tápanyagai a foszfor és a nitrogén. A felszíni befogadókba vezetett foszfor- és nitrogéntartalmú szennyvizek *az eutrofizálódást gyorsítják*, az algák és a sekélyvízi gyökeres növényi szervezetek szaporodását ösztönzik, hiszen számukra a foszfor és a szervetlen nitrogén tápanyagforrás.

2.3.1. A TISZTÍTÁSI FOLYAMATOK FOSZFORELTÁVOLÍTÓ HATÁSFOKA

A legtöbb szennyvíz esetében az *oldhatatlan foszfor* kb. 10%-a távolítható el az előülepítővel. A sejtekbe beépült foszfortól eltekintve, *a hagyományos biológiai rendszerekkel csak minimális mennyiségű foszfor távolítható el, mert a foszfor az előülepítő után szinte teljesen oldott formában van jelen.*

A hagyományos és egyéb tisztítórendszerek foszforeltávolító hatásfoka a *9. táblázat*ban adott (Qasim, 1985). A foszforeltávolítás

- kémiai,
- biológiai és
- fizikai

módszerekkel lehetséges.

9. táblázat. A hagyományos és egyéb tisztítószerek foszforeltávolító hatásfoka

Tisztítási művelet vagy folyamat	Foszforeltávolítás, a befolyás %-ában
Hagyományos biológiai tisztítás	
Előülepítés	10– 20
Eleveniszapos rendszer	10– 25
Csepegtetőtestes rendszer	8– 12
Forgó merülőtárcsás csepegtetőtestes rendszer	8– 12
Biológiai foszforeltávolítás	
Főáramú eljárások[1]	70– 90
Mellékáramú eljárások[2]	70– 90
Együttes biológiai nitrogén- és foszforeltávolítás	70– 90
Kémiai eltávolítás	
Kicsapatás fémsóval	70– 90
Kicsapatás mésszel	70– 90
Fizikai eltávolítás	
Szűrés	20– 50
Fordított ozmózis	90–100
Aktívszén-adszorpció	20– 30

Megjegyzés:

[1] és [2] Az eljárások Öllős (1991) 9.4.1 és 9.4.2. fejezeteiben értelmezettek.

A kémiai kicsapatásos módszer, például alumíniumsót használva, *a legáltalánosabban elterjedt.*

A biológiai módszer alapelve az, hogy a mikroorganizmusokat arra kényszeríti, hogy *normál sejtanyaguk felépítéséhez szükségesnél nagyobb mennyiségű foszfort vegyenek fel.* Az utóbbi időben a kémiai eljárások alternatívájaként számos biológiai eljárás született.

A *szűrést* a kémiai vagy a biológiai eljárásokkal kombinálva, <1 mgP/l, tehát szigorú foszforeltávolítási igény esetében alkalmazzák.

Egyéb fizikai eljárások, mint a fordított ozmózis, ultraszűrés, jó hatásfokú foszforeltávolítást biztosítanak, de elsősorban az összes oldott szervetlen szilárd anyagok eltávolítására alkalmazott költséges üzemű eljárások.

2.3.2. KÉMIAI KICSAPATÁS

A szennyvízhez bizonyos vegyszereket adagolva, *ha azok a foszfáttal lépnek reakcióba, oldhatatlan* vagy gyengén oldódó *sók* képződnek. A fő alkalmazható vegyszerek az alumínium-szulfát, nátrium-aluminát, ferriklorid vagy ferriszulfát és a mész. A polimerek az alumínium-szulfáttal és a mésszel kombináltan eredményesen alkalmazottak.

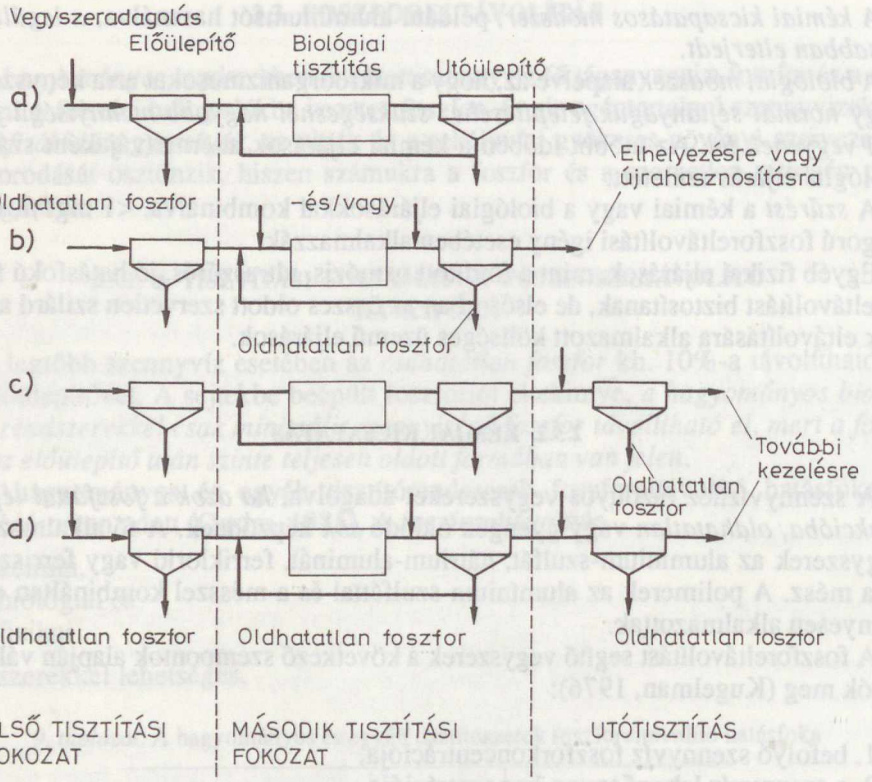
A foszforeltávolítást segítő vegyszerek a következő szempontok alapján választhatók meg (Kugelman, 1976):

1. befolyó szennyvíz foszforkoncentrációja,
2. a szennyvíz lebegőanyag-koncentrációja,
3. lúgosság,
4. vegyszerköltségek (szállítást is beleszámítva),
5. a vegyszerellátás megbízhatósága,
6. iszapkezelő berendezések,
7. végső iszapelhelyezés,
8. egyéb tisztítási folyamatokkal való összeegyeztethetőség.

2.3.2.1. FOSZFORELTÁVOLÍTÁS FÉMSÓKKAL

Alumínium- és vassók a szennyvíztisztító rendszer különböző pontjain adagolhatók *(21/a–d ábra).* Az üzemelési tapasztalatok a következők.

1. A polifoszfátok és a szerves foszfor az ortofoszfátnál nehezebben távolíthatók el. A leghatásosabb foszforeltávolítást az alumínium- vagy vassók utóülepítő utáni (ahol szerves foszfor és polifoszfor már ortofoszfát formájában van jelen) adagolása biztosít.
2. Ha az alumínium- vagy vassókat az előülepítő elé, tehát a tisztítatlan szennyvízbe adagoljuk; azok az oldható ortofoszfáttal reakcióba lépnek és csapadék keletkezik.



21/a–d ábra. Foszforeltávolítás céljából adagolt vegyszer(ek) alternatív adagolási pontjai. *a:* előülepítő elé; *b:* biológiai tisztító műtárgy elé vagy után; *c:* utóülepítő elé; *d:* egyidejűleg a tisztítórendszer különböző pontjain („osztott tisztítás")

3. A szerves és a polifoszfát jóval komplexebb reakciók és a pehelyrészecskékhez való adszorpció révén távolíthatók el.

4. Az oldhatatlanná vált foszfor, a tekintélyes mennyiségű BOI és lebegőanyag a tisztítórendszerből *előülepítő iszap* formájában távozik el.

5. Az előülepítő előtt megfelelő mértékű, gyors vegyszerbekeverésről, majd lassú keverésről kell gondoskodni.

6. Kis lúgosságú szennyvízbe néha bázisadagolás is szükségessé válhat, ami által az $5<pH<7$ tartomány biztosítható.

7. A ferrosók alkalmazása nagyon korlátozott, mivel azok megfelelő foszforeltávolítást csak magas pH-tartományban biztosítanak.

8. A kis lúgosságú (HCO_3^-) szennyvizekben vagy nátriumaluminát és alumínium- vagy ferrisó, mésszel együtt, vagy mindkettő alkalmazható a $pH>5,5$ tartomány fenntartása céljából.

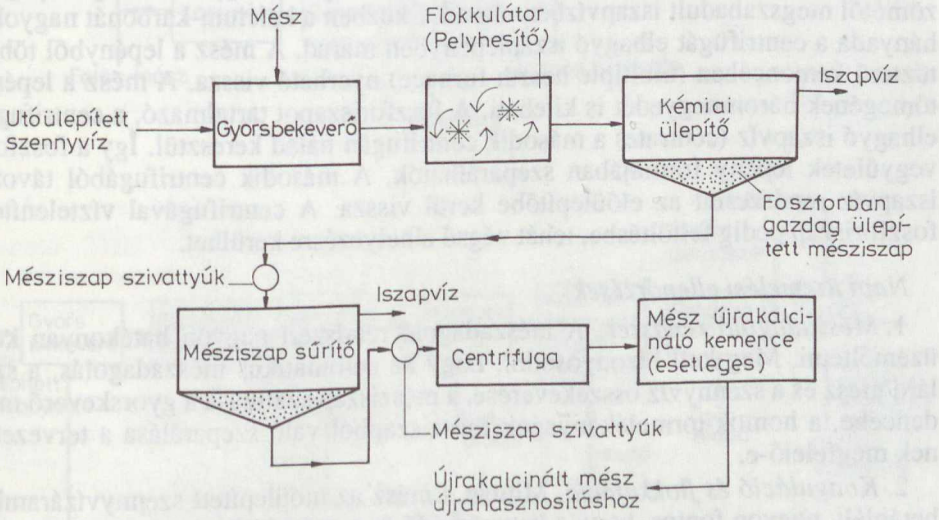
A mész használatakor foszforeltávolítás céljából a következőket kell szem előtt tartani:

– a keletkező, kezelendő iszap mennyisége a fémsók adagolásakor adódó iszap mennyiségéhez képest lényegesen nagyobb,
– a kezelési, tárolási és adagolási feladatok nagyobbak, mint a fémsók esetében (EPA, 1976).

A mészadagolás szabályozásakor a fő paraméterek

– a foszforeltávolítás kívánt mértéke és
– a szennyvíz lúgossága (HCO_3^-).

A mész általában, mint csapadék [$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$] az előülepítőben vagy az utóülepítő után *(22. ábra)* alkalmazott.



22. ábra. Mészkicsapatásos foszforeltávolító rendszer üzemelési elve

A csapadékképzéshez szükséges berendezések a következők:

1. A $Ca(OH)_2$-adagoló berendezés.
2. A $Ca(OH)_2$-csapadékot gyorsan bekeverő berendezés, ami után lassú keverés következik. Ennek eredményeként létrejövő pelyheket a szuszpendált és kolloidális anyagok és a foszforcsapadék alkotja.
3. A mész-foszforiszap ülepítésére az utóülepítőhöz hasonló, külön ülepítő szükséges.
4. Szivattyúk és csővezetékek a mész-foszforiszap tisztítórendszerből való eltávolításához (sűrítéséhez, víztelenítéséhez, végső elhelyezéséhez).

A rendszer üzembe helyezése előtti ellenőrzések:

1. A fázisszétválasztó kémiai ülepítő hidraulikai terhelése az indításkor nem lehet a megfelelően tervezettnél nagyobb. Az ülepítő hatásfoka a tervezett vagy az az alatti hidraulikai terheléskor a legnagyobb.

2. A szennyvíz és a mész [$Ca(OH)_2$] keverék pH-ja 11 vagy annál nagyobb legyen a gyorskeverő tartályban. Ha pH<11 tartományba kerül, a foszforeltávolítás hatásfoka csökken. A csökkenés 75%-a általában a pH=10 elérése előtt jelentkezik.

3. A kémiai ülepítőből elfolyó szennyvíz zavarossága, foszfáttartalma és az ellenőrző mérések segítségével bebizonyosodik, hogy a foszfát utótisztításos eltávolításával egyidejűleg a zavarosság is csökken.

4. A mésziszap víztelenítéséhez, végső elhelyezésük előtt, egyes szennyvíztisztító telepek víztelenítő ágyakat alkalmaznak. Más telepek a meszet igyekeznek visszanyerni újbóli felhasználás céljából *(22. ábra)*. Ezen utóbbi telepeken két centrifuga üzemeltetése szükséges. Az első centrifugát kis eltávolítási hatásfokkal üzemeltetve, a foszfátiszap zöme a centrifugát elhagyó, a lebegőanyagok zömétől megszabadult iszapvízben marad. Eközben a kalcium-karbonát nagyobb hányada a centrifugát elhagyó iszaplepényben marad. A mész a lepényből többtűzterű kemencében (multiple hearth furnace) nyerhető vissza. A mész a lepény tömegének háromnegyedét is kiteheti. A foszforiszapot tartalmazó, a centrifugát elhagyó iszapvíz (centrate) a második centrifugán halad keresztül. Így a foszforvegyületek lepény formájában szeparálhatók. A második centrifugából távozó iszapvíz rendszerint az előülepítőbe kerül vissza. A centrifugával víztelenített foszforiszap pedig feltöltésbe, tehát végső elhelyezésre kerülhet.

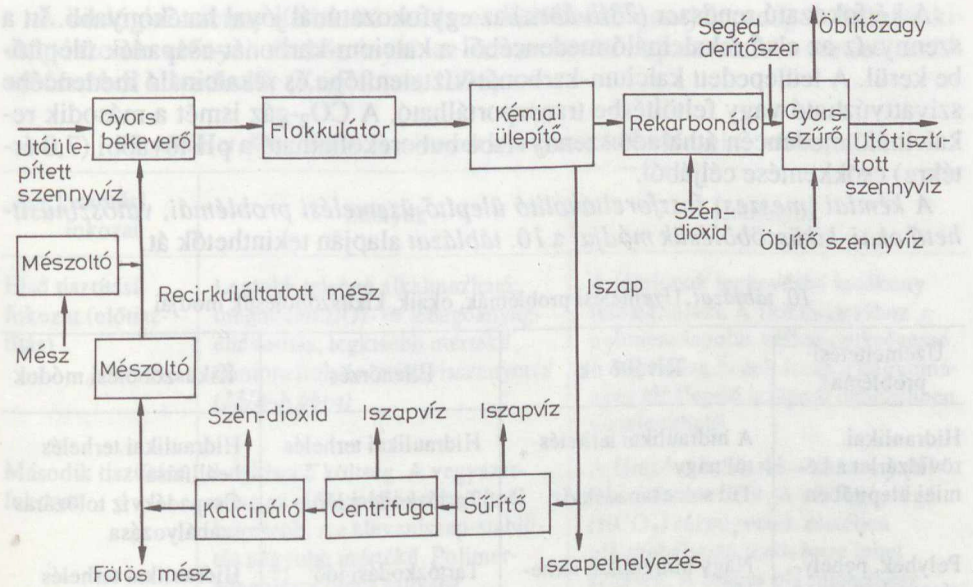
Napi üzemelési ellenőrzések

1. *Mészadagoló rendszer.* A mészadagoló rendszert nagyon hatékonyan kell üzemeltetni. Meg kell bizonyosodni, hogy az automatikus mészadagolás, a szilárd mész és a szennyvíz összekeverése, a mészíszap szállítása a gyorskeverő medencébe, a homok-törmelékanyagok mészíszapból való szeparálása a tervezettnek megfelelő-e.

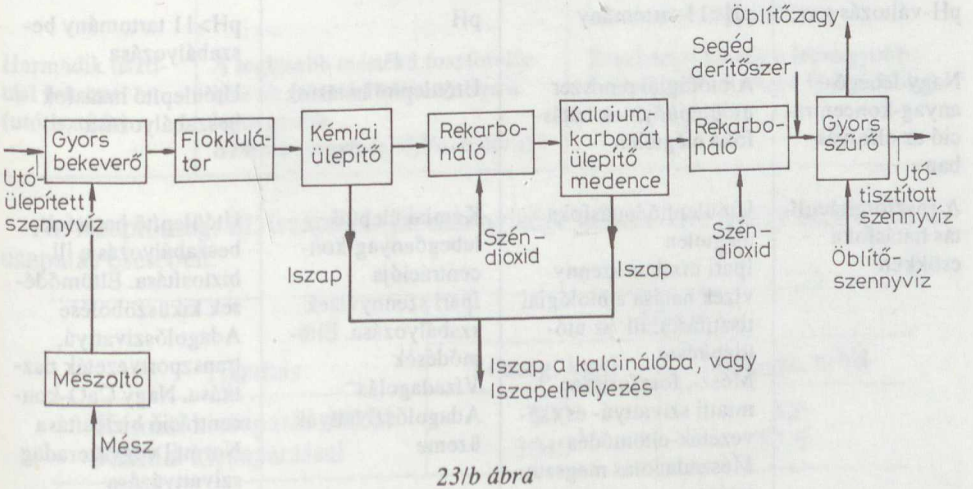
2. *Koaguláció és flokkuláció.* Miután a mész az utóülepített szennyvízáramba betáplált, nagyon fontos, hogy a keverési idő és a mész/polimeradag-arány megfelelő legyen. Így a pH>11 tartományban a nagy pelyhek jó hatásfokú ülepítése biztosítható.

3. *Ülepítés és iszapeltávolítás.* Az üzemeltetőnek meg kell bizonyosodnia, hogy a foszforeltávolító ülepítőben a mész nem halmozódott-e fel túlzott mértékben, és a mész-foszforiszapot az ülepítő fenekéről a tervezettnek megfelelő mértékben szivattyúzzák el és transzportálják a sűrítőbe, víztelenítőbe, ill. az elhelyezési területre.

Rekarbonálás. A kémiai foszforeltávolító ülepítő után a rekarbonáló medence következik, amely a pH-t neutrális pontra állítja vissza. A rekarbonáláshoz a rekalcináló folyamatokból származó CO_2 használható fel. A pH-szint csökkentésekor a keletkezett melléktermék az ülepíthető kalcium-karbonát, ami rekalcinálható, majd újra használható a mésztisztítású folyamatban. A rekarbonáló rendszer egy- vagy kétfokozatú lehet *(23/a–b ábra;* EPA, 1976 nyomán).



23/a ábra



23/b ábra

23/a–b ábra. Rekarbonáló rendszerek. *a:* egyfokozatú; *b:* kétfokozatú rendszerek

A rekarbonálás során az egyfokozatú rendszerben *(23/a ábra)* az adagolt CO_2 gázbuborékok formájában jut a szennyvízzel kapcsolatba és a diffúzió révén kalcium-karbonát-csapadék képződik, amely a rekarbonátor utáni szemcsés szűrőbe kerül. Végül a kalcium-karbonát az öblítőzagyból kiülepíthető. A pH az egyfokozatú rendszerben 8,0–8,5 értéktartományba kerül.

A kétfokozatú rendszer *(23/b ábra)* az egyfokozatúnál jóval hatékonyabb. Itt a szennyvíz az első rekalcináló medencéből a kalcium-karbonát-csapadék ülepítőbe kerül. A leülepedett kalcium-karbonát-víztelenítőbe és rekalcináló medencébe szivattyúzható vagy feltöltésbe transzportálható. A CO_2-gáz ismét a második rekalcináló medencén áthaladó szennyvízbe buborékoltatható a pH további (7,0 értékre) csökkentése céljából.

A kémiai (meszes) foszforeltávolító ülepítő üzemelési problémái, valószínűsíthető okai, kiküszöbölésük módjai a *10. táblázat* alapján tekinthetők át.

10. táblázat. Üzemelési problémák, okaik, kiküszöbölésük módjai

Üzemeltetési probléma	Kiváltó ok	Ellenőrzés	Kiküszöbölési módok
Hidraulikai rövidzárlat a kémiai ülepítőben	A hidraulikai terhelés túl nagy Túl sok csapadékvíz	Hidraulikai terhelés Tartózkodási idő	Hidraulikai terhelés beállítása Csapadékvíz tolózáras szabályozása
Pelyhek, pehelyrészecskék távoznak az ülepítőből	Nagy hidraulikai terhelés	Tartózkodási idő	Hidraulikai terhelés beállítása
pH-változás	pH<11 tartomány	pH	pH>11 tartomány beszabályozása
Nagy lebegőanyag-koncentráció az elfolyásban	A biológiai rendszer utóülepítőjének hatásfoka elégtelen	Utóülepítő hatásfok	Utóülepítő hatásfok beszabályozása
A foszforeltávolítás hatásfoka csökken	Utóülepítő hatásfoka elégtelen Ipari toxikus szennyvizek hatása a biológiai tisztításra, ill. az utóülepítésre Mész-, foszforiszap miatti szivattyú- és csővezeték-eltömődés Mészadagolás megszüntetése Adagolószivattyúk hibás üzeme	Kémiai ülepítő lebegőanyag-koncentrációja Ipari szennyvizek szabályozása. Eltömődések Vízadagolás Adagolószivattyúk üzeme	Utóülepítő hatásfok beszabályozása, ill. biztosítása. Eltömődések kiküszöbölése Adagolószivattyú, transzportvezeték tisztítása. Nagy CaO-koncentráció biztosítása Normál vegyszeradag szivattyúzása
Mikropelyhek jelenléte (a foszforeltávolítás hatásfoka drasztikusan csökkenhet)	pH nem megfelelő Polielektrolit-dózis túl sok vagy túl kevés	pH Polielektrolit-dózis	pH-beállítás Polielektrolit-dózis beállítása

A biológiai szennyvíztisztító rendszer különböző pontjain adagolt kémiai kicsapószerek előnyei és hátrányai az üzemeltetési tapasztalatok szerint a *11. táblázat*ból követhetők (Kugelman, 1976).

11. táblázat. Kémiai kicsapatószerek alkalmazásának előnyei és hátrányai

Tisztítási fokozat	Előnyök	Hátrányok
Első tisztítási fokozat (előtisztítás)	Legtöbb telepen alkalmazható; megnövelt BOI- és lebegőanyag-eltávolítás; legkisebb mértékű fémionelfolyás; mészvisszanyerés *(23/a–b ábra)*	A fémionok legkevésbé hatékony felhasználása. A flokkulációhoz polimeradagolás válhat szükségessé. A kémiailag kezelt iszap a hagyományos előülepítő iszapnál nehezebben víztelenítheto
Második tisztítási fokozat	Legkisebb költség. A vegyszeradag az előülepítőbe adagoltnál kevesebb. Az eleveniszap-stabilitás nagyobb mértékű. Polimeradagolásra nincs szükség	A fémsó túladagolása alacsony pH-toxicitást okozhat. A kis lúgosságú (HCO_3^-) szennyvizek esetében pH-szabályozó rendszerre lehet szükség. A magas pH miatt mész nem alkalmazható. Az eleveniszap-szennyvíz keverékbe inert anyag kerül. Az illékony anyagok százalékos mennyisége csökken
Harmadik tisztítási fokozat (utótisztítás)	A legkisebb mértékű foszforelfolyás. A fémsók hatékonysága a legnagyobb Iszapvisszanyerés *(23/a–b ábra)*	Beruházási kölség a legnagyobb Legnagyobb mértékű fémsóelfolyás

Az iszaptömeg, ill. iszaptérfogat mennyisége kémiai kicsapatás nélkül, ill. kicsapatás esetében:

Tisztítás	Iszap	
	Tömeg, kg/d	Térfogat, m^3/d
Kémiai kicsapatás nélkül	500	8,0
Kémiai kicsapatással	3040	37,5

2.3.2.3. FOSZFORELTÁVOLÍTÁS ALUMÍNIUM-SZULFÁTOS KICSAPATÁSSAL

Az alumínium-szulfát a mésszel *azonos módon* alkalmazott a foszforeltávolítás céljából. A technológia a *22. ábrá*nak megfelelő. A cél ez esetben is *az utóülepített szennyvíz* foszfortartalmának bizonyos szint alá csökkentése.

A mész és az alumínium-szulfát között eltérést a költség jelent, ezért *a meszet az alumínium-szulfátnál gyakrabban alkalmazzák.*

A foszforeltávolítás céljából adagolt alumínium-szulfát két általános reakcióegyenlet szerint fejti ki hatását. Az első reakció szerint az alumínium-szulfát a szennyvíz alkalinitásával (HCO_3^-) lép reakcióba és alumínium-hidroxid-pehely [$Al(OH)_3$] képződik:

$$Al_2(SO_4)_3 + 6\,HCO_3^- \rightarrow 2\,Al(OH)_3 + 3\,SO_4^{2-} + CO_2 \qquad (7)$$

A második reakció szerint az alumínium-szulfát a foszfáttal (PO_4^{3-}) is reakcióba lép és alumínium-foszfát ($AlPO_4$) keletkezik:

$$Al_2(SO_4)_3 + 2\,PO_4^{3-} \rightarrow 2\,AlPO_4 + 3\,SO_4^{2-} \qquad (8)$$

A foszforeltávolítást a keletkezett oldhatatlan komplex csapadék és az alumínium-hidroxid-pelyhek felületén megnyilvánuló *adszorpció biztosítja.*

A szükséges alumínium-szulfát-adag, a szennyvíz lúgosságától függően, 200–400 mg/l, amivel az elfolyás foszfortartalma 0,1–0,5 mg/l-re csökkenthető. A foszforeltávolításhoz az optimális pH≈6,0. Az optimális adag ez esetben is lombik- (jar-) vizsgálatokkal tisztázható.

Az alumínium visszanyerésére jelenleg gazdaságos módszer nincs.

2.3.2.4. KÉRDÉSEK

1. Miért kell a foszforvegyületeket a szennyvízből eltávolítani? (2.3. fejezet.)
2. A fő foszforeltávolító eljárások felsorolása. (2.3.1. fejezet.)
3. A hagyományos és egyéb szennyvíztisztító rendszerek foszforeltávolító hatásfoka (2.3.1. fejezet.)
4. Foszforeltávolítás fémsókkal. Milyen eljárások léteznek, üzemelési tapasztalatok. (2.3.2.1. fejezet.)
5. A mészadagolásos foszforeltávolítás technológiai elve (2.3.2.2. fejezet; *22. ábra.*)
6. Az egy- és kétfokozatú mészadagolású foszforeltávolító rendszerek, jellemző folyamatai, műtárgyai. (2.3.2.2. fejezet; *23/a–b ábra.*)
7. Melyek a napi üzemeltetői feladatok a mészadagolású foszforeltávolító rendszerben? (2.3.2.2. fejezet.)
8. Melyek az üzemeltetés fő problémái, kiküszöbölésük módjai? (2.3.2.2. fejezet; *10. táblázat.*)
9. Mi az alumínium-szulfát-kicsapatásos foszforeltávolítás elve? (2.3.2.3. fejezet.)

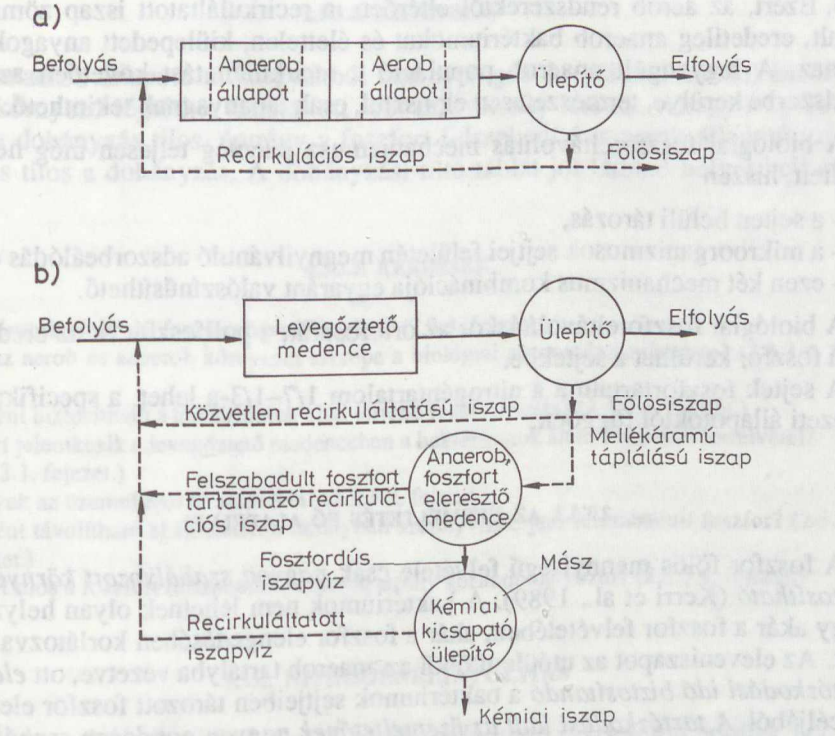
2.3.3. BIOLÓGIAI FOSZFORELTÁVOLÍTÁS

A kémiai foszforeltávolítás alternatívájaként az utóbbi években számos biológiai foszforeltávolító eljárás fejlődött ki. (Erről a folyamatról részletesen tájékoztat Öllős, 1991, 9.4. fejezete.)

2.3.3.1. A FOLYAMAT JELLEMZÉSE

A biológiai foszforeltávolítás *elve* (Wals et al., 1983) szerint a mikroorganizmusok váltakozva

– anaerob és
– aerob



24/a–b ábra. Jellegzetes biológiai foszforeltávolító – PhoStrip-rendszer (példa)

környezetbe kerülnek *(24/a–b ábra)*. Ezáltal a mikroorganizmusok *a normálisnál nagyobb mennyiségű foszfor felvételére kényszerülnek*. A foszfort nemcsak a sejtjeik fenntartására, szintézisére és az energiatranszportra hasznosítják, hanem a későbbi hasznosítás céljából *tározzák* is. Amikor az utóülepítőből az aerob baktériumok az anaerob miliőben az elhalással néznek szembe, *sejtszerkezetükből rögtön nagy mennyiségű foszfort bocsátanak a környezetükben lévő szennyvízterébe*. Ez a szennyvízbe került foszfor a 2.3.2.2. fejezetben tárgyalt *meszes kicsapatással*, külön reaktor-műtárgyban, az ülepítés révén *szeparálható*. Miután a baktériumok foszfortartalmuk jelentős hányadát magukból kiengedték, a recirkuláció révén számukra ideális, oldott oxigént és tápanyagot tartalmazó *aerob miliőbe* kerülnek vissza. Ebben a környezetben, minthogy a baktériumok sejtjeiben *foszforhiány van, először fölös mennyiségű foszfort* vesznek fel (luxury uptake). A biológiai tisztítórendszerben *ez a foszforfelvétel képviseli a biológiai*, 70–90%-os *(9. táblázat) foszforeltávolítást.*

A biológiai foszforeltávolítási folyamat egyértelműsítése céljából a következőket célszerű kihangsúlyozni (Kollár, 1993):

1. A foszforleadás az anaerob baktériumok feladata.
2. Az anaerob baktériumok zöme a fázisszétválasztó műtárgyban, a viszonylag hosszú tartózkodási idő és a tápanyaghiány miatt legyengül, ill. elpusztul.

3. Ezért, az aerob rendszerektől eltérően, a recirkuláltatott iszap zömmel az elhalt, eredetileg anaerob baktériumokat és élettelen, kiülepedett anyagokat tartalmaz. A legyengült anaerob populáció a recirkuláltatást követően az aerob rendszerbe kerülve, természetesen elpusztul, csak tápanyagnak tekinthető.

A biológiai foszforeltávolítás mechanizmusa jelenleg teljesen még nem felderített, hiszen

- a sejten belüli tározás,
- a mikroorganizmusok sejtjei felületén megnyilvánuló adszorbeálódás és
- ezen két mechanizmus kombinációja egyaránt valószínűsíthető.

A biológiai foszforeltávolításkor az ortofoszfát, a polifoszfát és az eredeti kötésű foszfor kerülhet a sejtekbe.

A sejtek foszfortartalma a nitrogéntartalom 1/7–1/3-a lehet, a specifikus környezeti állapotoktól függően.

2.3.3.2. AZ ÜZEMELTETÉS FŐ ALAPELVEI

A foszfor fölös mennyiségű felvétele csak *nagyon szabályozott környezetben biztosítható* (Kerri et al., 1989). A baktériumok nem lehetnek olyan helyzetben, hogy akár a foszfor felvételében, akár a foszfor elengedésében korlátozva legyenek. Az eleveniszapot az utóülepítőből az anaerob tartályba vezetve, ott *elegendő tartózkodási idő biztosítandó* a baktériumok sejtjeiben tározott foszfor elengedése céljából. *A tartózkodási időt az üzemeltetőnek nagyon gondosan szabályoznia kell.* A baktériumoknak nem szabad elhalni. De a tartózkodási idő olyan hosszú legyen, ami alatt annyi foszformennyiség szabaduljon fel, amennyi csak lehetséges. Az eleveniszapot ezt követően a levegőztetett (eleveniszapos) medencébe kell recirkuláltatni, ahol *elegendő* oxigén és előülepítő-elfolyás (BOI) biztosított.

Az iszaprecirkuláció szerepe rendkívül fontos. A recirkuláltatásra kerülő iszap az anaerob tartálybeli szennyvíz és iszap szeparálásából adódik.

A foszfor felszabadulása után a szennyvíz (iszapvíz) az anaerob tartályból rögtön a kémiai kicsapatásos ülepítőbe kerül, ahol a felszabadult foszfor viszonylag kis mennyiségű mészadagolás révén (a 2.3.2.2. fejezetben foglaltaknak megfelelően) csapadékká alakítható, ezáltal ülepíthetővé válik. Az iszapvíz a kémiai kicsapatásos ülepítőből az utóülepítő elfolyó szennyvizével a szennyvíz-utótisztítás előtt keveréket alkothat, vagy végső elhelyezésre kerülhet.

2.3.3.3. NAPI ÜZEMELTETÉS

1. *pH-szabályozás.* Mivel a foszfor az anaerob tartályból a meszes foszforeltávolító ülepítőbe kerül (amint a 2.3.2.2. fejezetből már kitűnik), ott a pH>11 tartomány beállítása rendkívül fontos.

2. A *foszforfelszabadítás* (anaerob tartályban) hatékonysága céljából *a tartózkodási időt,* a felszabadult foszformennyiség laboratóriumi elemzése alapján pontosan meg kell határozni. Az üzemeltetőnek arról is meg kell bizonyosodni, hogy az eleveniszap az anaerob tartályban nem teljesen elhalt.

2.3.3.4. BIZTONSÁG

Az anaerob állapotú műtárgyakból bizonyos gázok (például metán) kerülhetnek a környező légtérbe, miáltal ott robbanásveszély létezik. Ahogy a rothasztó körül a dohányzás tilos, éppúgy a foszfort felszabadító anaerob állapotú tartály körül is tilos a dohányzás. A dohányzást tiltó táblát jól látható helyre kell elhelyezni.

2.3.3.5. KÉRDÉSEK

1. Mit értünk biológiai foszforeltávolítás alatt? (2.3.3. fejezet.)
2. Mi az aerob és anaerob környezet szerepe a biológiai szennyvíztisztításban? (2.3.3.1. fejezet.)
3. Miként biztosítható a baktériumok által történő foszforleadás? (2.3.3.1. fejezet.)
4. Miért jelentkezik a levegőztető medencében a baktériumok általi fölös foszforfelvétel? (2.3.3.1. fejezet.)
5. Melyek az üzemeltetés fő alapelvei? (2.3.3.2. fejezet.)
6. Miként távolítható el az anaerob tartálybeli szennyvízbe jutó felszabadult foszfor? (2.3.3.2. fejezet.)
7. Miért tilos a foszfort felszabadító anaerob tartály körül dohányozni? (2.3.3.4. fejezet.)

2.3.4. NITROGÉNELTÁVOLÍTÁS

A nitrogéneltávolítási eljárások a szakirodalomban részletesen adottak (*12.* és *13. táblázat*). A fejezetben a vízinövények biztosította tápanyag-eltávolítással a *fokozott figyelemmel tartás céljából* részletesen foglalkozunk.

A nitrogén a foszforral együtt az algák és egyéb vízinövények fontos tápanyaga (2.3. fejezet). A legtöbb befogadó esetében a korlátozó tápanyag a foszfor. Ilyenkor a nitrogéneltávolítás algákra gyakorolt hatása kismértékű. *A nitrogéneltávolítás elsősorban a nagyobb vízminőségi igényű befogadókban követelmény,* amikor a nitrogéntartalmú vegyületek eltávolítása a következő káros hatások elkerülése céljából szükséges:

1. ammóniatoxicitás a halakra,
2. a klóros fertőtlenítés hatékonyságának csökkenése,
3. a befogadók oldott oxigén koncentrációjának csökkenése,
4. káros közegészségügyi hatás (általában a nitráttartalmú ivóvizek esetében),
5. a szennyvíz-újrahasználat alkalmassága csökkenésének elkerülése miatt.

A nitrogéneltávolító eljárások a *12. táblázat*ban tekinthetők át (Gonzales, Kerri, 1989; Tchobanoglous és Burton, 1991). Az üzemeltetőnek a különböző nitrogéneltávolítási eljárások hatásfoktartományát is ismernie kell, hiszen ezáltal az eltávolítás mértékét, ill. az üzemeltetés szintjét eleve ellenőrizheti (*13. táblázat;* EPA, 1975).

12. táblázat. Nitrogéneltávolító eljárások

Rendszer	Üzemeltetési megfontolások
1. Fizikai tisztítási eljárások: a. Gyorsszűrés (10. fejezet)[1] b. Gázkiűzés (Stripping[8–9]) c. Elektrodialízis[8–9] d. Fordított ozmózis[8–9]	1. Drágák
2. Kémiai tisztítási eljárások: a. Törésponti klórozás[2] b. Szelektív ioncserélés ammóniumra[8–9] c. Szelektív ioncserélés nitrátra d. Kémiai kicsapatás e. Szénadszorpció[10]	2. Drágák
3. Biológiai tisztítási eljárások: a. Eleveniszapos eljárások (3. fejezet)[3] b. Csepegtetőtestes eljárások (2. fejezet)[4] c. Forgó merülőtárcsás csepegtetőtest (2.7. fejezet)[5] d. Árkos szennyvíztisztítási eljárások (4. fejezet)[6] e. Szennyvíztisztító tó (1. fejezet)[7] f. Természetes tisztítási eljárások. Csörgedeztetés a talaj felszínén[8] g. Vízinövények általi tisztítórendszerek (például vízijácint-, békalencse-kultúrák)	3. a–d Üzemelési szabályozás Pótlólagos költségek a nitrifikációhoz igényelt oxigén miatt 3. e–f Földterületigények Megfelelő levegőhömérséklet A növényzet szabályozása (például aratása)

Megjegyzés:

[1–7] fejezetekre utaló szakirodalom részletes kifejtését például Öllős (1991);
[8–9] Öllős (1987); [10] Öllős, 1987; Tchobanoglous és Burton (1991), ill. Öllős (1971) szakirodalom tartalmazza.

13. táblázat. Különböző tisztítási folyamatok eltávolító hatása a nitrogénvegyületekre

Tisztítási folyamat	Nitrogénvegyület			Az összes (a folyamatba betáplált) nitrogéneltávolítás mértéke, %
	szerves nitrogén	NH_3–NH_4^+	NO_3^-	
Hagyományos tisztítás				
Első tisztítási fokozat	10–20% eltávolítás	Nincs hatás	Nincs hatás	5–10
Második tisztítási fokozat	10–50% eltávolítás urea→NH_3–NH_4^+	10% eltávolítás	Gyenge hatás	10–30
Biológiai folyamatok				
Bakteriológiai asszimiláció	Nincs hatás	40–70% eltávolítás	Gyenge hatás	30–70
Denitrifikáció	Nincs hatás	Nincs hatás	80–90% eltávolítás	70–95
Algák aratása	Részleges átalakítás NH_3–NH_4^+ formákká	→ Sejtek	→ Sejtek	50–80

13. tábl. folyt.

Tisztítási folyamat	Nitrogénvegyület			Az összes (a folyamatba betáplált) nitrogéneltávolítás mértéke, %
	szerves nitrogén	NH_3–NH_4^+	NO_3^-	
Nitrifikáció	Korlátozott hatás	→ NO_3^-	Nincs hatás	5–20
Szennyvíztisztító tavak	Részleges átalakítás NH_3–NH_4^+ formákká	Részleges eltávolítás gázkiűzés (stripping) révén	Részleges eltávolítás nitrifikáció/denitrifikáció révén	20–90
Kémiai folyamatok				
Törésponti klórozás	Bizonytalan	90–100% eltávolítás	Nincs hatás	80–95
Kémiai kicsapatás	50–70% eltávolítás	Gyenge hatás	Gyenge hatás	20–30
Aktívszén-adszorpció	30–50% eltávolítás	Gyenge hatás	Gyenge hatás	10–20
Szelektív ioncsere ammóniumra	Gyenge, bizonytalan	80–97% eltávolítás	Nincs hatás	70–95
Szelektív ioncsere nitrátra	Gyenge hatás	Gyenge hatás	75–90% eltávolítás	70–90
Fizikai folyamatok				
Gyorsszűrés	Szuszpendált szerves N 30–95% eltávolítás	Gyenge hatás	Gyenge hatás	20–40
Gázkiűzés (stripping)	Nincs hatás	60–95% eltávolítás	Nincs hatás	50–90
Elektrodialízis	Szuszpendált szerves N 100%-os eltávolítása	30–50% eltávolítás	30–50% eltávolítás	40–50
Fordított ozmózis	60–90% eltávolítás	60–90% eltávolítás	60–90% eltávolítás	80–90

A *12. táblázat*tal kapcsolatban az idézett magyar szakirodalmakon túlmenően további, az üzemeltetéshez kapcsolódó ismeretek a következők.

2.3.4.1. NITRIFIKÁCIÓ–DENITRIFIKÁCIÓ

A *nitrifikáció* rendkívül fontos tisztítási folyamat, mert általa a befogadó nitrogén–oxigén igény (NOI) csökkenthető. Az utóülepítőből elfolyó szennyvíz nitrogéntartalmának eltávolítása (megfelelő szintre csökkentése) a nitrifikáló és denitrifikáló lépcső beiktatásával érhető el. A végtermékek: a nitrogén-oxid (NO), dinitrogén-oxid (N_2O) vagy a nitrogéngáz (N_2) a szennyvízből kidiffundál.

A nitrifikáló–denitrifikáló rendszerek

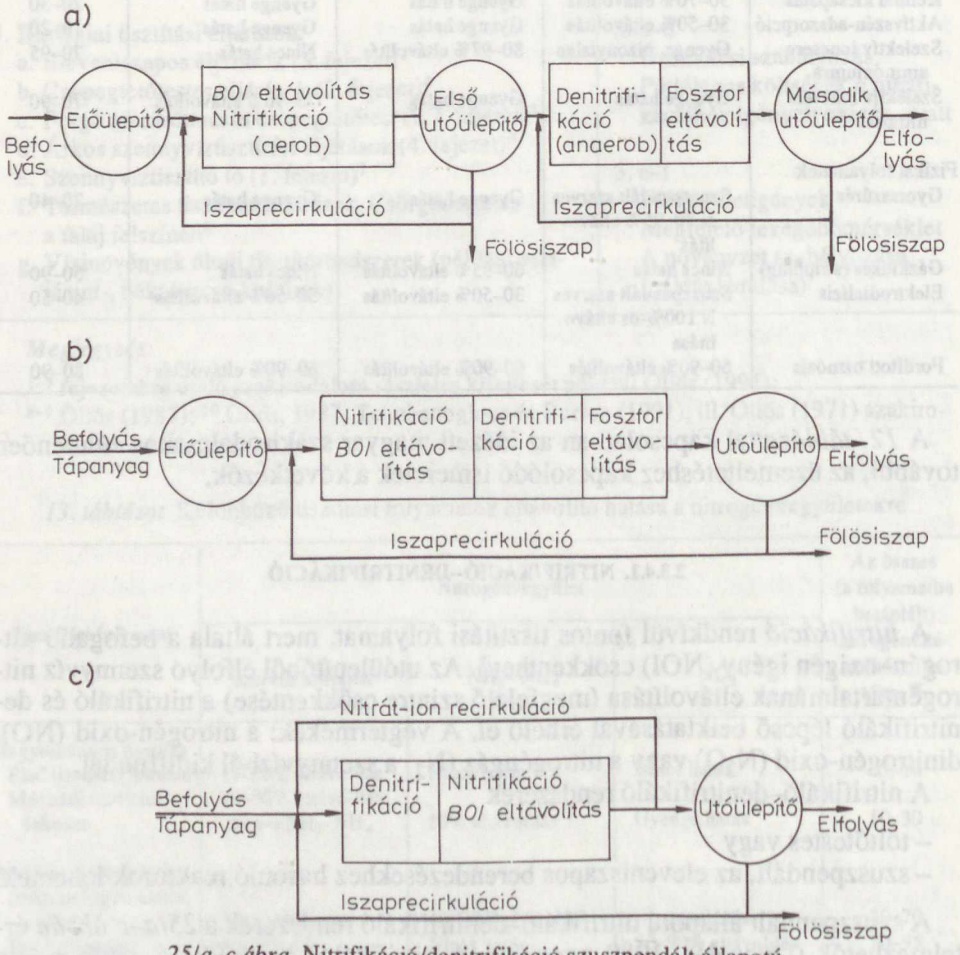
– töltőtestes vagy
– szuszpendált, az eleveniszapos berendezésekhez hasonló reaktorok lehetnek.

A szuszpendált állapotú nitrifikáló–denitrifikáló rendszerek a *25/a–c ábrán* értelmezhetők (Gonzales, 1989 nyomán). A nitrifikáló–denitrifikáló, tehát már a *nitrogéneltávolítást is lehetővé tevő* bármiféle rendszer sajátos vonásai:

25/a ábra: a BOI-eltávolítás és a nitrifikáció (ami a denitrifikáció, vagyis a nitrogéneltávolítás kiindulási alapja) az első levegőztető (eleveniszapos) reaktorban játszódik le. A második, levegőztetés nélküli, tehát anaerob reaktorba tápanyagot adagolva, a denitrifikáció biztosítható. A rendszer a denitrifikációt is felhasználva, a foszforeltávolítást is segíti.

25/b ábra: BOI-eltávolítást és a nitrifikációt az első, levegőztetett reaktor, a denitrifikációt a második, levegőztetés nélküli reaktor biztosítja.

25/c ábra: az első, anaerob reaktorba tápanyagot adagolva, denitrifikáció jelentkezik. A szennyvíz ezután az aerob, levegőztető reaktorba kerül a BOI-eltávolítás és a nitrifikáció lejátszódása céljából. A rendszer nitrogéneltávolítása azáltal biztosítható, hogy a nitrátionok a recirkuláció révén a denitrifikáló reaktorba kerülnek vissza.



25/a–c ábra. Nitrifikáció/denitrifikáció szuszpendált állapotú reaktorrendszerekben

A napi üzemeltetés:

1. A szénforrás gondos biztosítása a lebontási folyamatokhoz és a nitrát nitrogéngázzá és hasznosítható oxigénné alakításához. Ha azonban az adagolt szén túl sok, az elfolyás BOI-, KOI- és TOC-szintje növekedhet.

2. A szabad oxigén jelenléte a szuszpendált állapotú denitrifikáló reaktorban vagy töltőtestes denitrifikáló reaktorban a folyamat hatásfokát rontja. Az oxigén szennyvíztérbe jutását meg kell akadályozni.

3. A szuszpendált állapotú reaktorból és az utóülepítőből távozó lebegőanyag általában kevert anyagú, szemcsés szűrőréteggel távolítható el.

A nitrifikáció és denitrifikáció közbeni üzemelési problémákat és azok megszüntetésének javasolt módjait a *14. táblázat* tartalmazza (Culp és Heim, 1978).

14. táblázat. A nitrifikáció és denitrifikáció közbeni üzemelési problémák, kiküszöbölésük módja

Probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
		Nitrifikáció	
1. A nitrifikáló berendezésben a pH-, ill. a nitrifikálási hatásfok csökken	1a A nitrifikáció savas hatásai ellensúlyozására több HCO_3^- adagolandó	1a A nitrifikáló berendezésből elfolyó szennyvíz alkalinitásának vizsgálata	1a Ha a nitrifikáló műtárgyban az alkalinitás <30 mg/l, a mész vagy a nátrium-hidroxid (NaOH) adagolását meg kell kezdeni
	1b Lúgos szennyvizek adagolandók a csatornarendszerbe	1b Nyers szennyvíz pH-ja és alkalinitása	
2. A teljes nitrifikálás lehetetlen	2a Az oxigénkoncentráció korlátozza a nitrifikálást	2a Az oldott oxigén koncentráció a nitrifikáló egységben 1 mg/l vagy annál több kell hogy legyen	2a A levegőztetés intenzitását növelni kell, vagy a nitrifikáló műtárgy terhelése csökkentendő
	2b Az alacsony hőmérsékletek a nitrifikációt korlátozzák		2b A terhelés csökkentése a nitrifikáló reaktorban, vagy a populációt kell növelni a nitrifikáló reaktorban
	2c A napi összes nitrogénterhelés növekedése	2c Befolyó nitrogén koncentrációja	2c További nitrifikáló reaktort kell üzembe helyezni, vagy az előtisztítás nitrogéneltávolítási hatásfokát kell növelni

14. tábl. folyt.

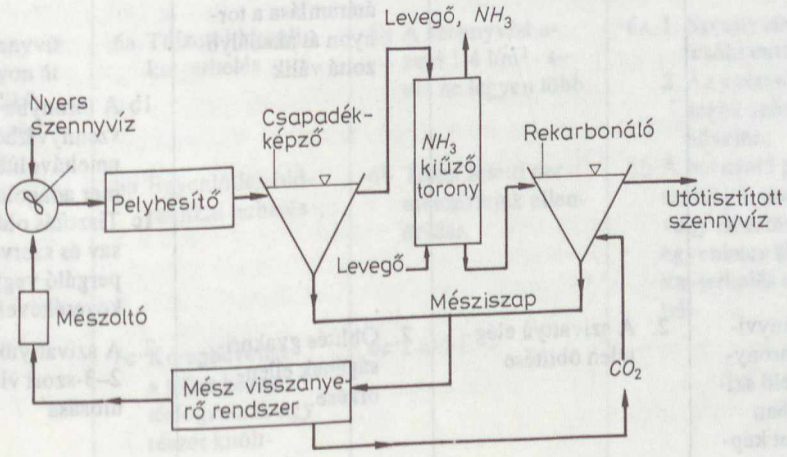
Probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	2d A biológiai pehely- (eleveniszap-) koncentráció túl alacsony a nitrifikáló reaktorban	2d Az iszap kontaktideje (SRT) nagyobb legyen 10 napnál; hideg időszakban nagyobb legyen 15 napnál	2d 1. A nitrifikáló reaktor terhelése és a nitrifikáló egységből az iszapelvonás vagy -veszteség csökkentendő 2. A nitrifikáló reaktorba ülepített nyers szennyvizet kell adagolni a biológiai iszapkoncentráció növelése céljából
	2e A csúcsórai ammóniumkoncentrációk felülmúlják a hasznosítható oxigénellátást		2e Kiegyenlítő rendszer létesítendő a csúcskoncentrációk minimalizálása céljából, vagy az oxigénellátást kell növelni
		Denitrifikáció	
1. Az elfolyó szennyvíz BOI-koncentrációja hirtelen nő	1. A metanol (vagy egyéb oxigénigényű adagolt anyag) fölös adagolása	1. Metanol/nitrát–nitrogén kívánt arány 3:1	1a Metanoladag csökkentése 1b Automatikus metanoladagoló berendezés alkalmazása 1c Levegőztetett stabilizálóegység bekapcsolása a fölös metanol eltávolítása céljából
2. Az elfolyó szennyvíz nitrátkoncentrációja hirtelen nő	2a Elégtelen mértékű metanoladagolás 2b pH a 7–7,5 tartományból kikerült a nitrifikáció közbeni alacsony pH miatt	2a A metanoladagoló hibás üzemű Lásd Nitrifikáció 1.	2a Adagoló hibás üzeme megszüntetendő

14. tábl. folyt.

Probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	2c Lebegőanyag-eltávozás a denitrifikáló reaktorból az iszaprecirkuláció hibája miatt	2c Denitrifikáló egység iszapkoncentrációja és az ülepítőből elfolyó szennyvíz vizsgálata	2c Iszaprecirkuláció növelése; denitrifikáló reaktorból történő iszapveszteség csökkentése; iszap átjuttatása a széntartalmú reaktorból a denitrifikáló reaktorba
	2d Túlzott keverés miatt oldott oxigén bejuttatása	2d A denitrifikáló oldott oxigén koncentrációja. Amilyen mértékig lehetséges, zéróhoz legyen közel (<0,5 mg/l)	2d Néhány keverő leállítandó, vagy a keverők sebessége csökkentendő

2.3.4.2. AMMÓNIAKIŰZÉS (STRIPPING)

Az ammónia-nitrogén a gáz formájú *ammónia* (NH_3) alakjában eleve hajlamos a szennyvíz teréből az atmoszférába kilépni (stripping). Ezért a szennyvízbeli „ammónia" természetes formáját először gáz alakú ammóniává (NH_3) kell alakítani: a szennyvíz pH-ját 10,5–11,0 tartományba kell növelni, ahol az ammónia zöme NH_3 formában van jelen. Ez a szennyvízből például már tornyos berendezésben kiűzhető *(26. ábra)*.



26. ábra. Ammóniakiűzés meszes eljárással

Az üzemeltetés fő vonásai és problémái:

1. *Mészadagolás (26. ábra).* A CaO-t vízzel kell összekeverni, majd az oldatot a szennyvízbe keverni. A pH kellő szintre emelése után lehetővé válik az ammóniakiűzés.

2. *A szennyvíz szivattyúzása.* Minél szorosabb kontaktusba kerül a kellő pH-jú szennyvíz a levegővel, annál kedvezőbb az ammóniagáz-eltávolítás hatásfoka. Ennek érdekében a szennyvizet nagy kapacitású szivattyúkkal kell felemelni a toronyba *(26. ábra).*

3. Ha a szén-dioxid az atmoszférában a kalcium-oxiddal reakcióba lép, mészkő (kalcium-karbonát) képződik, ami bevonatok formájában a szivattyúk teljesítőképességét, a csövek elzáródását, a toronybeli töltet hézagainak eltömődését, így a torony ammóniaeltávolító képességének csökkenését eredményezheti. A bevonatot sósavval (HCl) kell eltávolítani.

4. A nagymértékű levegőáramlás és szivattyúzott szennyvízáramlás miatt a toronyban fagypont alatti hőmérsékletek jelentkezhetnek. Ennek következtében a kiűzés hatásfoka és az ammónium ammóniagázzá alakulása kedvezőtlenebb lehet, melynek kompenzálására többlet kalcium-oxid adagolása szükséges. Így a kalcium-karbonát bevonatképződés folyamata tovább bonyolódik.

Az ammóniakiűzés üzemelési problémáit és azok kiküszöbölésének módjait a *15. táblázat* érzékelteti (Culp és Heim, 1978).

15. táblázat. Az ammóniakiűzés üzemelési problémái, kiküszöbölésük módjai

Probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
1. Az ammóniakiűző tölteten bevonat (kéreg) képződik	1a A torony elégtelen tisztítása (bevonat eltávolítása)	1a Fehér bevonat akkumulálódik a torony töltőanyagán. A levegő átáramlása a tornyon át akadályozottá válik	1a Tisztítás vízsugárral 1b A toronyba vezetett szennyvízbe bevonateltávolító polimer adagolandó 1c Tisztítás oldott kénsav és szerves diszpergáló vegyület keverékével
2. A szennyvizet a toronyba emelő szivattyúban bevonat képződése	2. A szivattyú elégtelen öblítése	2. Öblítés gyakoriságának ellenőrzése	2. A szivattyúk napi 2–3-szori visszamosása

15. tábl. folyt.

Probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
3. A torony külső oldalán jégképződés	3. Fagyos időjárás	3. Levegőhőmérséklet	3. A ventilátor fordított működtetése, meleg levegő befúvása a fagyott felületekre a jég felolvasztása céljából
4. Ventilátor nem működtethető	4a Meghibásodott lapát	4a Szemrevételezés	4a Meghibásodott, elkopott részek javítása, cseréje
	4b Hajtócsapágy túlmelegedett		
5. Ammóniaeltávolító hatékonyság megszűnése	5a A töltőanyagon kéregbevonat van	5a Lásd 1.	5a Lásd 1.
	5b Toronyba való befolyás túl alacsony pH-jú	5b pH	5b A pH-t legalább 10,8 értékre kell növelni a kémiai ülepítőbe való mészadagolás révén
	5c Túlzott hidraulikai terhelés	5c A szennyvíz a tornyon át „áramlik", „csepegés" helyett	5c Lásd 6.
	5d Elégtelen levegőáramlás a tornyon keresztül	5d Levegőhozam ellenőrzése	5d A levegőhozam növelése a ventilátor szabályozásával vagy a levegő tornyon keresztüli recirkuláltatásával
6. A szennyvíz a tornyon át „áramlik", „csepegés" helyett	6a Túlzott hidraulikai terhelés	6a A szennyvízhozam 1,4 $l/m^2 \cdot s$-nél ne legyen több	6a 1. Szennyvízhozam csökkentése 2. Az üzemelő egységek számának növelése
	6b Egyenlőtlen hidraulikai terhelés	6b Töltet feletti permetezőfejek ellenőrzése	6b A bevezető permetezőfejek javítása vagy tisztítása az egyenletes hidraulikai terhelés céljából
	6c Kéregbevonat a töltet hézagtérfogatának egy részét kitöltheti	6c Lásd 1.	

2.3.4.3. AMMÓNIAOXIDÁLÁS TÖRÉSPONTI KLÓROZÁSSAL

A törésponti klórozással az ammónia nitrogéngázzá (N_2) oxidálható. A törésponti klórozáshoz azonban viszonylag nagy mennyiségű klór adagolása szükséges. Ezért a törésponti klórozás csak kis mennyiségű ammónia-nitrogéneltávolításhoz alkalmazható. A klór/ammónia-nitrogén arány kb. 10/1.

2.3.4.4. AMMÓNIAGÁZ-ELTÁVOLÍTÁS IONCSERÉLÉSSEL

Az *ioncserélő folyamat* a természetes gyanta vagy zeolit (klinoptilolit) lehet. Az ammóniumion a zeolit felületéhez adszorbeálódik. Az ioncserélő réteg meszes vízzel mosható át, miközben az ammóniumionok ammóniagázzá alakulnak, ami a légkörbe távozik.

2.3.4.5. ÚSZÓ VÍZINÖVÉNYEK TÁPANYAG-ELTÁVOLÍTÁSA

A *vízijácint* szennyvíztisztító rendszernek két alapvető típusa van:

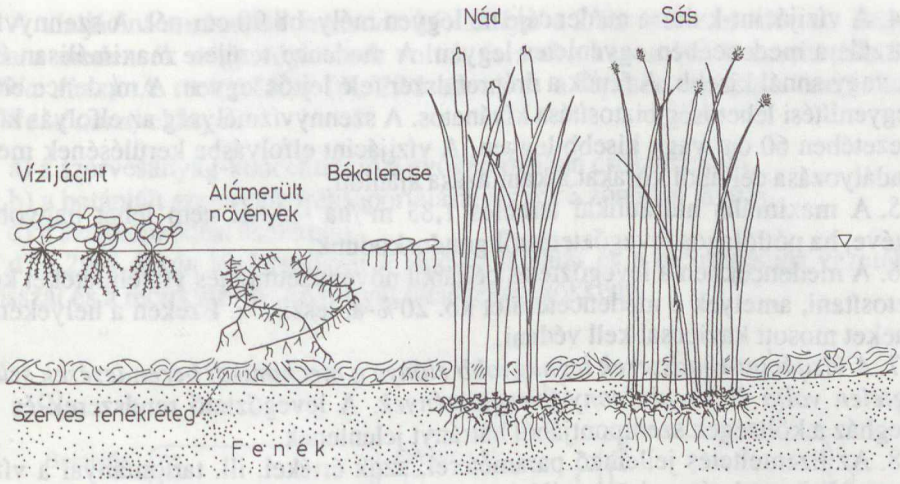
1. a növényzet állandó aratása,
2. minimális fenntartással járó aratás.

A vízijácint fagymentes régiókban, a teljes éven át, nyitott medencékben tenyészthető. A hideg időjárási viszonyok mellett lefedés nélkül időszakosan, üvegházakban viszont egész éven át tenyészthető.

A folyamatos aratású rendszer elsősorban az utóülepített szennyvízbeli tápanyagok felvételén alapul. Az ilyen rendszer 12,5–25 kg nitrogén és foszfor/ha · d, és 125 kg BOI_5/ha · d felvételére képes. A rendszerből távozó szennyvíz összes nitrogéntartalma <1,5 mg/l, foszfortartalma <0,2 mg/l alá csökkenthető.

Hasonló mértékű tápanyag-eltávolítási mértéket biztosít az utóülepített szennyvízből az üvegházi kultúra is. A növények által történt közvetlen tápanyagabszorpción túlmenően, a növényzet sűrű gyökérzónájában a baktériumok és egyéb szervezetek a szennyvíz BOI-tartalmát csökkentik és nitrifikáció/denitrifikáció is jelentkezik. A vízijácint-kultúra, amint az eddigiekből kitűnik, a maradék szerves anyag (BOI), a lebegőanyag, a nitrogén és a foszfor eltávolítására alkalmas.

A szennyvíztisztításhoz szóba jöhető vízinövények fajtái a *27. ábrán* adottak (Stowel et al., 1981). A vízijácint-kultúrák a tisztítandó szennyvíz felszínén *úsznak*. Gyökereik kb. 30 cm mélyre nyúlnak le a szennyvízbe, ahol tápanyagokat (nitrogén, foszfor, szén vagy szerves anyagok) közvetlenül felveszik. A fő nitrogéneltávolító mechanizmus azonban a bakteriológiai nitrifikáció/denitrifikáció. Amikor a vízijácint a növényaljzat maximális sűrűségét elérte, akkor minimális a növény nitrogénfelvétele.



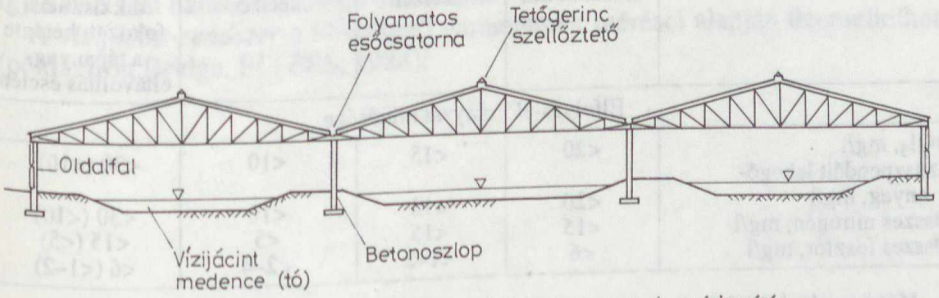
27. ábra. A szennyvíz foszfor- és nitrogéntartalmának csökkentéséhez alkalmazható jellemző vízinövény-féleségek

A vízijácint-kultúra üzemeltetése:

1. A vízijácint- *(Eichhornia crassipes)* rendszerben a hőmérséklet nemcsak a gyökérzónában lévő baktériumok aktivitását, de a vízijácint vitalitását is befolyásolja. A rendszer vitalitásának értékelésekor a levegő és a szennyvíz hőmérséklete egyaránt fontos. A vízijácint trópusi növény, ezért a hideg éghajlatot nem viseli el.

2. Az üvegházban (*28. ábra;* Gonzales, 1989 nyomán) a minimális aratású vízijácint-rendszer egész évben üzemeltethető. Az üvegházat gerincszellőztetővel, az oldalfalak alját pedig szellőztetőrendszerrel kell ellátni. A megfelelő szellőztetés nyáron a fölös meleg eltávolítása, télen a meleg visszatartása céljából fontos.

3. A hagyományos, 15–50 cm mély gyökérzónájú rendszer felső gyökérzónája aerob tisztítást biztosít. Az anaerob fenékiszapréteg szerepe is fontos a tápanyagtározás és a denitrifikáció elősegítése következtében. Az ilyen, mintegy 30 cm szennyvízrétegű rendszerben a szennyvíz zöme a gyökérzónával nem kerül kontaktusba. Ezen a recirkuláció és a levegőztetés segíthet.



28. ábra. Üvegházbeli vízijácint-kultúrás szennyvíz-utótisztítás

4. A vízijácint-kultúra medencéje ne legyen mélyebb 90 cm-nél. A szennyvízelosztás a medencében egyenletes legyen. A medence területe maximálisan 0,4 ha, vagy annál kisebb. A fenék a drénrendszer felé lejtős legyen. A medence előtt kiegyenlítési lehetőség biztosítása kívánatos. A szennyvízmélység az elfolyás környezetében 60 cm vagy kisebb legyen. A vízijácint elfolyásba kerülésének megakadályozása céljából kőrakat alkalmazása ajánlott.

5. A maximális hidraulikai terhelés 1,85 $m^3/ha \cdot d$-nél nem lehet nagyobb, kivéve, ha pótlólagos levegőztetésről gondoskodunk.

6. A medencékben a levegőztetés céljából növényzetmentes vízfelületeket kell biztosítani, amelyek a medenceterület kb. 20%-át teszik ki. Ezeken a helyeken a feneket mosott kaviccsal kell védeni.

7. *A vízijácint-rendszerek legnagyobb előnye a mechanikai berendezések szükségtelen volta és az alacsony energiaigények.* A levegőztető rendszerek és az üvegház a költségek szempontjából hátrányt jelentenek.

8. Az üzemeltetés jellemző paraméterei, azok értékei, ill. tartományai a vízijácint-rendszerek típusaira, továbbá az elfolyó szennyvíz várható minősége a *16. táblázat*ban adottak (DeBusk és Reedy, 1987).

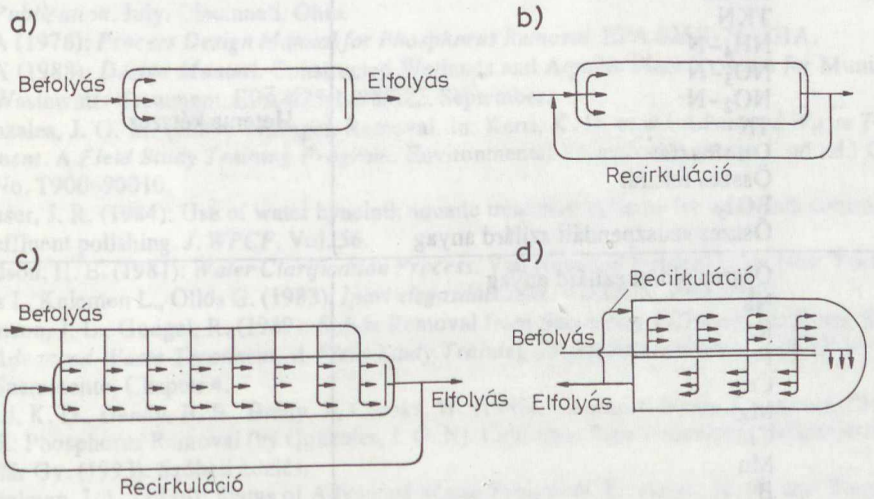
16. táblázat. Az úszó vízinövények jellemző üzemelési és tápanyag-eltávolítási tartományai

Paraméter / Előtisztítás minőségi igénye	Vízijácint-tisztító rendszer			Békalencse tisztítórendszer
	második tisztítási fokozatként, aerob		tápanyag-eltávolító fokozatként, aerob, levegőztetés nélkül	
	levegőztetés nélkül	levegőztetett		
	Jellemző üzemeltetési kritériumok			
	ülepített vagy rácsszűrt	ülepített vagy rácsszűrt	második tisztítási fokozatból elfolyó	fakultatív szennyvíztisztító tóból elfolyó
Befolyás BOI_5, mg/l	130–180	130–180	30	40
BOI_5-terhelés, kg/ha · d	45–90	170–340	11–44	22–33
Szennyvízréteg vastagsága, m	0,45–0,90	0,90–1,20	0,60–0,90	1,20–1,80
Tartózkodási idő, d	10–36	4–8	6–18	20–25
Hidraulikai terhelés, $m^3/m^2 \cdot d$	0,02–0,06	0,01–0,03	0,04–0,15	0,06–0,08
Szennyvíz-hőmérséklet, °C	>10	>10	>10	>7
Aratási menetrend	Évenként, időszakosan	Havonta kétszer	Havonta kétszer	Havonta a második tisztítási fokozat; hetente a tápanyag-eltávolítás esetén
Elfolyás-előirányzat minősége				
BOI_5, mg/l	<20	<15	<10	<30 (<10)[1]
Szuszpendált lebegőanyag, mg/l	<20	<15	<10	<30 (<10)
Összes nitrogén, mg/l	<15	<15	<5	<15 (<5)
Összes foszfor, mg/l	<6	<1–2	<2–4	<6 (<1–2)

Megjegyzés: [1] A zárójelben lévő értékek tápanyag-eltávolításra vonatkoznak.

A vízijácint-rendszerek *medence* (tó) *alakjai* a *29/a–d ábrán* adottak. Régebben a medencék négyszögletesek voltak és sorba kapcsolva üzemeltették őket *(29/a ábra)*. A recirkuláció (pl. *29/b ábra*) és a lépcsős táplálású üzemeltetés *(29/c–d ábra)* előnyei:

a) a szervesanyag-koncentráció a gyökérzónában csökkenthető,
b) a betáplált szennyvíz transzportálását a gyökérzónában javítja,
c) a szagképződést csökkenti,
d) a *29/d ábrán* lévő rendszer a lépcsős táplálás és a recirkulációs vezetékek hosszát és a recirkulációs szivattyúköltségeket csökkenti.



29/a–d ábra. A vízijácint-tavak alternatív áramlási módjai.
a: csőreaktorszerű áramlás;
b: csőreaktorszerű áramlás recirkuláltatással;
c–d: lépcsős táplálású rendszer, recirkuláltatással

A békalencsés medencében, az üzemeltetési tapasztalatok szerint, a szélhatás ellen úszó merülőfalakkal kell védekezni, különben a békalencsét a szél elfújja, s így a tisztítási hatásfok is elégtelenné válik.

A *vízijácint-rendszer* a következő paraméterek mérései alapján üzemeltethető (példa, Iron Bridge, FL; EPA, 1988):

Paraméter	Mérés gyakorisága
Befolyás	**Naponta**
Levegőhőmérséklet Szennyvíz-hőmérséklet pH Vezetőképesség Oldott oxigén Szélsebesség Szélirány	Hetente ötször
Csapadék	**Naponta**
Klorid TKN NH_4–N NO_3–N NO_2–N TN Ortofoszfát Összes foszfát BOI_5 Összes szuszpendált szilárd anyag	Hetente kétszer
Összes oldott szilárd anyag Na K Fe Ca Mg Cl Mn B Zn Cu Mb Cr Al Pb Hg Ni Cd SO_4	Hetente egyszer
Növényi alkotóelemek Learatott biomassza Termelődött biomassza	Igény szerint
Összes növényi biomassza Leggyakrabban előforduló állati szervezetek	Hetente egyszer
Gyomnövény	Naponta
Gyökérkárosítók Gombák	Igény szerint

2.3.5. IRODALOM

American Society of Civil Engineers [ASCE], (1986): Task Committee on Design of Wastewater Filtration Facilities: "Tertiary Filtration of Wastewater", *J. Env. Eng. Div.*, Vol. 112, December.

Culp, G. L., Heim, N. F. (1978): *Field Manual for Performance Evaluation and Troubleshooting at Municipal Wastewater Treatment Facilities.* EPA Contract. No. 68–01–4418. January.

DeBusk, W. F., Reedy, K. R. (1987): Wastewater Treatment Using Floating Aquatic Macrophytes: Contaminant Removal Processes and Management Strategies. In: Reedy, K. R., Smith, W. H. (eds): *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery.* Magnolia Publishing.

EPA (1974): Wastewater Filtration Design Considerations. *EPA Technology Transfer Seminar Publication.* July. Cincinnati, Ohio.

EPA (1976): *Process Design Manual for Phosphorus Removal.* EPA 625/1-76-001A.

EPA (1988): *Design Manual.* Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment. EPA/625/1–88/022. September.

Gonzales, J. G. M. (1989): Nitrogen Removal. In: Kerri, K. D. et al.: *Advanced Waste Treatment. A Field Study Training Program.* Environmental Protection Agency. (2nd ed.) Grant No. T900690010.

Hauser, J. R. (1984): Use of water hyacinth aquatic treatment systems for ammonia control and effluent polishing. *J. WPCF,* Vol. 56.

Hudson, H. E. (1981): *Water Clarification Process.* Van Nostrand Reinhold Co., New York.

Illés I., Kelemen L., Öllős G. (1983): *Ipari vízgazdálkodás.* VÍZDOK, Budapest.

Johnson, J. L., Gudgel, R. (1989): Solids Removal from Secondary Effluents. In: Kerri, K. D.: *Advanced Waste Treatment. A Field Study Training Program.* California State University, Sacramento, Chapter 4.

Kerri, K. D., Dendy, B. B., Brady, J., Crooks, W. (1989): *Advanced Waste Treatment.* Chapter 5.: Phosphorus Removal (by Gonzales, J. G. N). California State University, Sacramento.

Kollár Gy. (1993): Szóbeli közlés.

Kugelman, I. J., (1976): Status of Advanced Waste Treatment. In: Gehm, H. W. and Bregman, J. I. (eds): *Handbook of Water Resources and Pollution Control.* Van Nostrand, New York.

Metcalf and Eddy Inc. (1991): *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse.* (3rd ed.) McGraw-Hill, New York.

Mészáros G. (1994): Írásbeli közlés.

Öllős G. (1971): A harmadik szennyvíztisztítási fokozat. *Vízügyi Közlemények,* 4.

Öllős G. (1987): *Vízellátás.* AQUA Kiadó, Budapest.

Öllős G. (1991): *Szennyvíztisztítás.* AQUA Kiadó, Budapest.

Öllős G. (1992): Microscreening in the sewage treatment. *Periodica Polytechnika.*

Öllős G. (1993): *Szennyvíztisztítás II.* Egyetemi jegyzet. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest.

Qasim, S. R. (1985): *Wastewater Treatment Plants Planning, Design and Operation.* Holt, Rinehart and Winston, New York.

Reed, G. D., Robinson, R. B. (1988): Similitude interpretation of jar test data. *J. of Environ. Eng.*, Vol. 110, No. 3, June.

Thibodeaux, L. J. (1979): *Chemodynamics: Environmental Movement of Chemicals in Air, Water and Soil.* John Wiley and Sons, New York.

Tchobanoglous, G. (1988): *Filtration of Secondary Effluents for Reuse Applications.* Presented at the 61st Annual Conference of the WPCF, Dallas, October.

Tchobanoglous, G. F., Thomson, M. K., Chadwick, T. H. (1989): Evolution and Performance of City of San Diego Pilot Scale Aquatic Wastewater Treatment System Using Water Hyacinths. *J. WPCF,* Vol. 61, Nos 11/12.

Tchobanoglous, G. F., Burton, F. L. (1991): *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*. In: Metcalf and Eddy, Inc. (3rd ed.) McGraw-Hill, New York.
U.S. Environmental Protection Agency (1975): *Process Design Manual for Nitrogen Control*. Office of Technology Transfer, Washington, D.C. October.
U.S. Environmental Protection Agency (1987): *Phosphorus Removal Design Manual*. EPA/625/1-87/001. September.
Stowel, R. R., Colt, L. J., Tchobanoglous, G. F. (1981): Concepts in Aquatic Treatment System Design. *J. of Env. Eng. Div., Proceedings ASCE*, Vol. 207, No. EE5, October.
Wals, T. K., Behrman, B. W., Weil, G. W., Jones, E. E. (1983): *A Review of Biological Phosphorus Removal Technology*. Presented at the Water Pollution Control Federation. Annual Conference. October.
Weber, A. S., Tchobanoglous, G. F. (1985): Rational design parameters for ammonia conversion in water hyacinth treatment systems. *J. WPCF*, Vol. 55.

2.3.6. KÉRDÉSEK

1. Miért kell a nitrogént eltávolítani az elfolyó szennyvízből? (2.3.4. fejezet.)
2. Melyek a fő nitrogéneltávolító eljárások? (2.3.4. fejezet; *12. táblázat.*)
3. Milyen tápanyagok okozzák elsősorban az algák szaporodását? (2.3.4. fejezet.)
4. Milyen folyamatokhoz kötött a nitrogéneltávolítás? (2.3.4.1. fejezet.)
5. Milyen fő nitrifikáló/denitrifikáló rendszerek léteznek? (2.3.4.5. fejezet; *25/a–c ábra.*)
6. Mikor és hogyan alkalmazható a töréspontí klórozás az ammónia-nitrogén eltávolításához? (2.3.4.3. fejezet.)
7. Miként távolítható el az ammónium ioncseréléssel? (2.3.4.4. fejezet.)
8. Milyen környezeti állapotok szükségesek a sikeres ammóniagáz kiűzéséhez? (2.3.4.4. fejezet.)
9. Milyen üzemelési problémák jelentkezhetnek az ammóniagáz kiűzésekor? (2.3.4.4. fejezet.)
10. Miként képződik a kalcium-karbonát-bevonat a gázkiűző berendezésekben? (2.3.4. fejezet.)
11. Hogyan távolítható el a kalcium-karbonát-bevonat? (2.3.4.4. fejezet.)
12. Milyen vízinövényfajták alkalmasak a szennyvíztisztításra, ill. a tápanyag-eltávolításra? (2.3.4.5. fejezet; *27. ábra.*)
13. Miért fontos a szellőztetés a vízijácontot tartalmazó üvegházban? (2.3.4.5. fejezet.)
14. Milyen vízijácinttavas rendszerek léteznek helyszínrajzi és üzemeltetési szempontból? (2.3.4.5. fejezet.)

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

3. ISZAPSTABILIZÁLÁS

Az előülepítő fenekéről és felszínéről eltávolított felúszott iszap (uszadék) kb. 5% szárazanyag- és 95% víztartalmú. Szaganyagokat bocsát ki. *Nyers iszapként* ismert.

Az előülepítőből, a csepegtetőtestes és az eleveniszapos rendszerekből kikerülő keverékiszapot általában további stabilizálás céljából a rothasztóba szivattyúzzák.

Az iszapstabilizálás

– anaerob (3.1. fejezet) vagy
– aerob (3.2. fejezet)

rendszerű lehet. Mindkét rendszerre általánosan jellemző, hogy a baktériumok az iszapot a *kezelés*, ill. *végső elhelyezés* előtt tovább stabilizálják, egyszerűbb formákká alakítják.

A rendszerek technológiai szempontokból a *30/a–b ábra* alapján hasonlíthatók össze:

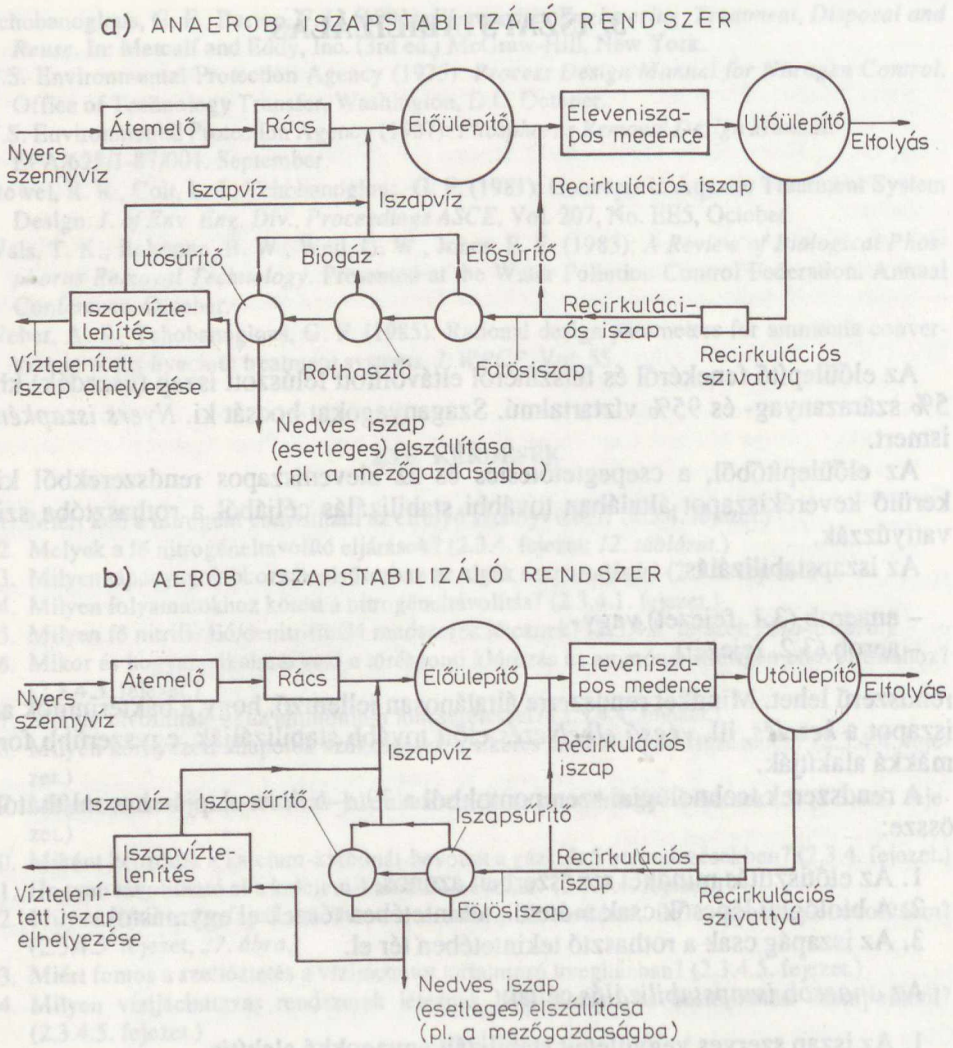
1. Az előtisztítás mindkét rendszerben azonos.
2. A biológiai lépcsők csak méretük tekintetében térnek el egymástól.
3. Az iszapág csak a rothasztó tekintetében tér el.

Az *anaerob iszapstabilizálás* céljai:

1. Az iszap szerves vegyületeit stabilizált anyagokká alakítja.
2. Az iszapmennyiség, ill. -térfogat csökkentése.
3. Hasznosítható melléktermékekhez (pl. CH_4) jutás.
4. Patogén szervezetek elölése, ill. szabályozása.

Az *aerob* iszapstabilizálás célja, hogy a nyers és a biológiailag részlegesen stabilizált iszap keveréke végső elhelyezésre alkalmas, biológiai szempontból stabil legyen. Az aerob iszapstabilizálást a huzamos idejű levegőztetés biztosítja magában a levegőztető műtárgyban, fűtés nélkül. Ilyen iszapstabilizálás *előnyei* továbbá:

– a stabilizált biomassza (iszap) mennyisége az anaerob úton stabilizált iszap mennyiségénél kevesebb,
– a *beruházási* költségek kisebbek,
– a végtermékek szagtalanok,



30/a–b ábra. Anaerob *(a)* és aerob *(b)* iszapstabilizáló rendszer

– az iszapvíz (szupernatant) BOI_5-koncentrációja kisebb,
– a stabilizáló rendszer üzemeltetése viszonylag egyszerű.

Hátrányai:

– az üzemeltetés költsége, a levegőztetési igény miatti energia input következtében nagyobb,
– hasznosítható melléktermék (pl. CH_4) nem keletkezik,
– a stabilizálás hatékonysága a hidegebb hónapokban csökken,
– iszapstabilitás és szagmentesség tekintetében jellemző, hogy *az aerob úton stabilizált iszap csak korlátozottan deponálható, mert nagy cellulóztartalma is-*

mét a savas erjedésbe megy át, szaghatásokkal társulva. Az aerob stabilizálás nagyon hőmérsékletfüggő. A téli hónapokban gyakran számottevő stabilizálás nem is jelentkezik. A deponált iszap szagmentessége nem mindenkor érhető el. Rösler (1976) és Mundrack et al. (1977) szerint az „aerob stabil" iszap semmi esetre sem „anaerob stabil", hanem csak „aerob stabilabb" a nyers iszapnál,

– Wolf (1971) szerint az ilyen iszapok deponálás után a savas erjedés következtében nehezebben víztelenithetők,

– higiénés szempontból: az anaerob úton stabilizált iszap minden utókezelés nélkül higiénésnek fogadható el, különösen hosszú tárolás után. Ezzel szemben az aerob úton stabilizált iszap higiénés szempontból kedvezőtlenebb tulajdonságú,

– az aerob úton stabilizált iszapok kb. 3,5%, az anaerob módon stabilizált iszapok kb. 5% szárazanyag-tartalomra sűríthetők (Kalbskopf, 1971),

– az aerob stabilizálás csak a kisebb (kb. <20 000 lakosszám) tisztítótelepeken bizonyul gazdaságos megoldásnak.

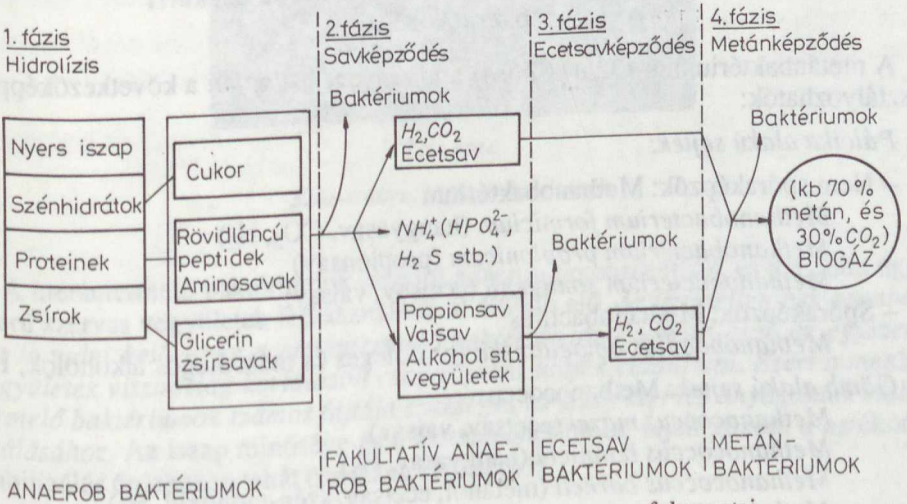
3.1. ANAEROB ISZAPSTABILIZÁLÁS (ROTHASZTÁS)

3.1.1. AZ ISZAPSTABILIZÁLÁS FOLYAMATAI

3.1.1.1. ANYAGCSERE-FOLYAMATOK

A *31. ábra* (Siekman nyomán, 1986) az anaerob rendszerbeli

– szervesanyag-*átalakítás*,
– a szervesanyag-*stabilizálás*, ill.
– e két folyamat kapcsolódását érzékelteti.



31. ábra. Az anaerob iszapstabilizálás anyagcsere-folyamatai

Az ábra szerint az anyagcsere-folyamat (a jelenlegi ismeretek szerint) *négy fázisban, legalább három baktériumcsoport közreműködésével* játszódik le.

Az enzimatikus *hidrolízisfázisban* a nagymolekulájú vegyületeket a sejten kívüli (extracelluláris) kismolekulájú enzimek egyszerű szerves vegyületekké alakítják, hidrolizálják. A hidrolízis szerepe alapvető, hiszen nélküle a szilárd szerves anyagok stabilizálása nem válna lehetővé. A hidrolízis révén az *oldottá vált* szilárd szerves anyagok a sejtfalon átdiffundálhatnak, és így a sejtbeli lebontódási folyamatba bekapcsolódhatnak.

A sejtekbe bediffundált hidrolízistermékek a *savképződés-fázisban*, a mikroorganizmus-fajtáknak megfelelően, különböző anyagcsere-folyamatokon keresztül hidrogénné (H_2), szén-dioxiddá (CO_2), ecetsavvá (CH_3COOH), propionsavvá (C_2H_5COOH), tejsavvá ($C_3H_6O_3$), vajsavvá (C_3H_7COOH), hangyasavvá (HCOOH), alkoholokká, ammóniává (NH_3), hidrogén-szulfiddá (H_2S) és egyéb szerves illékony savvegyületekké formálódnak.

A metánbaktériumok a *savképződés fázisaiban* képződött termékek közül elsősorban az ecetsavat, a H_2- és CO_2-molekulákat képesek közvetlenül metánná alakítani. A fermentatív baktériumok és a metánbaktériumok közötti átalakításforgalom több mint 50%-a az ecetsavképződésen keresztül jön létre. Az *ecetsavképződés fázisában* élő acetogén baktériumok a metán- vagy egyéb, H_2-t igénylő baktériumokkal szoros szimbiózisban élnek.

A *metánképződés fázisában* az ecetsavból, a H_2-ből és CO_2-ból metán és CO_2 képződik.

Az anaerob stabilizálás minden kg *adagolt* illékony szerves anyagból 0,44–0,75 m^3/kg gázt produkál, és minden kg *lebontott* illékony anyagból 0,75–1,12 m^3/kg gázt eredményez, az iszap minőségétől függően. A metánmennyiség a termelődött gáz 65–70%-a, a szén-dioxid 30–35%-a. Az összes gáz 1–2%-át egyéb gázok alkotják.

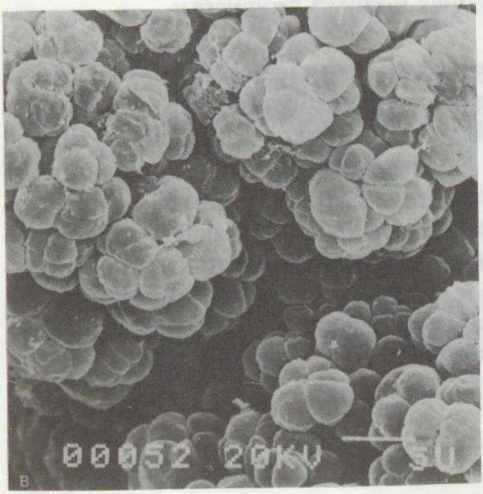
3.1.1.2. A METÁNBAKTÉRIUMOK TÁPANYAGOK SZERINTI OSZTÁLYOZÁSA

A metánbaktériumok *(32/a–c ábra)* a *tápanyagok alapján* a következőképpen osztályozhatók:

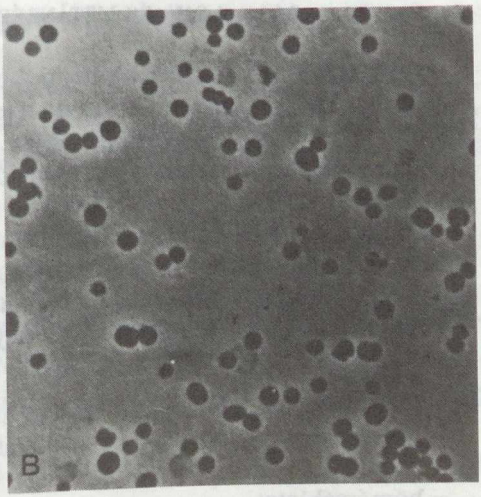
Pálcika alakú sejtek:

– Nem spóraképzők: Methanobaktérium
  Methanobacterium formicium (hangyasav, CO_2, H_2)
  Methanobacterium propionicum (propionsav)
  Methanobacterium sohngenii (ecetsav, vajsav).
– Spóraképzők: Methanobacillus
  Methanobacillus amoelianskii (elsődleges és másodlagos alkoholok, H_2)

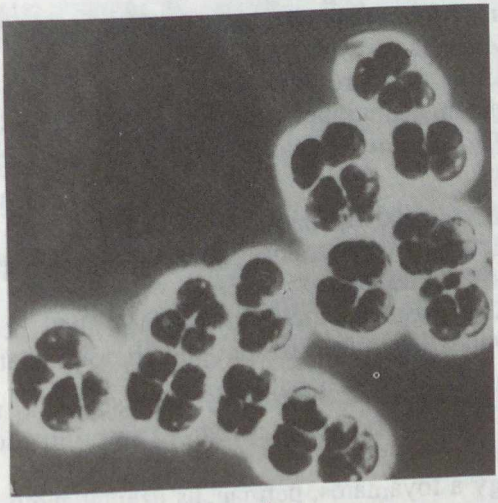
Gömb alakú sejtek: Methanococcus
  Methanococcus mazei (ecetsav, vajsav)
  Methanococcus bannielü (hangyasav, H_2)
  Methanococcus barkeii (metanol, ecetsav, szén-monoxid, H_2)
  Methanococcus methanica (ecetsav, vajsav).



32/a ábra



32/b ábra



32/c ábra

32/a–c ábra. Metánbaktériumok

A metántermelő baktériumok szigorú anaerob organizmusok, és a metánt egyszerű szerves vegyületek felhasználásával állítják elő. *Az üzemeltetőnek azonban azt is tudni kell, hogy a metántermelő baktériumok a metánt csak az egyszerű vegyületek viszonylag korlátozott csoportjából tudják előállítani. Ezért a metántermelő baktériumok számos fajtája szükséges az iszap szerves anyagainak stabilizálásához.* Az iszap minősége és a metánbaktériumok fajtái között, a hatékony stabilizálás érdekében tehát összhang szükséges.

3.1.1.3. A SAV- ÉS METÁNKÉPZŐDÉS KÖZÖTTI EGYENSÚLY

A rothasztót úgy kell üzemeltetni, hogy a sav- és a metánképződés sebessége közelítőleg azonos legyen, különben a reakciók egyensúlya felborul. A felborulás *általában a túlzott savképződés miatt keletkezik,* amikor a metánbaktériumok nem képesek lépést tartani a savtermelő baktériumokkal. Amint a metántermelő baktériumok szervesanyag-stabilizálási sebessége lassul, a rothasztó miliője egyre inkább savasabbá válik, a felborulás mértéke pedig nő. A jó hatásfokú anaerob iszapstabilizálás alapfeltétele, hogy a reakciókban részt vevő mikroorganizmusfajták megfelelő egyensúlya is biztosított legyen. Ha ez a feltétel teljesül és a környezeti tényezők is megfelelők, az egyéb baktériumfajták a kívánt mértékben szaporodnak. Ezen feltételek érdekében a rendszer

– szervesanyag- (tápanyag-) terhelését,
– az illékony sav/lúgosság kapcsolatát,
– a keverési viszonyokat és a
– hőmérsékletet

rendszeresen ellenőrizni kell.

Az üzemeltető munkáját akkor végzi megfelelően, ha a rothasztóban a nyers szennyvízbeli illékony (szerves) szilárdanyag-tartalmat 50–60%-kal csökkenti. Ehhez a csökkentéshez a keveréstől, a szervesanyag-terheléstől, a hőmérsékleti viszonyoktól és az üzemelés szintjétől függően 5–120 nap szükséges.

A hatékonyan működő anaerob iszapstabilizáló rendszer az állandósult állapot feltételezésén alapul:

– a nyers iszap rothasztóba táplálásának *sebessége,*
– az iszap stabilizálható komponensei közbenső reaktív termékekké (elsősorban szerves savakká) alakítási *sebessége* és
– a közbenső reaktív termékek metánbaktériumok általi metán- és szén-dioxid-végtermékekké alakítási *sebessége* közötti optimális kapcsolat létezése szükséges.

A közbenső reaktív termékek keletkezési sebessége a k_1 sebességállandóval, majd ezen közbenső reaktív termékek metán- és szén-dioxiddá alakítása a k_2 sebességállandóval jellemezhető.

Nyilvánvaló, hogy a foyamatos, permanens üzemállapotú anaerob iszapstabilizáló rendszerre nézve a k_1 és k_2 általános reakciósebességi állandó,

$$k_1 = k_2 \tag{9}$$

egyenlősége kell, hogy létezzen. Ilyen feltétel teljesülése esetében *a közbenső reakciótermékek (illékony szerves savak) jelentősebb halmozódására nem kerülhet sor* (Pearson, 1960).

Ha a rothasztó üzeme felborul, a metánképződés sebessége, k_2 (az állandósult állapotból kiindulva) csökkenni kezd:

$$k_2 < k_1 \tag{10}$$

Eközben a nem reaktív és reaktív vegyületek akkumulálódnak és feltételezhető, hogy az akkumulálódás először a metánbaktériumokra toxikus, majd a savtermelő baktériumokra is toxikussá válik. *Az ilyen felborult üzemű (stuck) rothasz-*

tóban a környezeti feltételek olyanok, hogy végül bennük számottevő biológiai aktivitás már nem létezik.

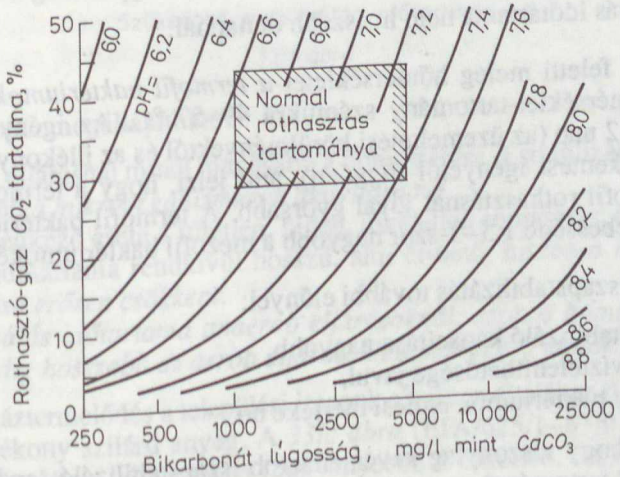
Az előzőkből következik, hogy az üzemeltető számára legmegfelelőbb gyakorlati jellemző az anaerob iszapstabilizálás állapotának kifejezésére tulajdonképpen *az illékony savak mennyiségének növekedési sebessége*, nem pedig az illékony savak „mennyisége" (ill. szintje).

3.1.1.4. A KEVERÉS SZEREPE

A nagy terhelésű anaerob iszapstabilizáló rendszer esetében az egyik legfontosabb tényező a keverés. Ennek fő céljai:

1. A rothasztó teljes térfogata a lehető legnagyobb mértékben hasznosítható legyen.
2. A nyers iszap tápanyagtartalmát a rothasztóban gyorsan homogénná lehet tenni.
3. A mikroorganizmusok a tápanyagokkal kapcsolatba kerülnek.
4. A mikrobiológiai reakciókból származó inhibitor hatású melléktermékek a teljes iszaptérfogatban hígulnak.
5. Jó pH-szabályozást biztosít azáltal, hogy a pufferoló lúgosság az egész rothasztóban elosztódik. (A pufferhatást olyan oldat vagy folyadék biztosítja, amelynek kémiai összetétele a savakat vagy a bázisokat a pH nagyobb mértékű változása nélkül neutralizálja. A lúgosság a szennyvíz savakat neutralizáló kapacitását fejezi ki. A pufferkapacitást a szennyvíz karbonát-, bikarbonát-, hidroxid-, esetenként a borát-, kovasavas só- és foszfáttartalma biztosítja.)

A bikarbonát-lúgosság közel azonos az anaerob rendszer összes lúgosságával *(33/a ábra)*. A lúgosság egy része „illékony sav" sóiként van jelen, ami az illékony savak jelen lévő bikarbonáttal való reakciójából származik, miközben



33/a ábra

szén-dioxid keletkezik. Kis, illékony savkoncentráció-tartományban a bikarbonát-lúgosság képviseli közelítőleg az összes lúgosságot. Amint az illékony savkoncentráció nő, a bikarbonát-lúgosság az összes lúgosságnál jóval kevesebb.

6. A hő a teljes rothasztótérben elosztódik.

7. A jó hatásfokú keverés a homok és egyéb inert anyagok fenékre jutását és a flotálódó anyagok felszínre jutását minimalizálja.

3.1.1.5. A HŐMÉRSÉKLET SZEREPE

Az anaerob iszapstabilizáló rendszerek három hőmérsékleti tartományban üzemeltethetők. Minden hőmérséklet-tartományhoz sajátos baktériumfajták tartoznak.

1. A *legalacsonyabb hőmérséklet-tartományban a fűtetlen rothasztók* üzemelnek. Ezt a tartományt a hideg, 20 °C alatti hőmérsékletet kedvelő *pszihrofil baktériumok* kedvelik. A <10 °C tartományban azonban aktivitásuk kicsi vagy nem is létezik, így az iszap illékony szervesanyag-tartalma nem csökkenthető. A hőmérséklet emelkedésével egyidejűleg a baktériumaktivitás nő, és a stabilizálási folyamat újból beindul. A pszihrofil baktériumok azonban, úgy tűnik, még a fagypont alatti hőmérsékletet is szinte károsodás nélkül átvészelik. A pszihrofil baktériumok felső hőmérséklethatára 20 °C körüli.

Az igényelt stabilizálási időtartam a pszihrofil hőmérséklet-tartományban 50–180 nap. Az ilyen – Imhoff-jellegű – rothasztókban *keverés nincs*, a hatásfok pedig gyenge (3.1.2. fejezet).

2. A *közepes hőmérsékletet* (20–45 °C) *a mezofil baktériumok* kedvelik. Az optimális hőmérsékleti tartomány 30–38 °C. A stabilizálás igényelt időtartama 5–50 nap, rendszerint 15–25 nap. A mezofil tartományra a *nagyterhelésű rendszer* jellemző, amelyben

– keverés szükségszerű és
– a rothasztás időtartama nem hosszabb öt napnál.

3. A 45 °C feletti meleg hőmérsékletet *a termofil baktériumok* kedvelik. Az optimális hőmérséklet-tartomány számukra 49–57 °C. Az igényelt rothasztási időtartam 5–12 nap (az üzemeltetési körülményektől és az illékony szilárdanyag-tartalom csökkentési igényétől függően), ami jelzi, hogy a termofil iszapstabilizálás a mezofil rothasztásnál jóval gyorsabb. A termofil baktériumok fajlagos szaporodási sebessége 1,5–3-szor nagyobb a mezofil baktériumokénál.

A termofil iszapstabilizálás további előnyei:

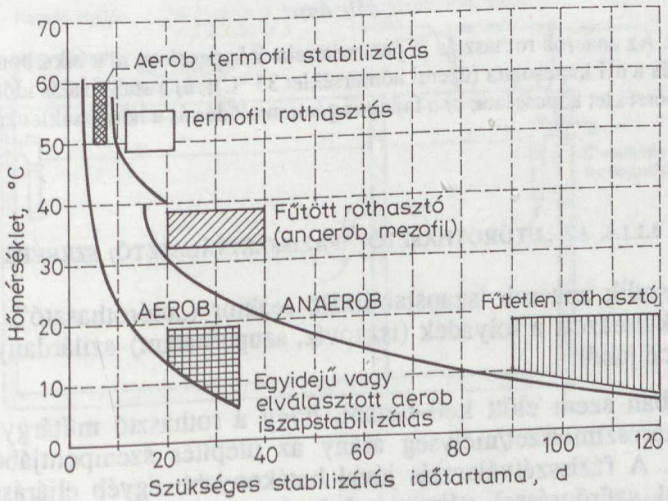
a) az iszapstabilizáló kapacitása nagyobb,
b) az iszap víztelenithetősége javul,
c) a patogén baktériumok elölési mértéke nő.

Az a tény, hogy viszonylag kevés anaerob iszapstabilizáló rendszert üzemeltetnek termofil tartományban, a következőkkel magyarázható:

a) a termofil baktériumok a hőmérséklet-változásra érzékenyek,
b) az optimális hőmérséklet-tartományt *feltétlenül fenn kell tartani* és
c) a szilárd anyag–folyadék szeparálás viszonylag gyenge,
d) a fűtés miatt az energiaigény nagyobb,
e) az iszapvíz minősége a nagy oldott szilárdanyag-tartalom miatt gyengébb,
f) szagproblémák létezhetnek és
g) a folyamatstabilitás kisebb mértékű.

Az üzemeltető gondoljon arra, hogy *nem elég csupán a hőmérsékletet növelni* (és esetleg áttérni másik üzemelési tartományba), mert *a baktériumoknak az új hőmérsékleti tartományhoz akklimatizálódni kell.* A rothasztás fontos alapszabálya: soha ne növeljük a hőmérsékletet 1 °C-nál többel naponta. Csak így várható, hogy a baktériumok a hőmérsékleti viszonyokhoz alkalmazkodni képesek.

Az iszapstabilizálás időtartama és a hőmérséklet közötti kapcsolatot a *33/b ábra* érzékelteti (Kroiss nyomán, 1994).



33/b ábra

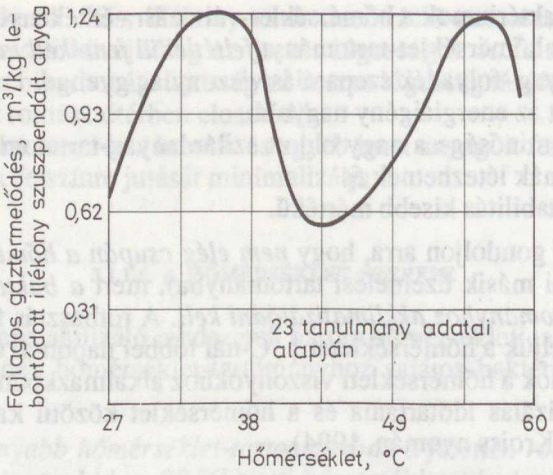
Az ábra alapján megállapítható:

1. Valamely eljárásnál minél magasabb a hőmérséklet, a stabilizálás időtartama lerövidül, hiszen *a mikroorganizmusok aktivitása nő.*

2. Ennek ellenkező esete a fűtetlen, hideg, tökéletlen rothasztás, amely esetben a stabilizálás időtartama rendkívül hosszú, ami érthető, hiszen *a mikroorganizmusok aktivitása erősen csökkent.*

3. *A stabilizálás időtartama anaerob eljárásoknál, azonos hőmérséklet-tartományban, mindig hosszabb az aerob eljárásokhoz szükséges időtartamnál.*

A fajlagos gáztermelődés a települési iszapok esetében általában 0,75–1,1 m^3/kg lebontódott illékony szilárd anyag. A *33/c ábra* (EPA/625/1–87/014 nyomán) a fajlagos gáztermelést a hőmérséklet függvényében érzékelteti. Az illékony anyagok lebontódása kb. 35 °C és 54 °C-nál a leghatékonyabb.



33/c ábra

33/a–c ábra. Az anaerob rothasztás fő paramétereinek kapcsolata. *a:* a bikarbonát-lúgosság, a CO_2 és a pH kapcsolata (üzemi hőmérséklet 35 °C); *b)* a stabilizálás időtartama és a hőmérséklet kapcsolata; *c)* a fajlagos gáztermelődés és a hőmérséklet kapcsolata

3.1.1.6. AZ „UTÓROTHASZTÓ" (FÁZISSZÉTVÁLASZTÓ) SZEREPE

Néha második anaerob iszapstabilizáló reaktor („utórothasztó", fázisszétválasztó) is alkalmazott a folyadék (iszapvíz, szupernatant)–szilárdanyag-szeparálás segítése céljából.

Azt azonban szem előtt kell tartani, hogy a rothasztó műtárgy esetében a vízszintes keresztmetszet/mélység arány az ülepítés szempontjából általában kedvezőtlen. A fázisszétválasztás jóval hatékonyabb egyéb eljárással (például centrifugával, szűrőpréssel, vákuumszűrővel, iszaplagúnával, vagy külön fázisszétválasztó műtárggyal).

Az utórothasztó elsősorban

– az iszapkoncentráció növelése,
– a lúgosság tározójaként és
– a recirkulációs iszap biztosítása céljából alkalmazott.

Azt is szem előtt kell tartani, hogy az első nagy terhelésű rothasztó velejárója a teljes keverés, *ezért* a benne szeparálódott iszapvíz kevésbé jelentkezhet. *Ha tehát az iszap stabilizálás utáni kezelése, végső elhelyezése előtt az iszapvíz szeparálása követelmény, akkor a fázisszétválasztó rendszer („utórothasztó") alkalmazása eleve szükségszerű.*

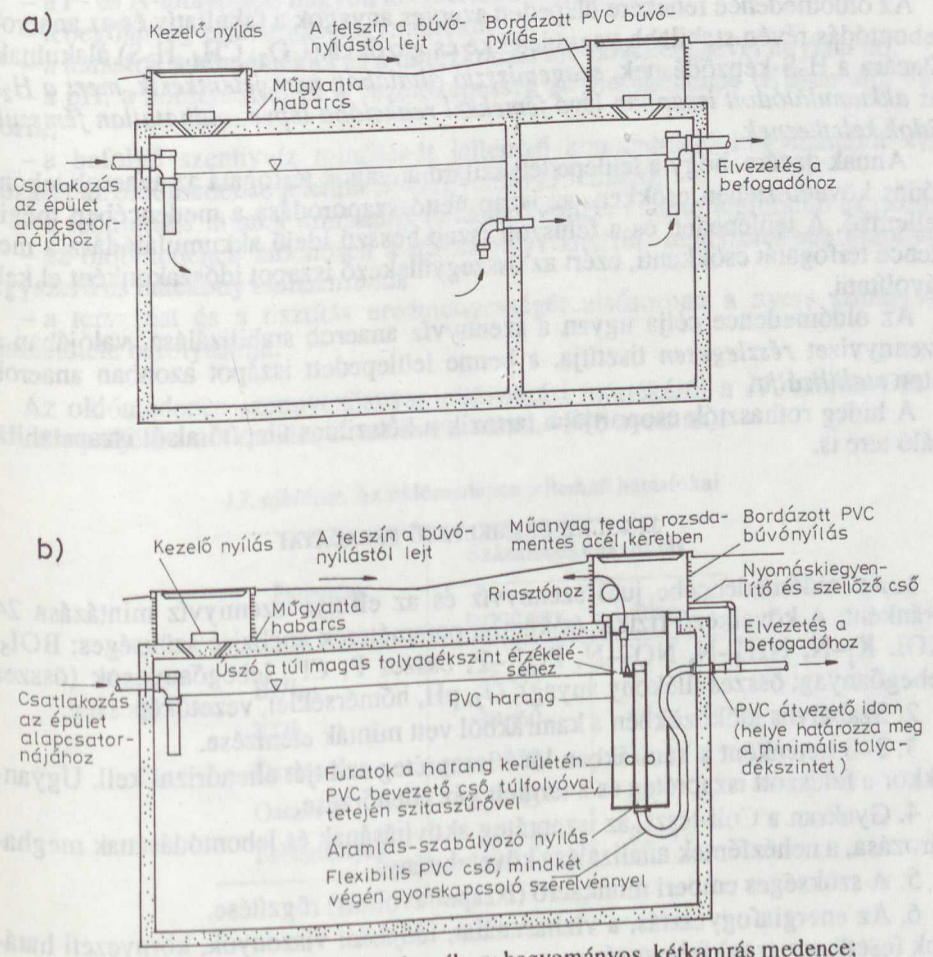
Az utórothasztó kismértékű további rothasztást is biztosít, fő szerepe azonban a fázisszétválasztás.

Tápanyagul szolgáló ülepített, stabilizált iszapot (oltóiszapot) biztosít a recirkuláltatáshoz. Ha az ilyen nagy koncentrációjú mikroorganizmus-populációt tartalmazó iszapot recirkuláltatás után a szennyvízhez vagy a rothasztóba vezetett iszaphoz keverjük, a biológiai stabilizálás jóval gyorsabbá válik.

3.1.2. FŰTETLEN (HIDEG) ROTHASZTÓK (OLDÓMEDENCÉK)

A *33/b ábra* szerint a fűtetlen rothasztás is a *rothasztás* csoportjába tartozik. Hatásmechanizmusa tipikus, az egyéb rothasztási eljárásokkal összhangban van. A fő eltérés tőlük abban van, hogy hatékonysága *gyenge, tökéletlen.*

Az oldómedence a legősibb (Metcalf, 1901), fűtetlen üzemű, keverés nélküli előre gyártott rothasztó (*34/a–b ábra;* Orenco Systems, Inc., 1991 nyomán).



34/a–b ábra. Jellemző oldómedencék. *a:* hagyományos, kétkamrás medence; *b:* egykamrás, szitaszűrő-berendezéssel ellátott medence

Benne az ülepedés és a flotáció egyidejűleg jelentkezik. Általában vastag falú üveggyapotból vagy polietilénből készül. Alapvető tulajdonsága a vízzáró volta, szerkezeti hibátlansága. Ezekről elhelyezése előtti és utáni vízfeltöltéssel kell meggyőződni.

Két fő típusa jellemző. A *34/a ábrán* egy közbenső válaszfallal ellátott kétkamrás rendszer látható. A válaszfal célja az elfolyó szennyvízbeli lebegőanyagtartalom hatékonyabb csökkentése.

A lebegőanyag-elfolyás visszatartásának jóval eredményesebb módja az, amikor az elfolyás az egykamrás rendszerből a perforált, szennyvíztérbe merülő szitaszűrő felületén keresztül valósul meg *(34/b ábra)*. A szita felülete nagy, így eltömődése nem gyors. Ha szükséges, a szűrő nyílásai a kiemelés után tisztíthatók. Ez a szitaszűrő elfolyásszabályozó berendezés tulajdonképpen egy *jól funkcionáló második kamrának felel meg*. A berendezés már működő és új oldómedencékbe egyaránt beépíthető, ezáltal az elfolyás lebegőanyag-tartalma jelentősen mérsékelhető.

Az oldómedence fenekére ülepedett szerves anyagok a fakultatív és az anaerob lebontódás révén stabilabb vegyületekké és gázokká (CO_2, CH_4, H_2S) alakulnak. Dacára a H_2S-képződésnek, *szagemisszió általában nem jelentkezik, mert a H_2S az akkumulálódott iszapban lévő fémekkel reakcióba lépve, oldhatatlan fémszulfidok keletkeznek.*

Annak dacára, hogy a leülepedett szilárd anyagok térfogata az anaerob lebontódás következtében csökken, az iszap nettó szaporodása a medencében mégis jellemző. A leülepedett és a felúszott iszap hosszú idejű akkumulálódása a medence térfogatát csökkenti, ezért az összegyülekező iszapot időszakonként el kell távolítani.

Az oldómedence célja ugyan a szennyvíz anaerob stabilizálása, valójában a szennyvizet *részlegesen* tisztítja, a benne leülepedett iszapot azonban anaerob úton *stabilizálja*.

A hideg rothasztók csoportjába tartozik a kétszintes ülepítő alsó, iszapstabilizáló tere is.

3.1.2.1. AZ ÜZEMELTETŐ FELADATAI

1. Az oldómedencébe jutó szennyvíz és az elfolyó szennyvíz mintázása 24 óránként. A következő fizikai és kémiai paraméterek analízise szükséges: BOI_5, KOI, K_j–N, NH_4^+–N, NO_3^-–N, PO_4^{3-}–P, összes P, Cl^-, lebegőanyagok (összes lebegőanyag; összes illékony anyag), O_2, pH, hőmérséklet, vezetőképesség.

2. Szabályos időközökben a kamrákból vett minták elemzése.

3. 2–3 hetenként a kamrákban lévő iszapréteg szintjét ellenőrizni kell. Ugyanakkor a felúszott iszapréteg és a termelt gáz ellenőrzése.

4. Gyakran a Coli-teszt, az iszapréteg aktivitásának és lebontódásának meghatározása, a nehézfémek analizálása követelmény.

5. A szükséges emberi munkaerő (iszapeltávolítás) rögzítése.

6. Az energiafogyasztás, a vízhasználat, időjárási viszonyok, környezeti hatások (esetleges szag) feljegyzése.

Az üzemeltető tehát fordítson gondot az *oldómedence üzemének rendszeres ellenőrzésére*, ami nagyon fontos minden esetben. Legyen szó kis, közepes vagy nagy medencéről.

Ezen üzemeltetői feladatok alapján hangsúlyozni kell, hogy az oldómedence is olyan tisztítórendszer, melyet a többiekhez hasonlóan – *az eddigieknél jóval igényesebben kell üzemeltetni.*

3.1.2.2. HATÁSFOK- ÉS ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK

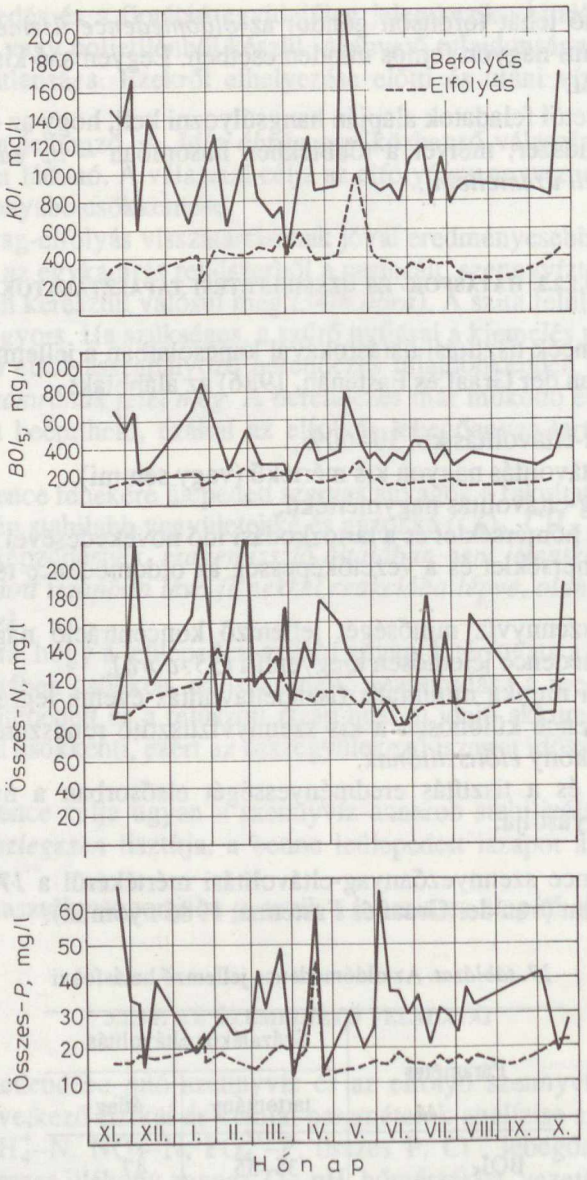
Az oldómedencék tisztítási hatásfokával kapcsolatban a jellemző üzemeltetési tapasztalatok (van der Graaf és Fastenan, 1986) az alábbiak:

– a BOI_5/KOI-eltávolítás kb. 30–60%,
– a P- és N-eltávolítás nagyon kis mértékű (vagy semmi),
– lebegőanyag-eltávolítás nagymértékű,
– a hatásfok a hőmérséklet és a tartózkodási idő növekedésével enyhén nő,
– a pH, a hőmérséklet és a vezetőképesség az oldómedence terében alig változik,
– a befolyó szennyvíz minőségét jellemző koncentráció nagymértékű változását az oldómedence jelentősen kiegyenlíti *(35. ábra)*,
– a fenntartási munka minimális (iszapeltávolítás évente legfeljebb egyszer),
– az oldómedence különösen a kis szennyvíztisztító rendszerekben bizonyul egyszerű és hatékony *előtisztítónak*,
– a tervezést és a tisztítás eredményességét elsősorban a nyers szennyvíz összetétele befolyásolja.

Az oldómedence szennyezőanyag-eltávolítási mértékéről a *17. táblázat* és a *35. ábra* tájékoztat (van der Graaf és Fastenan, 1986 nyomán).

17. táblázat. Az oldómedence jellemző hatásfokai

Paraméter	Százalékos eltávolítás	
	tartomány	átlag
BOI_5	35–55	47
KOI	30–60	44
Összes N	0–28	13
Összes P	0–45	16,5
Lebegőanyag	45–96	82–92



35. ábra. Az oldómedence jellemző szennyezőanyag-eltávolítási idősora

3.1.3. FŰTÖTT ANAEROB ISZAPSTABILIZÁLÁS (ROTHASZTÁS)

3.1.3.1. ROTHASZTÓ MŰTÁRGY

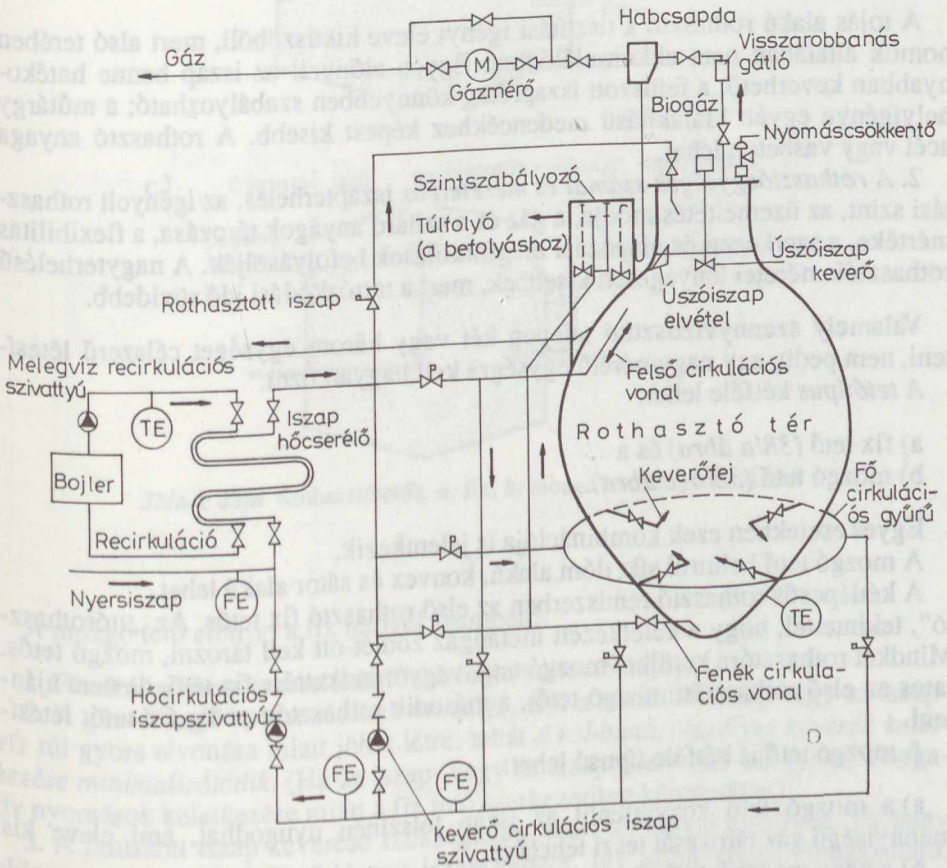
A fűtött anaerob iszapstabilizáló reaktor (rothasztó) üzemeltetéséhez először a rothasztót mint műtárgyat és alkotóelemeinek funkcióját kell megismerni.

1. A *rothasztó medence* hengeres, négyszögletes, de leginkább tojás alakú (*36. ábra;* Metcalf and Eddy Inc. nyomán, 1991). A medence feneke rendszerint kúpos, azért, hogy az iszap a kúpos tér aljára automatikusan csúszhasson le. Alternatív fenékkialakítást például a *37. ábra* szemléltet (Metcalf and Eddy Inc. nyomán, 1991).

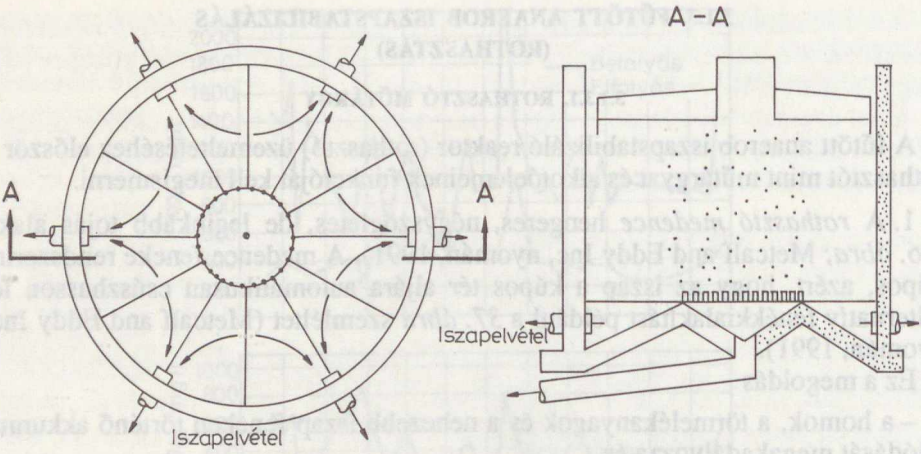
Ez a megoldás

– a homok, a törmelékanyagok és a nehezebb iszap feneken történő akkumulálódását megakadályozza és

– a rothasztó tisztítási igényét csökkenti.



36. ábra. Tojás alakú anaerob iszapstabilizáló rendszer



37. ábra. A rothasztófenék speciális kialakítása

A tojás alakú rothasztó a tisztítási igényt eleve kiküszöböli, mert alsó terében homok általában nem akkumulálódhat. Egyéb előnyei: az iszap benne hatékonyabban keverhető; a felúszott iszapréteg könnyebben szabályozható; a műtárgy helyigénye egyéb kialakítású medencékhez képest kisebb. A rothasztó anyaga acél vagy vasbeton lehet.

2. *A rothasztóegységek számát és méreteit* az iszapterhelés, az igényelt rothasztási szint, az üzemeltetés módja, a gáz és a szilárd anyagok tározása, a flexibilitás mértéke, a szerkezeti és alapozási megfontolások befolyásolják. A nagyterhelésű rothasztók méretei lényegesen kisebbek, mert a tartózkodási idő rövidebb.

Valamely szennyvíztisztító telepen két vagy három egységet célszerű létesíteni, nem pedig egy nagyméretű egységre kell hagyatkozni.

A tetőtípus kétféle lehet:

a) fix tető *(38/a ábra)* és a
b) mozgó tető *(38/b–c ábra).*

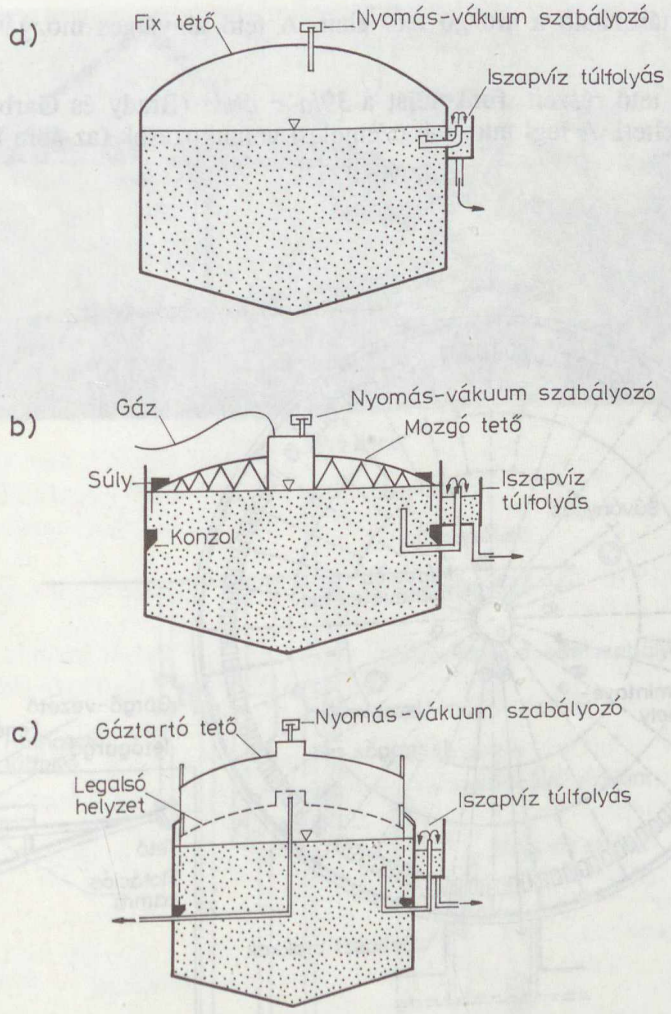
Egyes esetekben ezek kombinációja is jelentkezik.

A mozgó tető belülről sík, dóm alakú, konvex és sátor alakú lehet.

A kétlépcsős rothasztó rendszerben az első rothasztó fix tetős. Az „utórothasztó", tekintettel, hogy a keletkezett metángáz zömét ott kell tározni, mozgó tetős. Mindkét rothasztóra kerülhet mozgó tető, vagy mindkettőre fix tető, de nem ajánlatos az első rothasztón mozgó tetőt, a második rothasztón pedig fix tetőt létesíteni.

A mozgó tető is kétféle típusú lehet:

a) a mozgó tető közvetlenül az iszap felszínén nyugodhat, ami eleve kis mennyiségű gáz tározását teszi lehetővé,
b) a nagy mennyiségű gáz tározását segítő mozgó tető.



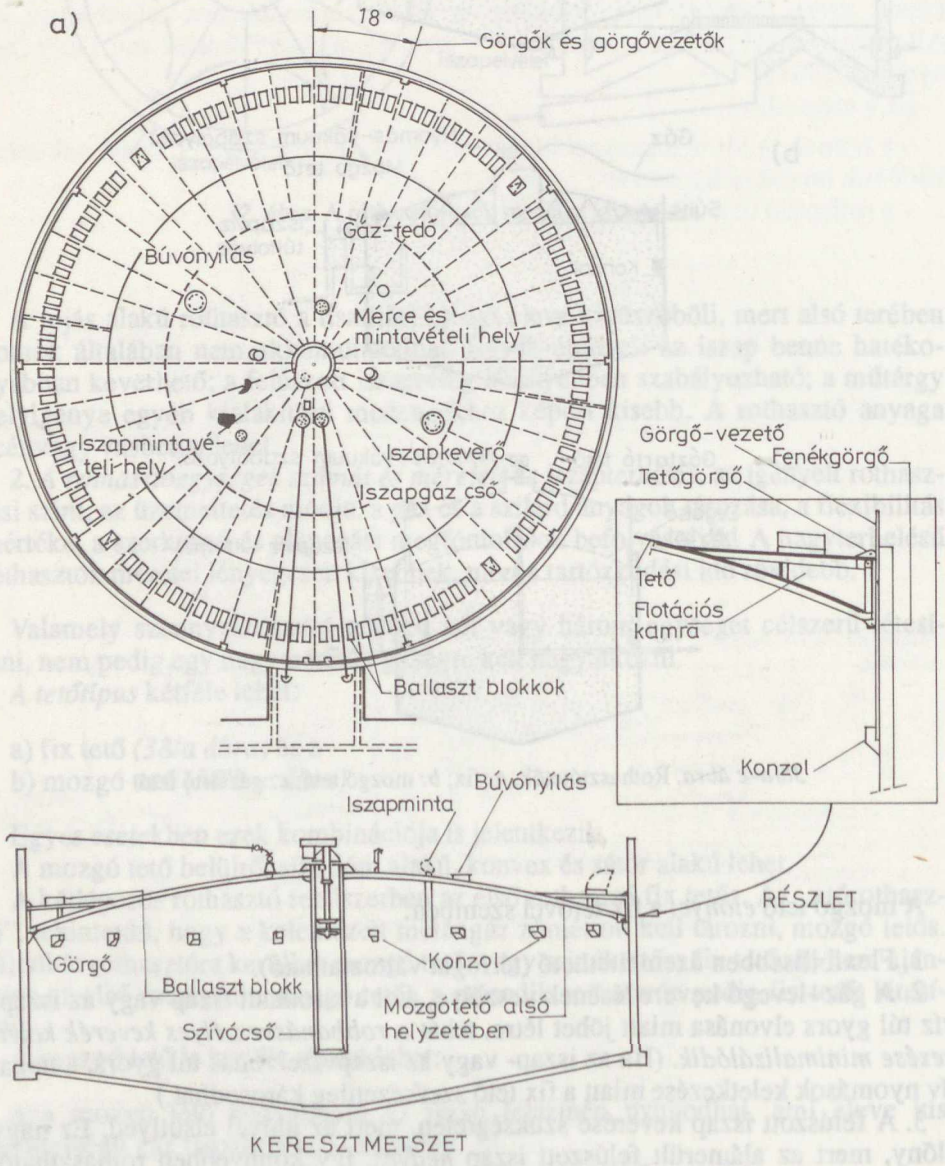
38/a–c ábra. Rothasztótetők. *a:* fix; *b:* mozgó tető; *c:* gáztartó tető

A mozgó tető *előnyei* a fix tetővel szemben:

1. Flexibilisebben üzemeltethető (térfogat változtatható).
2. A gáz–levegő keveredésének veszélye, ami a kirothadt iszap vagy az iszapvíz túl gyors elvonása miatt jöhet létre, tehát *a robbanásveszélyes keverék keletkezése minimalizálódik.* (Ha az iszap- vagy az iszapvízelvonás túl gyors, a negatív nyomások keletkezése miatt a fix tető szerkezetileg károsodhat.)
3. A felúszott iszap keverése szükségtelen, mert az idővel elsüllyed. Ez nagy előny, mert az alámerült felúszott iszap *nedves*, így könnyebben rothasztható, mint a szárazzá vált felúszott iszap.

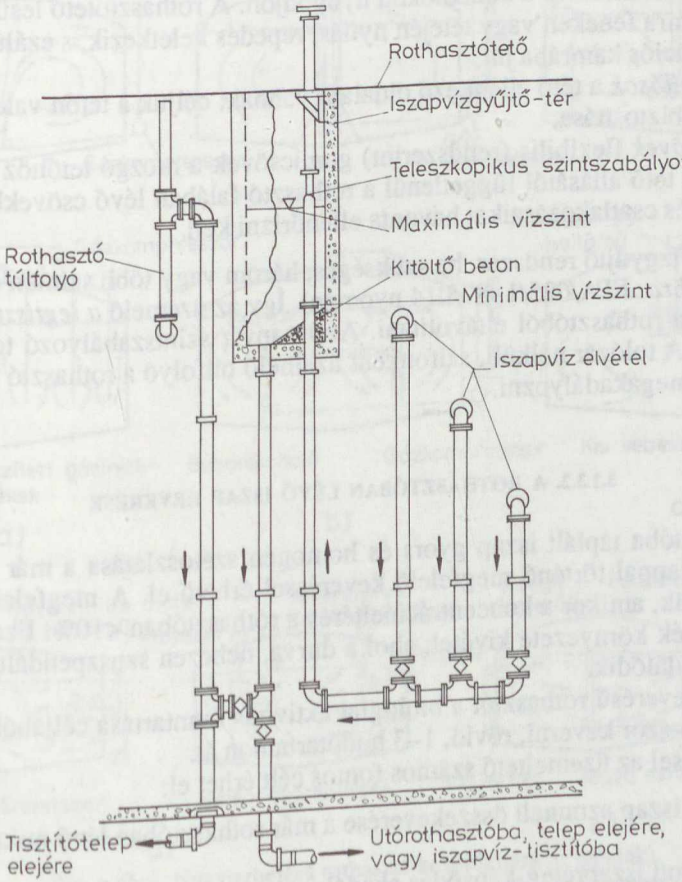
4. A gáz tározható a mozgó tető alatt. A tető tényleges mozgása általában 0,6–1,8 m.

A mozgó tető részeit, funkcióját a *39/a–c ábra* (Brady és Garber nyomán, 1988) érzékelteti. A legfontosabb üzemelési vonatkozások (az ábra figyelembevételével):



39/a ábra

39/b ábra



39/c ábra

39/a–c ábra. Mozgó rothasztótető kialakítása és üzemeltetése.
a–b: kialakítás; *c:* iszapvízmegcsapolás

– a rothasztó belső falán egymástól 3 m távolságra konzolok vannak, amelyek a mozgó tetőt a legalacsonyabb helyzetében alátámasztják,

– az egyensúlyt biztosító holtsúlyok nagy betonblokkok, melyeket a tető külső, alacsonyabban lévő felületrészein helyeznek el avégből, hogy a rothasztandó iszap és gáz felszínén úszó tető stabilitása és a felhajtóerő egyensúlya biztosított legyen. Egyes mozgó tetők csak vékony (7–15 cm) betonból készülnek, ezáltal a betonblokkok száma csökkenthető,

– a *gyűrű alakú tér* a mozgó tető legalsó felületrésze és a rothasztó oldalfala közötti tér, melyet a rothasztásra kerülő iszap tölt ki. Ezáltal *vízzárás* keletkezik, amely addig tart, amíg a rothasztóbeli szennyvíz felszíne a konzolok szintje alá nem süllyed. Ha ez a helyzet bekövetkezik, akkor a külső levegő (így az oxigén is) a gyűrű alakú téren át a *rothasztóba kerül, ahol robbanásveszélyes atmoszféra keletkezik.* Ezért a robbanásveszélyre figyelni kell a rothasztó leürítésekor, a fenntartás vagy tisztítás céljait szolgáló víztelenítéskor,

– a *flotációs kamra* megakadályozza, hogy a tető a rothasztás alatt álló iszapba merüljön, és alámerülve a konzolokon nyugodjon. A rothasztótető lesüllyed, ha a flotációs kamra fenekén vagy tetején nyílás, repedés keletkezik, s ezáltal a csapadék is a flotációs kamrába jut,

– a *tetőnyílások* a tető ellenkező oldalain vannak; céljuk a tetőn való átjutás és a fenntartás biztosítása,

– a *gázcsövek* flexibilis (rendszerint) gumicsövek a mozgó tetőhöz csatlakozva, a gázt, a tető állásától függetlenül a rothasztó falában lévő csövekbe vezetik. A csöveket és csatlakozásaikat havonta ellenőrizni kell.

Az iszapvízgyűjtő rendszer, ha szükséges, három vagy több szinten csapolható meg (*39/c ábra;* EPA/625/1–87/014 nyomán). Így az üzemelő *a legtisztább iszapvizet* képes a rothasztóból eltávolítani. Az iszapvíz szintszabályozó teleszkópos kialakítású. A tolózár nélküli, szifonként üzemelő túlfolyó a rothasztó túltöltődését hivatott megakadályozni.

3.1.3.2. A ROTHASZTÓBAN LÉVŐ ISZAP KEVERÉSE

A rothasztóba táplált iszap gyors és homogén szétoszlatása a már rothasztás alatt álló iszappal történő megfelelő keveréssel érhető el. A megfelelő keverés alatt azt értjük, amikor a koncentrációeltérés a rothasztóban <10%. Ezalól csak a rothasztófenék környezete kivétel, ahol a durva, nehezen szuszpendáltatható homok akkumulálódik.

A teljes keverésű rothasztót a biológiai aktivitás fenntartása céljából elegendő *naponta* 3–6-szor keverni, rövid, 1–3 h időtartamon át.

A keveréssel az üzemeltető számos fontos célt érhet el:

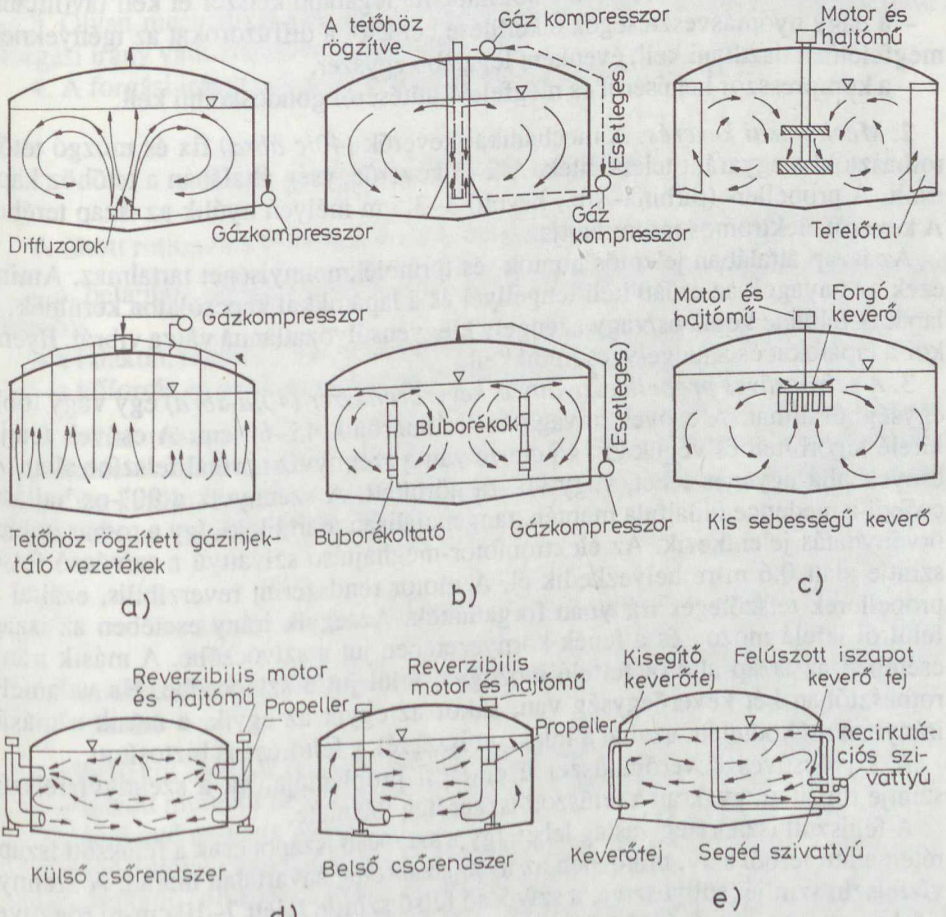
1. a nyers iszap azonnali összekeverése a már rothasztóban lévő mikroorganizmusokkal,
2. a felúszott iszapréteg-képződés akadályoztatása,
3. a rothasztó tartalmának homogénné tétele, a tápanyageloszlást, mikroorganizmusokat, lúgosságot (HCO_3^-), hőt és a bakteriális termékeket is beleértve,

4. a rothasztó lehetséges teljes tartalmának hasznosítása, a homok és inert lebegőanyagok akkumulálódásának minimalizálása.

A keverési eljárások:

– keverés gázzal,
– mechanikai keverés,
– iszaprecirkulációs keverés.

1. *Gázrecirkulációs keverés.* A gázzal történő keverés alapesetei a *40/a–e ábrán* értelmezhetők (Metcalf and Eddy Inc. nyomán, 1991). A *40/a ábrán* a *nyitott* gázkeverő rendszer a gázt a rothasztó felső részéből gyűjti, komprimálja, majd



40/a–e ábra. Nagyterhelésű rothasztó keverőeljárásai (példák).
a: nyitott gázinjektor-rendszerek; *b:* zárt gázinjektor-rendszerek;
c: mechanikai keverőrendszerek; *d:* mechanikai szivattyús rendszerek;
e: szivattyús (iszaprecirkulációs) keverés

fenékdiffúzorokon át a rothasztó terébe juttatja. Ez a rendszer tehát felszálló gázbuborékokkal *szállítja és keveri* az iszapot. Ez a fajta keverés fix tetős vagy gáztartályos rothasztókban alkalmazható. A *40/b ábrán* a *zárt* keverőrendszer a gázt a rothasztó felső teréből gyűjti, komprimálja, majd zárt csöveken keresztül juttatja a rothasztó terébe. Ez a rendszer a fix, a mozgó tetős és a gáztartálytetős rendszerekben alkalmazható.

A gázkeverő rendszer folyamatos vagy indításos leállásos módon üzemeltethető, a rothasztóbeli állapotoktól függően. A gázkeveréshez megfelelő csőrendszer, kompresszor és elosztórendszer szükséges. A kompresszor 1–6 m^3/min kapacitástartományú. A gázkeveréshez igényelt fajlagos energiamennyiség 0,02–0,05 kW/m^3.

Üzemeltetési követelmények:

– a kondenzvizet a csőrendszerből naponta legalább kétszer el kell távolítani,
– a nagy nyomásveszteségek elkerülése céljából a diffúzorokat az igényeknek megfelelően tisztítani kell, évenként legalább egyszer,
– a kompresszor kenéséről és megfelelő hűtéséről gondoskodni kell.

2. *Mechanikai keverés.* A mechanikai keverők *(40/c ábra)* fix és mozgó tetős rothasztókba egyaránt telepítettek. A 2–3 keverőegység általában a tetőhöz kapcsolt. A propeller- (turbina- stb.) keverő 3–3,5 m mélyen nyúlik az iszap terébe. A keverőt elektromos motor hajtja.

Az iszap általában jelentős homok- és törmelékmennyiséget tartalmaz. Amint ezek az anyagok az erőátviteli tengellyel és a lapátokkal kapcsolatba kerülnek, a lapátok felülete kopik és/vagy a tengely kiegyensúlyozatlanná válva vibrál. Ilyenkor a lapátokat és a tengelyt cserélni kell.

3. *A szívócsöves propellerszivattyús keverőrendszer (40/d ábra)* egy vagy több egységből állhat. A csövek anyaga acél, átmérőjük 45–60 cm. A csövek teteje kifelé legörbített és végük kb. 45 cm-re van a szennyvíz normál felszíne alatt. A csövek alja egyenes lehet, vagy 90°-ra görbített. A szennyvíz a 90°-os hajlású csőből a medence oldalfala mentén, tangenciálisan áramlik ki, így a rothasztóban örvényhatás jelentkezik. Az elektromotor-meghajtású szivattyú a szívócső felső szintje alatt 0,6 m-re helyezkedik el. A motor rendszerint reverzíbilis, ezáltal a propellerek tetszőleges irányban forgathatók. Az egyik irány esetében az iszap felülről lefelé mozog és a fenék környezetében jut a szívócsőbe. A másik irány esetében az iszap alulról felfelé mozogva, felül jut a szívócsőbe. Ha valamely rothasztóban két keverőegység van, akkor az egyik az egyik, a másik a másik irányban működtetett, ezáltal a felúszott iszapréteg feltörése is biztosított.

A szívócsöves keverőrendszer üzemelési problémája, ha a szennyvízfelszín szintje rögzített, gyakran a felúszott iszapréteg jelenléte.

A felúszott iszapréteg vastag lehet, így a szívócső iszapot csak a felúszott iszapréteg alatti térből szív, miközben az úszó iszapréteg zavartalan marad. A szennyvízfelszín szintjét süllyesztve, a szívócső felső szintje felett 7–10 cm-re rögzítve, a felúszott iszap a szívócső fölé, onnan a szívócsőbe áramoltatható.

4. *Szivattyús (iszaprecirkulációs) keverés.* A legtöbb mechanikai szivattyús rendszer külső vagy belső térben lévő szívócsőbe telepített propellerszivattyúval üzemeltetett, vagy külső szívócsőben lévő axiál-, ill. centrifugálszivattyúk is be-

építhetők. A keverést az iszap recirkuláltatása biztosítja *(40/e ábra)*. A szivattyús keverést kisebb rothasztóknál alkalmazzák. Ha a rothasztó rendszerben külső hőcserélő létezik, akkor az iszap recirkuláltatására nagyobb centrifugálszivattyú használt.

A szivattyúk kenést igényelnek. A szivattyú könnyen eltömődhet. A szivattyú szívóoldalán és a szívócső belépési szakaszán nyomásmérőt kell elhelyezni. Ha a nyomásleolvasások a normálistól eltérőek, az üzemeltető jelzést kap, hogy valami üzemzavar keletkezett, amit el kell hárítani.

A keveréssel kapcsolatos üzemelési tapasztalatok:

1. A mechanikai keverés a gázrecirkuláltatásnál hatékonyabb.
2. A mechanikai keverők gyakran túlterhelődnek, vagy a szennyező anyagok miatt elkérgesednek, így üzemük gátlódik.
3. Olyan mechanikai keverőket célszerű alkalmazni, amelyek elkérgesedése a forgási irány változtatásával kiküszöbölhető.
4. A forgási irányt célszerű minden második napon változtatni.

3.1.3.3. A ROTHASZTÓ FŰTÉSE

A fűtött rothasztók hőigénye a következő komponensekből adódik:

– a betáplált iszap hőmérsékletét a rothasztóbeli gáz hőmérsékletére kell emelni,
– a falakon, feneken, a tetőn keresztül történő hőveszteség kompenzálása,
– a hőforrás és a rothasztó közötti csőrendszer hőveszteségé.

A rothasztóban lévő iszap például oly módon melegíthető fel, hogy a nyers és a recirkulációs iszapot külső melegvíz-hőcserélőn vezetjük keresztül, majd a rothasztóba kerül *(36. ábra)*. A bojler a rothasztóból kikerülő gázzal fűthető. A bojlerbeli kívánt vízhőmérséklet 60–82 °C.

3.1.3.4. A ROTHASZTÁSRA KERÜLŐ ISZAP JELLEMZÉSE

1. A rothasztó saját testünkkel hasonlítható össze (Brady és Kerri, 1988):
Mindkettő
– táplálékot igényel, de ha a táplálék sok, mindkettő „üzeme" felborul,
– a túlzott mértékű savképződés mindkét esetben zavart okoz,
– mindkettő meleget igényel,
– mindkettőben hasonló rothasztási folyamatok játszódnak le,
– mindkettő folyadékot és szilárd anyagokat bocsát ki,
– mindkettő tápanyagokat hasznosít a sejtek reprodukálásához és energia nyeréséhez.

A rothasztó üzemeltetéséhez ismerni kell a nyers, a felúszott és a rothasztóból elvezetett iszap *rothasztás szempontjából fontos sajátosságait.*

Nyers iszap. A nyers iszap általában az előülepítőből származik. Szénhidrátokat, proteineket, zsírokat, szerves és szervetlen vegyületeket tartalmaz.

A szilárd anyagokat szerves (illékony) és szervetlen anyagok alkotják. Az illékony anyagok mennyisége az iszap teljes súlyának kb. 60–80%-a. Egyes szennyvíztisztító telepeken nincs homokfogó, így a homok és egyéb törmelék anyagok a rothasztó alsó terébe jutnak, elfoglalva a rothasztó aktív terének egy részét. Felúszó iszapanyagok – mint a konyhai zsír, szappan, olaj, cellulóz, műanyagok és egyéb flotálódó anyagok – általában szerves anyagúak. (A felúszott iszap megfelelő keveréssel és hőszabályozással szabályozható.)

Számos anyagot nem szabad a rothasztóba vezetni, mert azokat a baktériumok nem képesek hasznosítani és a normál folyamatok révén nem távolíthatók el. Ilyenek:

- petróleumtermékek, ásványolajok,
- gumianyagok,
- számos műanyag,
- haj,
- homok és egyéb szervetlen anyagok.

De a jól kevert rothasztóban is jelentkezhetnek üzemelési problémák. Például a komminutorral vagy barminutorral felaprított anyagok a keverés hatására összemosódhatnak, és a rothasztó iszapvízvezetékeit elzárhatják.

A rothasztóban a felúszott anyagokból képződött iszapréteg vastagsága 2–5 m is lehet, ami jól üzemeltetett rothasztóban nem jöhet létre. A vastag, felúszott iszapréteg a rothasztó aktív térfogatát csökkenti.

A rothasztóbeli iszap illékonyanyag-tartalma jellemzően 75–85%. Sűrűsége attól függ, hogy

- közvetlenül az eleveniszapos medencéből,
- az utóülepítő recirkulációs iszapvezetékéből stb.

származik-e. Az ilyen különböző sajátosságú iszapok lebegőanyag-koncentrációja 2000 mg/l (eleveniszapos medencéből származó), és 20 000 mg/l lehet (a centrifugás sűrítés után).

Az eleveniszap a nyers iszappal keverhető. Ez akár kevert iszapként történhet, vagy az eleveniszap önállóan rothasztható, de a nyers iszapnál kisebb mértékben. Ez a helyzet az eleveniszapbeli mikroorganizmusok gazdag, komplex szervesanyag-igény természete, ill. a rothasztással szembeni bizonyos fokú ellenállásuk miatt áll elő.

3.1.3.5. A ROTHASZTÓ BEINDÍTÁSA

Amikor az új rothasztóba a szennyvíz szilárd iszapanyagait beadagoljuk, az adagolt iszapban *már jelen lévő* baktériumok először a legkönnyebben rothasztható, rendelkezésre álló tápanyagokat (cukor, keményítők, oldható nitrogén) támadják meg (Brady és Garber, 1988). A *savtermelő mikroorganizmusok* ezeket a tápanyagokat szerves savakká, alkoholokká, szén-dioxiddá és némi hidrogén-szulfiddá alakítják. Eközben a pH 7,0-ről kb. 6,0 értékre vagy az alá csökken, így savcsökkenési állapot indul be, ami 6–8 hétig tart. A savcsökkenési állapot az

illékony savak csökkenésének időszaka. Ezen időtartam alatt ammóniavegyületek és bikarbonát- (HCO_3^-) vegyületek keletkeznek, amelyek a pH növekedését eredményezik, kb. 6,8 pH-ig. Így a *metánbaktériumok* részére, az anaerob redukció számára a lúgos miliő megteremtődik. A szerves savak a metánbaktériumok tápanyagai. Nagy mennyiségű metán, ill. kisebb mennyiségű szén-dioxid termelődik, a pH-szint pedig 7,0–7,2-re emelkedik. *Ha a lúgos anaerob lebomlás (fermentáció) kifejlődött, igyekezni kell a rothasztandó iszap pH-szintjét a 7,0–7,2 tartományban tartani.*

A savtermelő baktériumoknak tehát el kell végezni munkájukat ahhoz, hogy a metántermelő populáció tápanyaghoz jusson. Ha a savtermelés egyensúlya felborul, azt a metántermelés egyensúlyának felborulása is követi. Az üzemeltetőnek azt is érzékelnie kell, *hogy ha a metántermelő fázis létrejött, akkor már elegendő lúgos anyag van jelen a savfázis pufferolásához, és így a rothasztás teljes folyamatának a fenntartásához.* De arra is gondolni kell, hogy több üzemeltetési cselekmény, mint

– a gyenge keverés,
– a fölös, nagy mennyiségű tápanyag-adagolás,
– a fölös víz adagolása a lúgos puffer hígításához,
– a rothasztott iszap túlzott mértékű elvétele,
– zavaró hőmérséklet-változások

újra a savas miliő létrejöttét idézhetik elő.

Az új rothasztó legegyszerűbben egy másik, már működő rothasztóból származó oltóiszappal indítható be. Az oltóiszap mennyisége

– a keverési folyamattól,
– a rothasztó méreteitől és
– az iszap sajátosságaitól függ.

Általában a rothasztókapacitás 10–50%-ának megfelelő oltóiszapra van szükség. A rothasztó beindításakor a szükséges mennyiségű oltóiszapot a rothasztóba kell táplálni. A rothasztó többi részét nyers iszappal és szennyvízzel kell feltölteni. *A rothasztót mindig teljesen fel kell tölteni.*

A beoltással a nyers, az oltó- és a már rothasztás alatt álló iszap egymással szoros kapcsolatba kerül.

A rothasztó hatásfokának növelése céljából számos esetben a nyers és a rothasztott iszap keverékéhez különböző biokatalizátorokat és enzimeket próbálnak adagolni. A biokatalizátort a konzervált élő anaerob kultúrák egy csoportja alkotja, enzimrendszerükkel együtt.

Az üzemelési tapasztalatok szerint a biokatalizátorok és az enzimek a már kialakult rothasztási folyamatokat lényegesen nem képesek befolyásolni. Egyes preparátumok azonban a rothasztó felső részében összegyülekezett hab túlzott mértékű keletkezését akadályozzák, és egyes esetekben a rothasztó üzem felborulásának megszüntetésében gyorsító szerepet játszanak (Kollár, 1993).

A robbanásveszélyes gáz létrejöttét a nem teljesen feltöltött rothasztóba bejutott levegő okozhatja. A beindítás időszaka alatt, ha már jó minőségű, éghető gáz képződik, a nyers iszap betáplálási mértékét *fokozatosan* növelni kell mindaddig, amíg a rendszer a teljes iszapterhelést fogadni képes.

A rothasztóba jutó iszap

– az előülepítőből,
– az eleveniszapos rendszer utóülepítőjéből, és/vagy
– a csepegtetőtestes rendszer utóülepítőjéből („humusz"-iszap) származik.

Arra kell törekedni, hogy *a betáplált iszap szárazanyag-tartalma – térfogatcsökkentés céljából – minél nagyobb legyen.* Ez az ülepítési idő növelésével érhető el, ami azonban olyan hosszú lehet csak, hogy az ülepítőben gázosodás és iszapfelúszás még ne jelentkezzen (Öllős, 1993, 1. fejezet). A gazdaságosság érdekében a betáplálás előtt a 0,8–1,0% szárazanyag-tartalmú, utóülepítőből származó iszapot 4–6% szárazanyag-tartalomra kell sűríteni gravitációs vagy flotációs sűrítéssel.

Jobb hatásfokú a rothasztás, ha a rothasztó naponta több alkalommal táplált. Így a rothasztó időszakos túlterhelése kiküszöbölhető, a rothasztó rendelkezésre álló tere pedig jobban kihasználható, nagyobb koncentrációjú iszap szivattyúzható a rothasztóba. Ezáltal az előülepítő iszapzsompjában, miközben az iszap egy része helyben marad, *csupán a folyadékeltávozás* akadályozható meg (ez a „coning"-jelenség).

Soha ne tápláljunk híg iszapot vagy folyadékot (szennyvizet) a rothasztóba. Valamely iszap a rothasztás szempontjából akkor tekinthető hígnak, ha 5%-nál kevesebb szilárd anyagot tartalmaz. A híg iszapbetáplálás a következő hátrányokkal jár (Brady és Garber, 1988).

A fölös szennyvíz (folyadék)

1. több hőt igényelhet, mint amennyi rendelkezésre áll,
2. az iszap rothasztóbeli tartózkodási idejét csökkenti,
3. a betáplált iszapot (oltóiszapot) és a lúgosságot a rothasztóból kiszorítja, ezáltal a rendszer pufferkapacitása a nyers szennyvízből való savak képződéséhez elégtelenné válhat.

De az üzemeltetőnek azzal is tisztában kell lenni, hogy a 10–12% szilárd anyagot tartalmazó iszap rendszerint nem rothasztható megfelelően a hagyományos rothasztóban, mert megfelelő keverése nem lehetséges, aminek eredményeként a tápanyag, az oltóiszap, a hő és a metabolikus termékek eloszlása kedvezőtlen, így

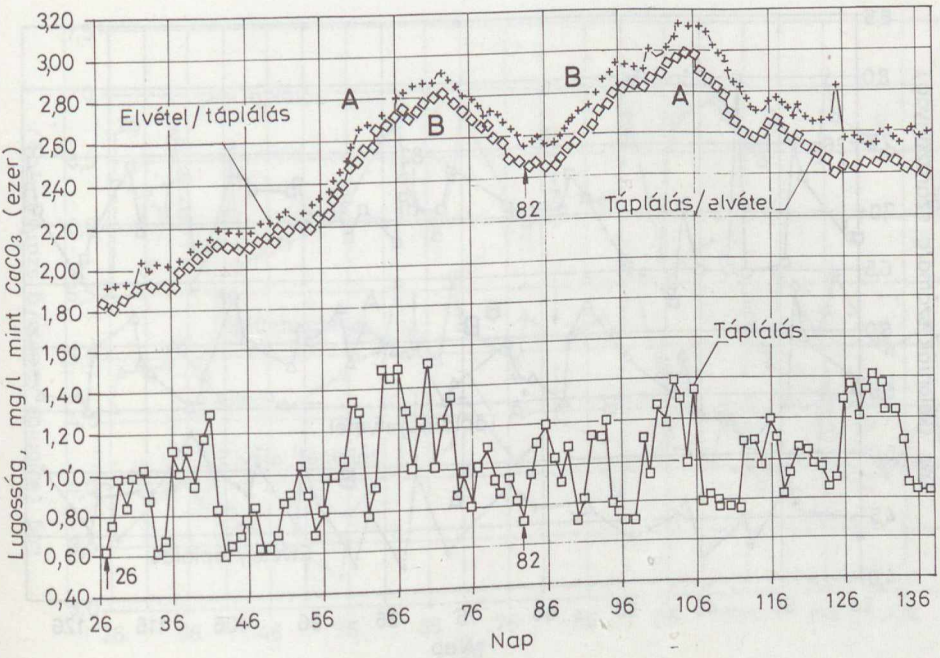
– savasodás, ezáltal
– kedvezőtlen rothasztás

jön létre.

A legtöbb szennyvíztisztító telepen azonban nehéz 8%-os szilárdanyag-tartalmú iszapot birtokolni. Az eleveniszapos és a csepegtetőtestes rendszerben az iszap szilárdanyag-tartalma 1–3%. Az eleveniszapos rendszer fölös iszapjának sűrítése, levegővel történő flotálása vagy centrifugálása után 4,5–6% szilárdanyag-tartalom érhető el.

Az anaerob iszapstabilizáló berendezés *táplálása* a következő módokon lehetséges.

a)



41/a ábra

1. Csaknem folyamatos. Várhatóan ez a mód biztosítja a legegyenletesebb gázfejlődést.

2. A táplálás *csak a keverés időszaka alatt* jelentkezik, és kétlépcsős rothasztó rendszer esetében az első rothasztóból a másodikba irányuló túlfolyás engedélyezett, vagy a rothasztott iszapot tározótartályba vezetik.

3. Egyes esetekben a stabilizált iszapot a rothasztóból *a betáplálás időpontja előtt* vezetik el. Várhatóan ez a módszer nyújtja a legkedvezőbb mikrobiológiai pusztulást.

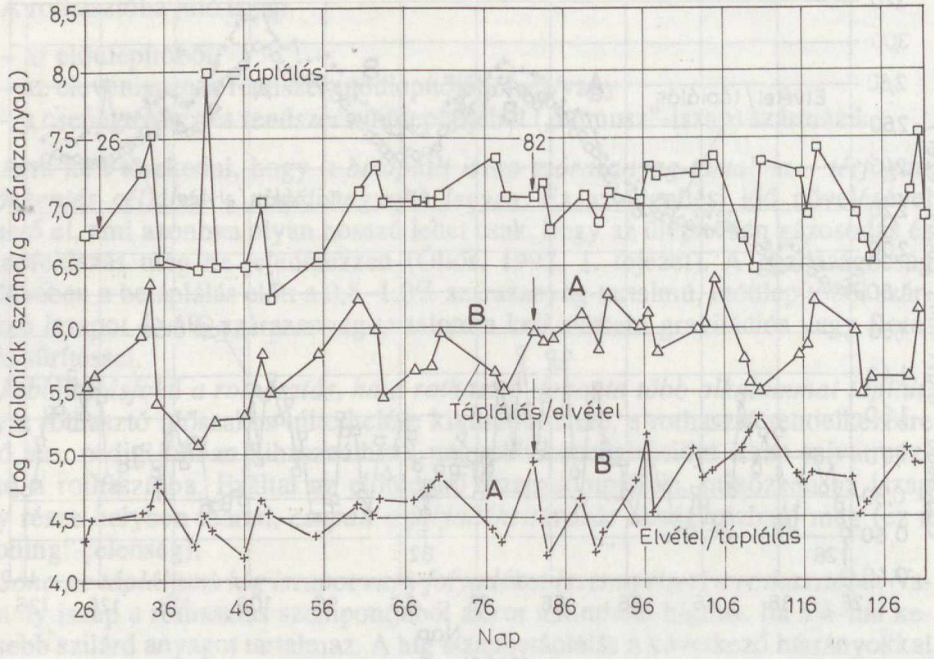
Ezen esetekkel kapcsolatos üzemeltetési tapasztalatok (*41/a–d ábra;* Farrell et al., 1988) a következő üzemelési feltételekhez tartoznak:

a) a rothasztó táplálása, utána az iszap rothasztóbeli keverése, mielőtt iszapot vesznek el a rothasztóból. Erre a rendszerre *a táplálláselvétel-üzemeltetési mód* a jellemző. Másik esetben

b) a táplálást megelőzően iszapelvételre kerül sor. Erre a rendszerre tehát az *elvétel/táplálás üzemeltetési mód* jellemző.

Ezen üzemeltetési módok fizikai-kémiai paraméterekre gyakorolt jellemző hatása lúgosság esetében a *41/a ábrán* (Farrell et al., 1988) követhető.

b)

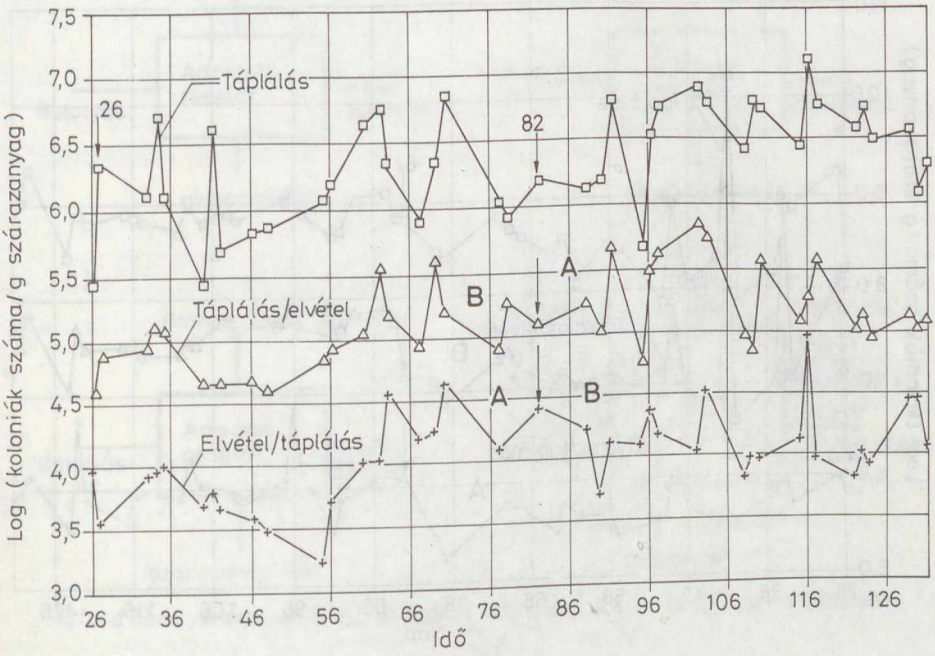


41/b ábra

A táplálásváltozás a 26. és a 82. napon történt. Az *A* jelű rothasztó üzemeltetésére az elvétel/táplálás→táplálás/elvétel-üzemmód, a *B* jelű rothasztóra a táplálás/elvétel→elvétel/táplálás-üzemmód jellemző. Az *A* és *B* feltételekhez tartozó görbék átmenete inkább összefüggés nélküli, mintsem lépcsős. Az *A* rothasztóból származó produktum azonnal táplálás/elvétel-elfolyás és a *B* rothasztó produktuma azonnal elvétel/táplálás-elfolyás lesz.

Az előző üzemeltetési módok fekál coliformra, a fekál streptococcusra és az összes coliformra gyakorolt hatása a *41/b–d ábrán* adott (Farrell et al., 1988). A táplálás/elvétel és az elvétel/táplálás-görbék közötti különbség a lúgossághoz *(41/a ábra)* képest lényegesen nagyobb. Az új egyensúlyi állapothoz tartozó görbeszakaszban azonban most sincs lépcsős változás. Amint az *A* jelű rothasztó az elvétel/táplálás-üzemeltetési módra változott, az elvétel mikroorganizmus-koncentrációja a táplálási módéra jellemző. Hasonlóan, a *B* jelű rothasztóból való elvétel az elvétel/táplálás-módnak megfelelő, rögtön ezen üzemeltetési módra való áttérést követően.

c)



41/c ábra

Ezen üzemeltetési tapasztalatokból a következőket kell szem előtt tartani:

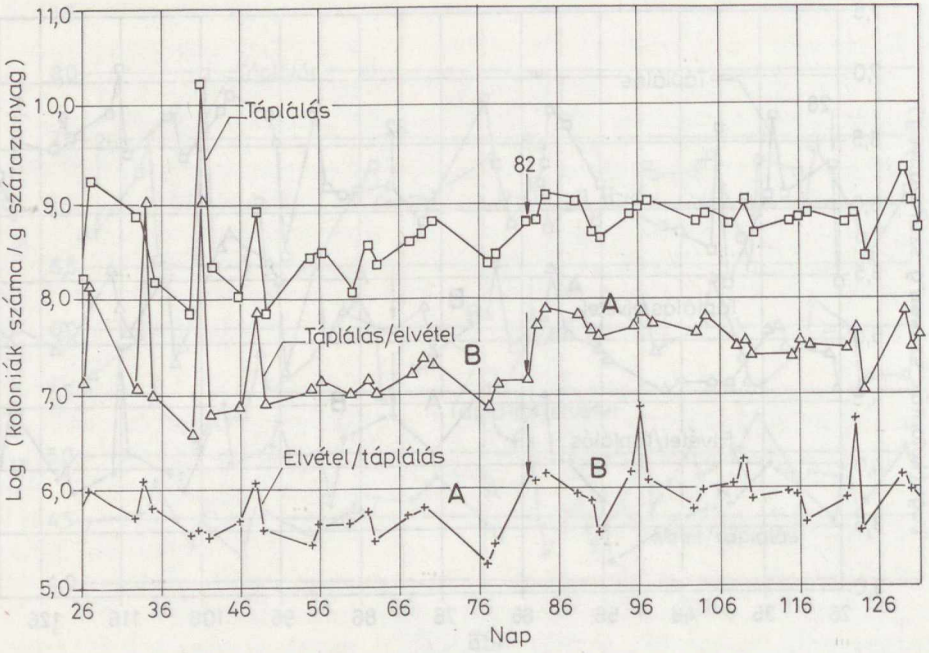
1. A teljes keverésű rothasztó esetében a táplálás és a produktumok elvétele szabályos időközökben történik, az elvétel időtartama/táplálás időtartama a rothasztóbeli anyagok időtől függő összetételét alig befolyásolja.

2. Az elvétel/táplálás-üzemeltetés a bakteriális koncentrációk jóval nagyobb csökkenését eredményezi, mint amikorra a táplálás/elvétel-üzemeltetési módnál jelentkezik.

3. A hatás vírusokra nézve a baktériumoknál kapotthoz hasonló, de kisebb mértékű, mert a víruskoncentráció időbeli csökkenési mértéke a vírusok esetében a baktériumoknál kapott mértékhez képest kisebb.

4. A változás a fizikai-kémiai paraméterekre (mint például a KOI, illékony szilárd anyagok) nézve az időben lassul, a százalékos csökkenés azonban gyakorlati szempontból elhanyagolható.

d)



41/d ábra

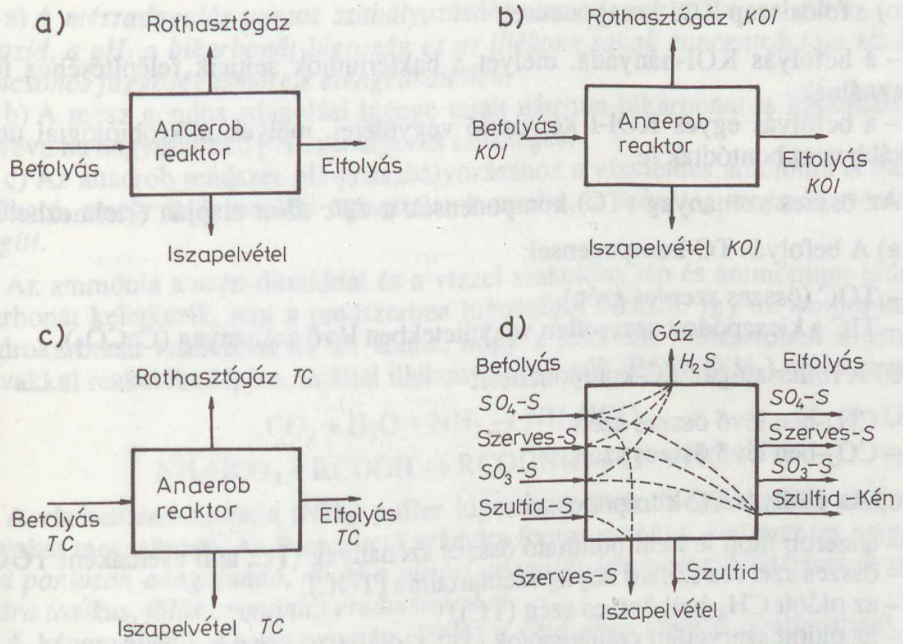
41/a–d ábra. Az idő és a táplálási módok hatása a stabilizált (a rothasztóból elvett) iszap lúgosságára *(a);* a fekál coliformra *(b);* a fekál streptococcusra *(c)* és az összes coliformra *(d)*

3.1.3.7. AZ ANAEROB REAKTOROK EGYENSÚLYBAN TARTÁSA

A rothasztóban az egyensúlyban lévő miliőre jellemző feltételek:

$$\text{CHONS} + H_2O \left\{ \begin{array}{l} CH_4\uparrow \\ + \\ CO_2\uparrow \rightleftarrows H_2CO_3 \rightleftarrows H^+ + HCO_3^- \rightleftarrows H^+ + CO_3^{2-} \\ + \\ NH_3 \rightleftarrows NH_4^+ + OH^- \\ + \\ R\,COOH \rightleftarrows H^+ + R\,COO^- \\ + \\ H_2S \rightleftarrows H^+ + HS^- \rightleftarrows H^+ + S_2^- \end{array} \right\} \quad (11)$$

A kutatói hajlammal is rendelkező üzemeltetőnek azonban az egyensúly vizsgálatakor a *reaktorszemléletben* is gondolkodni kell tudni, hiszen *a folyamatok*



42/a–d ábra. Az anaerob iszapstabilizáló reaktor egyensúlyviszonyainak értelmezése

számszerűsítéséhez ez nélkülözhetetlen. Az anaerob reaktor olyan „fekete doboz" (*42/a ábra;* Kroiss, 1981 nyomán), amelyre a jellemző *egyensúlyi paraméterek:*

– KOI mint redukcióequivalens egyensúly,
– TC mint szénegyensúly,
– S mint kénegyensúly-paraméter.

A KOI-egyensúly *komponensek* anaerob reaktorra (*42/b ábra;* Svardal nyomán, 1991) az alábbiak:

a) a *rothasztógázban* a KOI értéke

– a CH_4 és
– a H_2S

vegyületekből számítható.

b) az elfolyás KOI-komponensei:

– anaerob úton le nem bontható szénanyagok,
– az elfolyás szilárdanyag-tartalmának KOI-értéke,
– az elfolyásban lévő oldott CH_4,
– az elfolyásban lévő oldott kénvegyületek (H_2S, HS^-, S^{2-}).

c) a fölösiszap KOI-komponensei:

– a befolyás KOI-hányada, melyet a baktériumok sejtjeik felépítéséhez felhasználnak,
– a befolyás egyes KOI-t képviselő vegyületei, melyek mikrobiológiai úton tovább nem bontódtak le.

Az összes szénanyag (TC) komponensek a *42/c ábra* alapján értelmezhetők.

a) A befolyás TC-komponensei:

– TOC (összes szerves szén),
– TIC a kicsapódott szervetlen vegyületekben lévő szénanyag ($CaCO_3$).

b) A rothasztógáz TC-komponensei:

– CH_4-ben lévő összes szén,
– CO_2-ben lévő összes szén.

c) Az elfolyás TC-komponensei:

– anaerob úton le nem bontható összes szénanyag (TC, ami esetenként TOC),
– összes szerves szilárd anyag széntartalma (TOC),
– az oldott CH_4-beli összes szén (TC),
– az oldott szervetlen szénanyagok (TC, CO_2, HCO_3^-, CO_3^{2-} = TIC).

d) A fölös (rothasztóból elvezetett, kirothadt) iszap TC-komponensei:

– a mikroorganizmusok által a sejtanyagaik felépítéséhez felhasznált, a befolyásban lévő TC (TOC),
– a befolyás bizonyos vegyületei (TOC), melyek mikrobiológiai úton nem hasznosulnak,
– kicsapódott szervetlen szénanyagok, TIC ($CaCO_3$).

3.1.3.8. pH-SZABÁLYOZÁS

Az anaerob iszapstabilizáló rendszer pH-ja

– a rothasztógáz CO_2-tartalom,
– a bikarbonát lúgossága és
– az illékony savak koncentrációinak a függvénye.

A szabályozás általában akkor szükséges, ha a pH 6,5–6,6 alá süllyed.

a) *A mész adagolása* ezen pH-értéken a következő reakciót eredményezi:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2 \qquad (12)$$

Amint a bikarbonát-lúgosság koncentráció az 500–1000 mg/l-t eléri, *a mész további adagolásakor* oldhatatlan kalcium-karbonát-csapadék képződik:

$$Ca(OH)_2 + CO_3^{--} \rightarrow CaCO_3 + H_2O \qquad (13)$$

Noha a mész az anaerob rendszer pH-ja szabályozásának hatékony módja, az üzemeltetőnek fontos tudnia:

a) *A mészadagolás pontos szabályozásához az adagolt mész, az oldott szén-dioxid, a pH, a bikarbonát-lúgosság és az illékony savak koncentrációja közötti kölcsönös függőség ismerete elengedhetetlen.*

b) A mész gondos adagolási igénye miatt nátrium-bikarbonát is használható, kivéve ha nagymértékű pH-szabályozás szükséges.

c) Az anaerob rendszer pH-ja szabályozásához a vízmentes ammónia is használható, amely az üzemelési tapasztalatok szerint, *a habréteg megszüntetését is segíti.*

Az ammónia a szén-dioxiddal és a vízzel reakcióba lép és ammónium-hidrokarbonát keletkezik, ami a rendszerben lúgosságot biztosít. Így az ammónium-hidrokarbonát rendelkezésre áll ahhoz, hogy a felborult rothasztóbeli illékony savakkal reakcióba lépjen, miáltal illékony savak–sók ($RCOONH_4$) keletkeznek:

$$CO_2 + H_2O + NH_3 \rightarrow NH_4HCO_3 \qquad (14)$$

$$NH_4HCO_3 + RCOOH \rightarrow RCOONH_4 + H^+ + HCO_3^- \qquad (15)$$

A vízmentes ammónia (NH_3) puffer lúgosságot biztosít és a szabad illékony savakat megszünteti. Az üzemeltető számára fontos szabály: *a vízmentes ammónia pontosan adagolandó, mivel a túlzott adagolás könnyen a baktériumok számára toxikus, fölös ammóniát eredményezhet.*

A kénegyensúly Kroiss nyomán (1994) a *42/d ábra* alapján értelmezhető. A feltüntetett szénformák közül mennyiségi szempontból rothasztáskor általában csak a szulfát, a kénhidrogén (hidrogén-szulfid, H_2S), ill. a szulfid kísérendő figyelemmel. Egyes szennyvizek esetében a szulfit okozhat gondot.

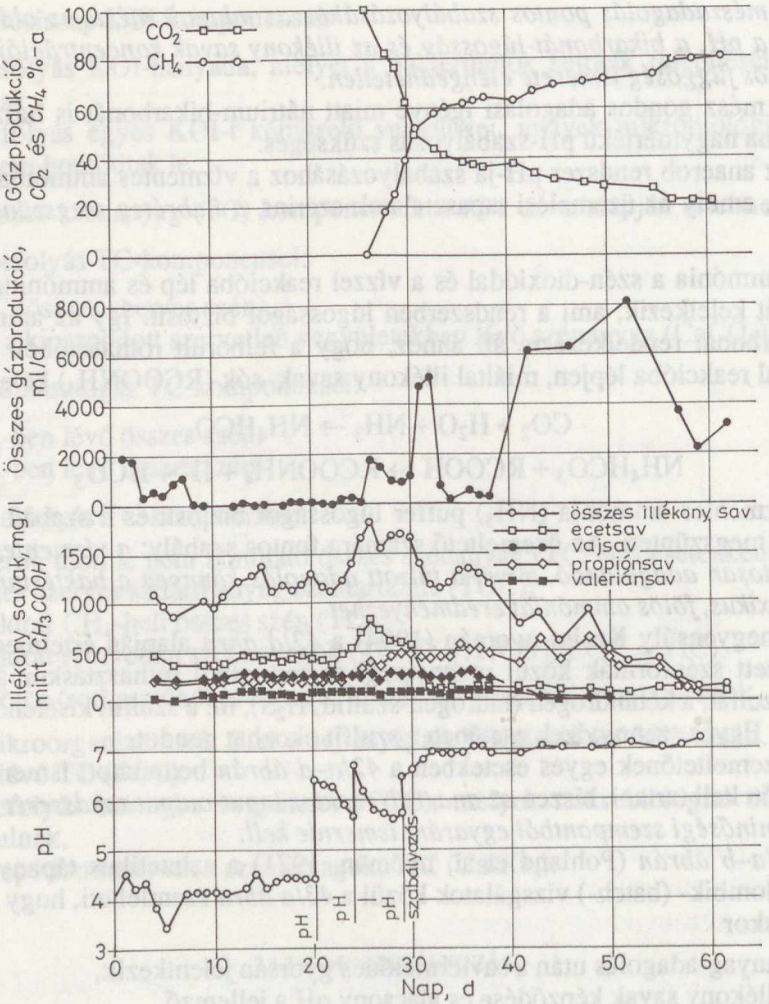
Az üzemeltetőnek egyes esetekben a *42/a–d ábrán* bemutatott ismereteket is szem előtt kell tartani, hiszen *az anaerob reaktor input-output rendszerét mennyiségi és minőségi szempontból egyaránt ismernie kell.*

A *43/a–b ábrán* (Pohland et al. nyomán, 1971) a szintetikus tápanyagokkal végzett lombik- (batch-) vizsgálatok közül a *43/a ábra* szemlélteti, hogy pH-szabályozáskor

– tápanyag-adagolás után a savtermelődés gyorsan jelentkezik,
– az illékony savak képződése és alacsony pH a jellemző.

A metánképződés beindulásának elősegítése céljából a rothasztótartalmat nátrium-hidroxiddal neutralizálták. Miután a pH értéke a kívánt tartományba került, azt stabilizálták, aminek hatására a metántermelő baktériumok elszaporodtak olyan mértékben, hogy az illékony savak felhasználása után a normál rothasztási folyamatokra jellemző metán- és szén-dioxid-képződés beindult.

Az üzemeltető számára a *43/b ábra* tanulságos, amely a pH-szabályozás szerepét olyan rothasztóban érzékelteti, amelyben a nagymértékű tápanyag-adagolás révén a savtermelés mértéke szándékosan a rendszer neutralizáló kapacitása fölé nőtt. Az *A*, *B* és *C* reaktor (lombik) hidraulikai tarózkodási ideje 15 nap, mindegyik reaktorhoz kezdetben 1,6 kg/m^3 illékony szilárdanyag-terhelés tartozik. Az *A* és *B* reaktor pH-szabályozás nélkül, a *C* reaktor pH-ja 7,0 értékre nátrium-hidroxiddal szabályozott. 30 nap után a *B* és *C* reaktor illékony szilárdanyag-terhelése 3,2 kg/m^3, tehát kétszeresére nőtt. Az *A* reaktor terhelése változatlan maradt. A *43/b ábra* alapján megállapítható:

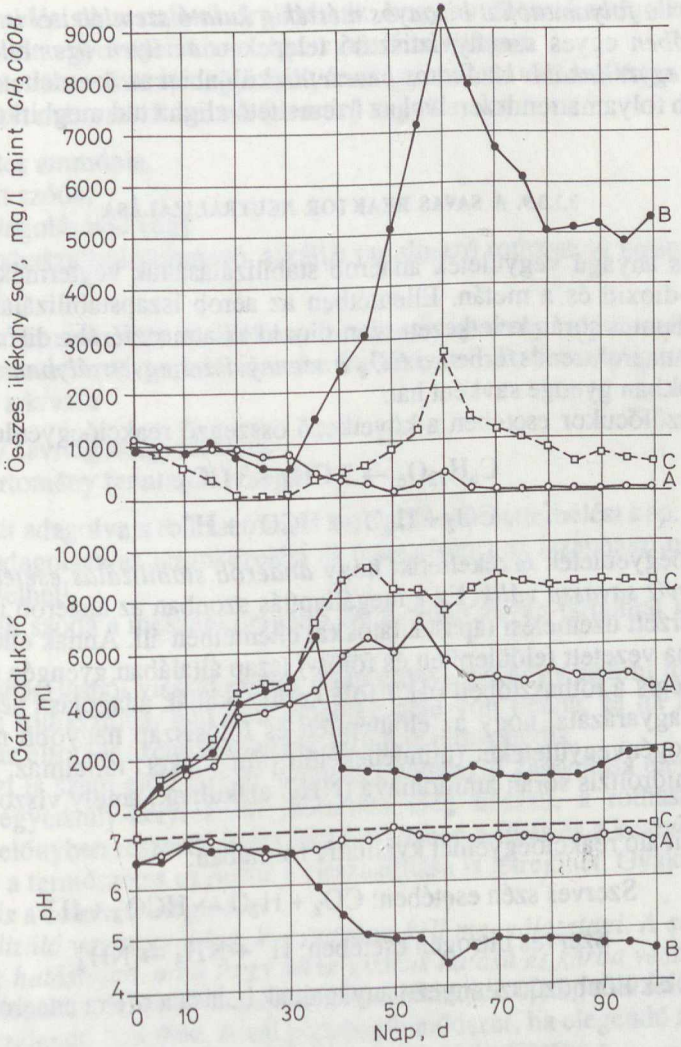


43/a ábra

– a gázképződés, illékony szerves savak és a pH tekintetében 30 napig mindegyik reaktor üzeme azonos jellegű,

– a *B* és *C* reaktor szervesanyag-terhelésének kétszeresre emelését követően azonban nagymértékű változás jelentkezik: a pH-szabályozás nélküli *B* reaktorban rögtön nagy mennyiségű illékony savak akkumulálódnak és a pH pedig 4–5 közé csökken. A *C* reaktorra a megnövelt szervesanyag-terhelés ugyan hat, de a pH-szabályozás az illékony savak kezdeti koncentrációnövekedése után mérsékeltebb. Ennek megfelelően kedvezőbb gáztermelés jellemző.

– A *B* reaktor üzeme soha nem javult meg, és a gáztermelés szempontjából inhibitor hatás alatt állónak tekintendő. Az inhibitor hatás eredete, amit a *43/b ábra*



43/b ábra

43/a–b ábra. a: napi táplálású anaerob iszapstabilizáló reaktor üzemelési jellemzői pH-szabályozáskor; *b:* lombik (batch) anaerob rothasztás folyamatai

érzékeltet, a felhasználhatóságon túlmenő illékony savak akkumulációinak, a pufferkapacitás kimerülésének, a pH olyan mértékű csökkenésének tuljdonítható, amelyek a metántermelő baktériumok számára már inhibitor környezeti tényezőként fejtik ki hatásukat.

A *43/a–b ábrával* kapcsolatos megállapítások érzékeltetik, hogy *az üzemeltetőnek nemcsak egyes, kiválogatott paraméterek meghatározására kell koncent-*

rálni, hanem a folyamatokat bizonyos mértékig kutató szemlélettel is értelmeznie kell. A jövőben egyes szennyvíztisztító telepeken *az ilyen üzemeltetői–kutatói szemléletet egyre inkább kívánatos bevezetni,* különben az üzemeltetés speciális, komplexebb folyamatrendszereivel az üzemeltető aligha tud megbirkózni.

3.1.3.9. A SAVAS REAKTOR NEUTRALIZÁLÁSA

A szerves anyagú vegyületek anaerob stabilizálásának végtermékei lényegében a szén-dioxid és a metán. Ellentétben az aerob iszapstabilizálással, ahol a biológiai lebontás során keletkezett szén-dioxid az atmoszférába diffundál, a zárt műtárgyas anaerob rendszerben *a CO_2 a szennyvízzel egyensúlyban van.* A CO_2 vizes oldatokban gyenge savként hat.

Például szőlőcukor esetében a következő összegző reakcióegyenlet jellemző:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3\ CH_4 + 3\ CO_2 \qquad (16)$$

$$CO_2 + H_2O \rightarrow HCO_3^- + H^+ \qquad (17)$$

A reakcióegyenletek érzékeltetik, hogy *anaerob stabilizálás esetében a neutrális szennyvíz savassá válik.* Ez a megállapítás azonban az anaerob iszapstabilizálásnál szerzett üzemelési tapasztalatokkal ellentétben áll. Annak ellenére, hogy a rothasztóba vezetett (előülepített és fölös-) iszap általában gyengén savas tulajdonságú, mégis a rothasztóbeli pH 7 fölé kerül alkaliák adagolása nélkül is. Ennek az a magyarázata, hogy az előülepített és fölösiszap nagyobb mennyiségű szerves nitrogénvegyületeket (mindenekelőtt proteineket) tartalmaz. Ezek a vegyületek a hidrolízis során ammóniává (NH_3) alakulnak, amely viszont a pH-értéket növeli.

A neutralizáló reakcióegyenlet kvalitatív formában:

Szerves szén esetében: $CO_2 + H_2O \rightarrow HCO_3^- + H^+$ (18)

Szerves nitrogén esetében: $H^+ + NH_3 \rightarrow NH_4^+$ (19)

Az iszapok különböző szennyező anyagainak hatása a pH-ra anaerob stabilizáláskor:

Átalakító anyag	pH-t változtató végtermék	pH-változás rendje
Szerves szén	CO_2	Süllyed
Szerves nitrogén	NH_3	Emelkedik
Szulfát	H_2S	Emelkedik
Szerves savak	CO_2	Emelkedik*

* Ez a helyzet mindaddig, amíg a szerves savak disszociációs állandója (K_s) a szénsav disszociációs állandójánál ($\approx 4{,}8 \cdot 10^{-7}$) nagyobb.

Ezen üzemelési tapasztalatok érzékeltetik, hogy a rothasztó neutralizálása valójában bonyolult, egyes esetekben *alapos analízist igényel.*

A savassá vált rothasztó egyensúlyának gyorsított visszaállítása – amint a 3.1.3.8. fejezet már utal rá – maró (caustic) vegyületek

– vízmentes ammónia,
– kalcinált szóda,
– mész adagolásával vagy
– az utórothasztóból származó, alkáliát tartalmazó rothasztott iszap adagolásával érhető el.

Ez a fajta neutralizálás az illékony sav/lúgosság-arányt olyan szintre növeli, amely a metántermelő populáció számára kedvező. Puffer anyagot is biztosít, ugyanakkor a kívánt

– illékony sav/lúgosság-arány és
– a pH-tartomány fenntartását segíti.

Ammóniát adagolva a rothasztóba, a befogadó többletterhelést kap.

A mész adagolása az iszapkezelési és (esetenként) az iszaphasznosítási problémákat növelheti.

A kalcinált szóda a mésznél drágább, de a szilárdanyag-tartalmat kevésbé növeli.

Az utórothasztásból visszavezetett iszap előnye az, hogy semmi többletanyag sem kerül a rothasztóba, ami már előzőleg nem volt benne, és ha az adagolás megfelelő, az elfolyás szennyezőanyag-tartalma redukálódik.

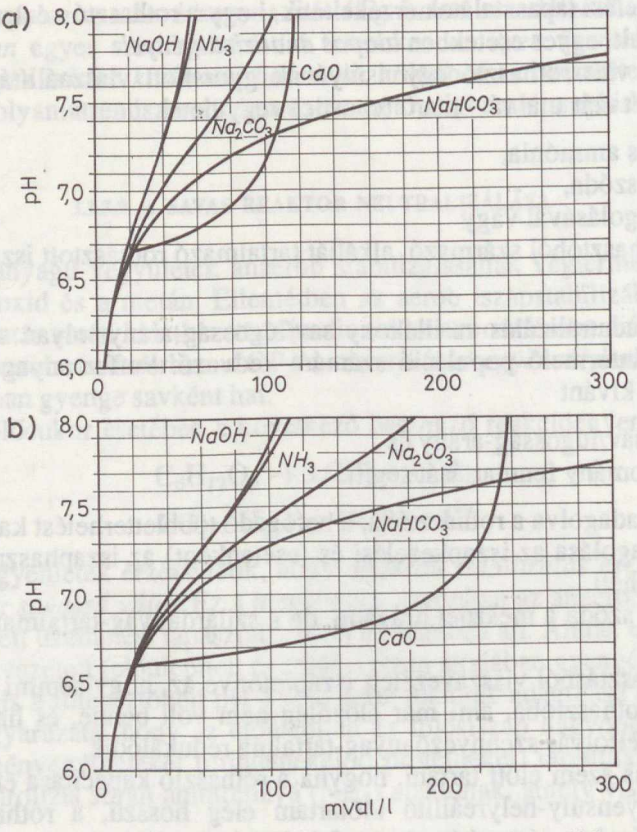
Fontos azt is szem előtt tartani, hogyha a rothasztó kapacitása elég nagy és a lehetséges egyensúly-helyreállító időtartam elég hosszú, a rothasztóterhelés-csökkentés előnyben részesítése ésszerű (miközben a fűtés és a keverés folyamatos); ezáltal a természetes egyensúly visszaállítása is létrejöhet. Gyakran az *ilyen neutralizálás* a célszerű megoldás.

A neutralizáló vegyszer adagját gondosan kell megválasztani. A szükségesnél kisebb adag hatástalan, a túl nagy adag toxikus hatású és kárba vész. Mész esetében, kis telepeken, laboratóriumi eszközök nélkül, kb. 0,1 kg meszet kell adagolni 1000 l kezelendő iszaphoz. Jóval pontosabb módszer, ha elegendő mennyiségű meszet adagolnak az illékony savak 100%-os neutralizálásához.

Az üzemeltető legyen tisztában azzal is, hogy *a savas rothasztó neutralizálása a megfelelő pH-szint beállítására hivatott, a rothasztó üzem felborulása okát azonban általában nem küszöböli ki.*

3.1.3.10. A NEUTRALIZÁLÓ VEGYSZEREK HATÁSA, ÖSSZEHASONLÍTÁSUK

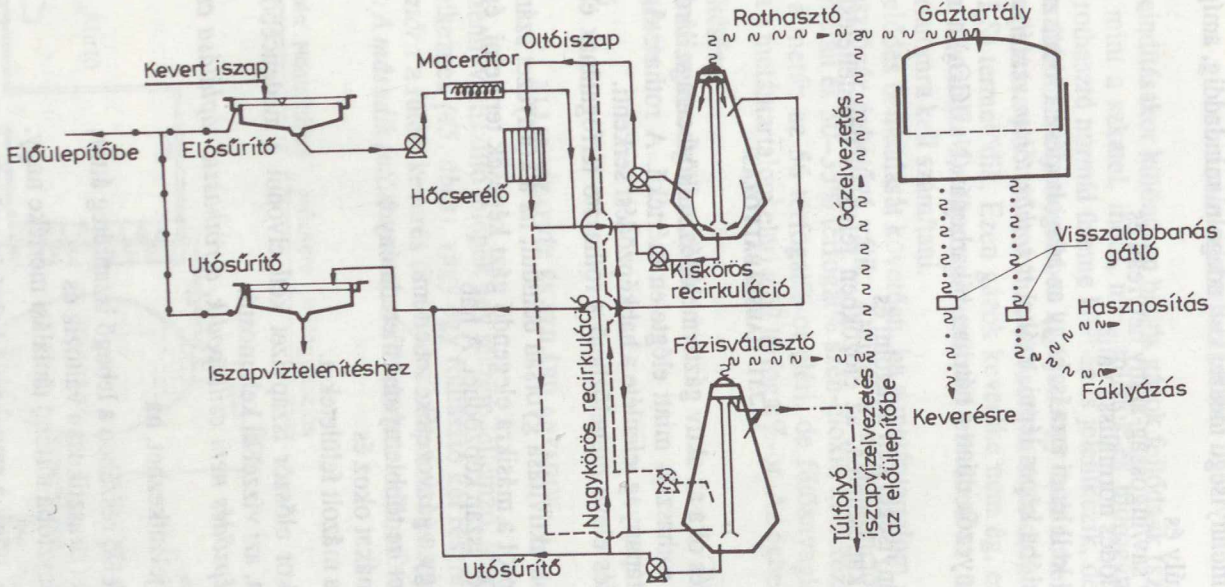
A különböző neutralizáló vegyszerek hatása a *44/a–b ábrán* értelmezhető (Svardal nyomán, 1991). Koncentrációegységként mval/l szolgál, így az egyes neutralizáló vegyszerek egymással közvetlenül összehasonlíthatók. (Kalcium-vegyületek esetében egy mval fél mmol-nak felel meg.) A szennyvíz KOI-kon-



44/a–b ábra. A neutralizáló vegyszerek összehasonlítása

centrációja a *44/a ábrán* 5000 mg/l, a *44/b ábrán* 10 000 mg/l. A KOI_b/TC_b-arány mindkét ábrára nézve 3. KOI_b, mg/l, a rothasztóba táplált, a baktériumok által energianyerésre hasznosított iszap KOI-koncentrációja; TC_b, mg/l, a rothasztóba táplált, a baktériumok által energianyerésre hasznosított TOC plusz a csapadék formájú szervetlen szénanyagok ($CaCO_3$). Az ábrákra nézve S_b, mg/l, a befolyás szulfáttartalma, melyet a baktériumok energiaszerzésre használnak fel, zérus. N_b, mg/l, a befolyásbeli ammónia-nitrogén és az ammónia-nitrogénné hidrolizált TKN (összes Kjeldal-nitrogén). A befolyás lúgosságtartalma zérus. A szerves savak mennyisége a reaktorban = O. $pK_{CaCO_3} = 7{,}4$ (pK disszociációs állandó). Az üzemeltetőnek és az analitikusnak a *44/a–b ábrán* lévő kapcsolatokat, a kapcsolatokat alakító részfolyamatokat is ismerni kell.

A mész (CaO) az adagolás előtt kerüljön oldatba, különben a rothasztó fenekére ülepszik, így csökkenti a rothasztó hasznos térfogatát, a rothasztó tisztításakor pedig nehezen távolítható el. A mész adagolásakor a rendelkezésre álló keverési energiát teljesen ki kell használni. A fűtött, zárt anaerob rothasztás technológiája a *44/c ábrán* értelmezhető (Juhász nyomán, 1994).



44/c ábra. Fűtött, zárt anaerob rothasztás technológiája

Naponta kis mennyiségű meszet kell adagolni mindaddig, amíg a kívánt

– pH-egyensúly és
– az illékony sav/lúgosság-arány helyreáll és
– a gáztermelődés normálissá válik.

Figyelemmel kell lenni arra is, hogy az adagolt mész a rothasztóban lévő szén-dioxiddal reakcióba képes lépni, ezáltal *a rothasztóban veszélyes vákuum keletkezhet.*

Gazdasági tényezők miatt a nátrium-bikarbonát ($NaHCO_3$) a mész jó helyettesítője, hiszen

– kisebb mennyiséget kell adagolni és
– a mésszel kapcsolatos, az előzőkben felsorolt üzemeltetési problémák elmaradnak.

3.1.3.11. HABSZABÁLYOZÁS

A habképződés oka az aktív gáztermelődés, miközben a szilárdanyag-szeparálódás a gyenge rothasztás miatt elégtelen mértékű. A rothasztó beindításakor a túlzott mértékű tápanyag jelenléte a habképződést serkenti.

A habképződés eleve megelőzhető a rothasztó térfogatának előírt, megfelelő keverésével.

A baktériumok aktivitása gyorsan beindul, ha a környezet számukra kedvező. Szinte egyik napról a másikra elegendő gázt képesek termelni, és nagy mennyiségű fekete hab és iszap képződhet. A hab

– amellett, hogy a gázvezetékeket eltömi,
– a rothasztótetőre többletnyomást eredményez,
– szagproblémákat okoz és
– tönkreteszi a mázolt felületeket.

Habképződéskor először iszapvizet kell elvonni a medencéből, majd a gázrendszert lezárva, azt vízzel ki kell mosni.

Amíg *a habképződés nem csillapodik, a rothasztó táplálása csak csökkentett mértékű lehet.*

Habképződés jelentkezhet, ha

– a rothasztó felső részében a lebegő iszapréteg áttör,
– a hőmérséklet drasztikusan változik és
– az iszap rothasztóba történő táplálási mértéke nagy.

El kell kerülni, hogy a savtermelő baktériumok a metántermelők részére több tápanyagot (savakat) termeljenek, mint amennyit azok át tudnak alakítani.

Általános szabály az üzemeltető számára a habképződés megakadályozására:

1. megfelelő keverés esetében a habképződés elmarad,
2. a fenékről kiinduló és a rothasztó felső részére is átterjedő keverést *a habképződést megelőzően, nem pedig utána kell megvalósítani.*

3.1.3.12 GÁZTERMELŐDÉS

A rothasztó beindításakor különösen büdös gázok fejlődnek (számos nitrogén- és kénvegyület, mint a szkatol, indol, merkaptánok és hidrogén-szulfid). Ezek közül számos a rothasztó normál üzeme közben is jelentkezik, de ezeket a szén-dioxid és a metán általában oly mértékben hígítja, hogy csak nehezen észlelhetők.

A rothasztó beindítása első időszakában elsősorban szén-dioxid (CO_2) és hidrogén-szulfid (H_2S) termelődik. Ezen gázok keveréke nem ég, ezért rendszerint az atmoszférába távoznak. Az ilyen gázemisszió esetében az üzemeltetőnek a valószínű szagártalomra kell számítani.

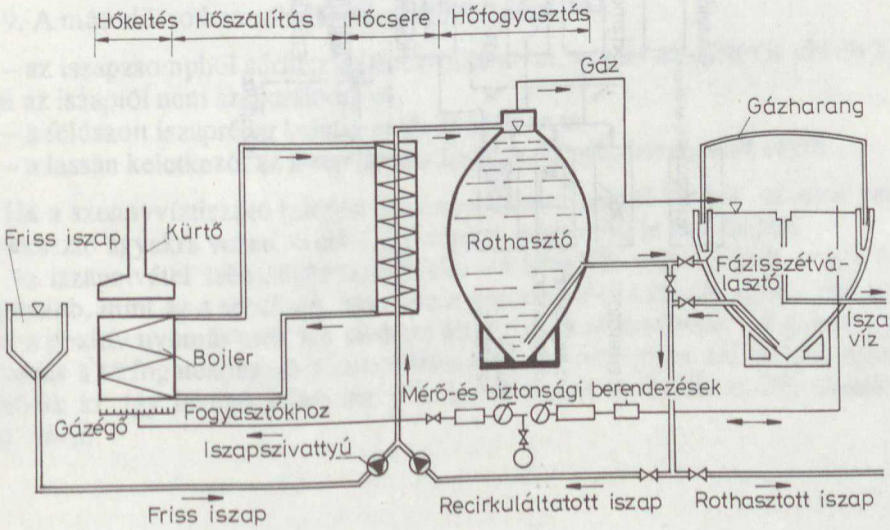
A metántermelődés beindulását követően, ha a metántartalom a 60 térfogat%-ot eléri, a rothasztógáz éghetővé válik. Amikor a metántermelődés uralkodóvá válik, 65–70% metán és 30–35% térfogat% szén-dioxid keletkezik. A rothasztógáz éghető, ha a metán az 56 térfogat%-ot eléri, de fűtőanyagként csak akkor értékesíthető, ha a metántartalom eléri a 62 térfogat%-ot. Az éghető gáz

– rothasztó fűtésére,
– motorokhoz energiaszolgáltatásként,
– épületek fűtésére

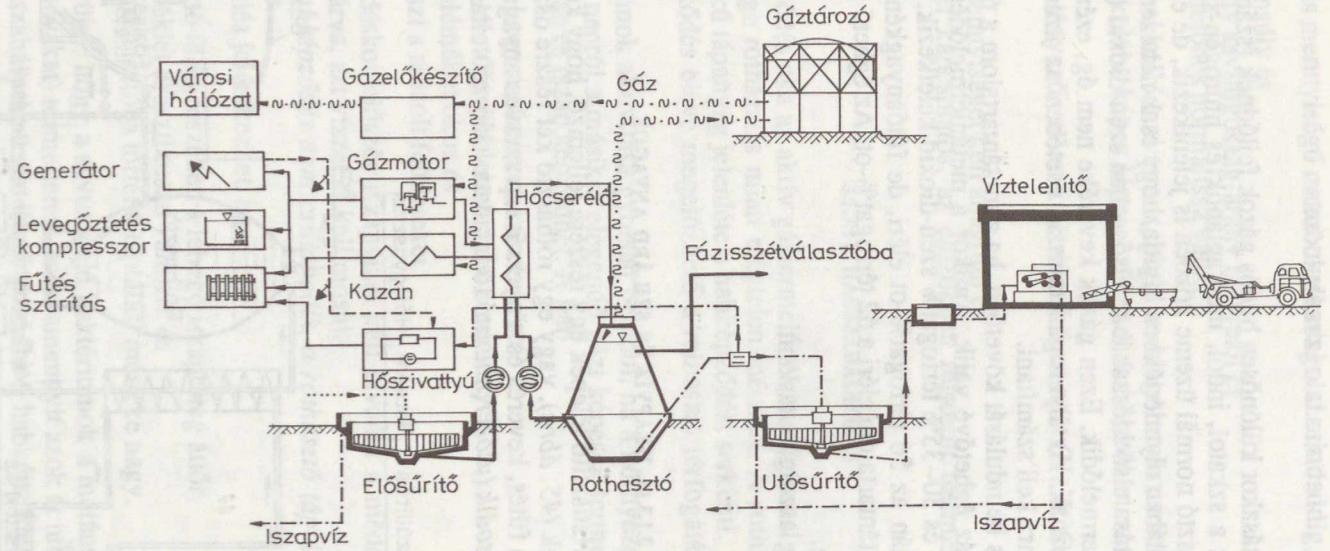
hasznosítható.

3.1.3.13. ISZAPVÍZ ÉS SZILÁRD ANYAGOK

A jelenlegi szennyvíztisztító telepek egy részére jellemző, hogy két önálló rothasztóval rendelkeznek *(45. ábra)*, vagy egy rothasztó két részre osztott. *Az első (gyors-) rothasztóra* a fűtés, keverés és a nyers iszap szerves anyagainak stabilizálása jellemző. *A második (utó-) rothasztó* fő feladata – tározó voltánál fogva – a



45. ábra. Fázisszétválasztó (utórothasztó) gázharanggal



45/a ábra. Biogáz-hasznosító rendszer

fázisszétválasztás, ezért iszaptartalmát keverni nem szabad, azt nyugalomban kell tartani. Kisebb mértékű utórothasztás azonban reá is jellemző.

A gáz 90%-a az első rothasztóban termelődik.

Biogáz-hasznosító rendszert a *45/a ábra* szemléltet (Juhász nyomán, 1994).

Amikor a nyers iszapot az előrothasztóba szivattyúzzák, azzal egyidejűleg azonos térfogatú iszapot kell belőle a második rothasztóba átvezetni. Ugyanakkor a második rothasztóból az iszapvizet a telep elejére kell recirkuláltatni *(45. ábra)*.

A második rothasztó feladatai:

1. Fázisszétválasztás.
2. A leülepedett iszap olyan mértékű sűrítése, hogy a víztelenítendő iszap víztartalma minél kisebb legyen.
3. A leülepedett iszap kitűnő oltóiszap, ill. pufferiszap az esetben, amikor az első rothasztó üzeme felborul, ezért
4. a második rothasztó térfogata 25%-ának megfelelő mennyiségű, jól kirothadt iszap mindig a rothasztóban tartandó.
5. A tározott iszap *természetes* enzimkészlete rendkívül hasznos, hiszen az előrothasztó üzemét a lökésszerű terhelés időszakában megmentheti. (Az enzimek az élő mikroorganizmusok által termelt szerves anyagok, amelyek a kémiai folyamatokat gyorsítják. A „kereskedelmi" enzimek vagy egyéb biokatalizátorok a rothasztókban ritkán hatékonyak (Brady és Garber, 1988).
6. Az első és a második rothasztót úgy kell üzemeltetni, hogy azok egymást kiegészítsék, segítsék, amit jelez az is, hogy
7. ha az első rothasztó több oltóiszapot vagy pufferkapacitást igényel, az a második rothasztóból recirkuláltatás révén biztosítható (a betáplált iszap 10%-a).
8. A második rothasztó keverése csak rendkívüli állapotban indokolt, mégpedig

– az iszap recirkuláltatása után,
– ha az iszapvíz nem kerül vissza a tisztítótelep elejére.

9. A második rothasztóbeli keverés fő feladatai:

– az iszapzsompból sűrített iszap távolítható el, vagyis az iszapvíz ebben a térben az iszaptól nem szeparálódik el,
– a felúszott iszapréteg keletkezését akadályozza,
– a lassan keletkező, az iszap flotálódását segítő gáz felszállását segíti.

Ha a szennyvíztisztító telepen csak egyetlen rothasztó létezik, az iszap iszapszikkasztó ágyakra vezetése előtt egy nappal, a keverést le kell állítani.

Az iszapelvétel sebességének mértéke – bármelyik rothasztóból – nem lehet gyorsabb, mint az a sebesség, amelyen a gáztermelődés folyik, mert a rothasztóban a pozitív nyomás csak így tartható fenn. Ha az iszapelvonás túl gyors, a gáznyomás a térfogatexpanzió miatt csökken. Bizonyos határon túl negatív nyomás fejlődik ki, így levegő szívódhat a rothasztóba, és robbanásveszély keletkezik *(46. ábra)*.

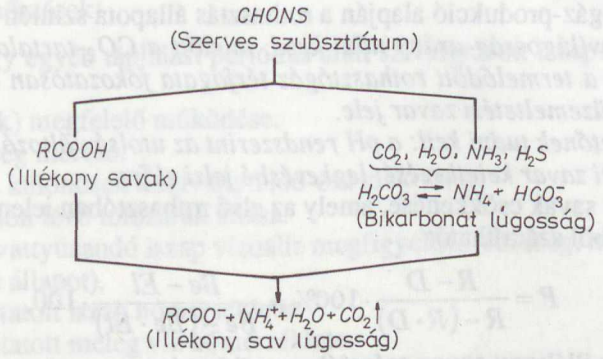
46. ábra. Robbanás, ill. építési hiba okozta rothasztó-tönkremenetel (fotó: dr. Juhász)

3.1.3.14. ILLÉKONY SAV/LÚGOSSÁG-KAPCSOLAT

A sikeres rothasztóüzemeltetés kulcsa az illékony sav/lúgosság-kapcsolat. Amíg

– az illékony savak mennyisége a tervezettnek megfelelő és
– a lúgosság magas,

a rothasztó üzeme zavartalan. Természetesen a szennyvíztisztító telepek sajátosságaitól függően az illékony sav/lúgosság-arány némileg eltérő *(általában 0,1-nél kisebb). Ha az arány nő, azonnali szabályozás megindítása szükséges. Ez az első jele annak, hogy a rothasztó üzeme felborul.* Ha az azonnali beavatkozás



47. ábra. A főbb sav–bázis egyensúlyok hatása az anaerob iszapstabilizáló rendszer pufferkapacitására

elmarad vagy nem hatékony, akkor a rothasztógáz (CO_2) tartalma nőni kezd. Ezzel egyidejűleg a pH csökken, és a rothasztó üzeme felborul.

Az illékony sav/lúgosság-kapcsolatok a *47. ábrán* értelmezhetők (Pohland et al nyomán, 1987).

Az illékony sav/lúgosság-arányt hetente legalább kétszer meg kell határozni: az idő függvényében koordináta-rendszerben kell ábrázolni, miközben a trend alakulására figyelni kell.

Az illékony sav/lúgosság-arány a rothasztó pufferkapacitására utaló jel. Az igény a magas pufferkapacitás, ami kis aránnyal érhető el, amikor is az illékony savak koncentrációja kicsi és a lúgosság nagy (pl. 120 mg/l illékony savak/2400 mg/l lúgosság).

Az illékony sav/lúgosság-egyensúlyt

– a rothasztóba táplált túlzott mennyiségű nyers iszap,
– a rothasztott iszap eltávolítása és/vagy
– a lökésszerű terhelés

boríthatja fel.

Határozott üzemeltetési probléma jelentkezik, ha az illékony sav/lúgosság-arány növekedni kezd. A 0,5/1,0 (1000 mg/l illékony sav/2000 mg/l lúgosság) arány közelében a lúgosság rendszerint jelentősen csökken. Ugyanekkor a CO_2-koncentráció is nőni kezd. Ha az arány $\geq 0{,}8$, a pH csökkenni kezd.

Ha az arány nőni *kezd*, a következő a teendő:

– a rothasztó tartalmát hosszabb időn át kell keverni,
– a hőháztartást ellenőrizni kell,
– az iszapelszívás mértékét csökkenteni kell,
– ha lehetséges, a második rothasztóból bizonyos mennyiségű sűrített iszapot át kell recirkuláltatni az első rothasztóba,
– nagycsapadékos időszakban, amikor a tisztítótelepet nagy mennyiségű szilárdanyag-terhelés éri, az első rothasztóba rothasztott iszapot kell adagolni.

A rothasztógáz-produkció alapján a rothasztás állapota szintén jól érzékelhető. *Az illékony sav/lúgosság-arány nőni kezd, mielőtt a CO_2-tartalom szaporodása megindul. Ha a termelődött rothasztógáz térfogata fokozatosan csökkenni kezd, az valamiféle üzemeltetési zavar jele.*

Az üzemeltetőnek tudni kell: a pH rendszerint az utolsó változó indikátor, ezért az üzemeltetési zavar keletkezését legkevésbé jelzi előre.

Az illékony savak csökkenése, amely az első rothasztóban jelentkezik, a következő egyenletből számítható:

$$P = \frac{R - D}{R - (R \cdot D)} \cdot 100\% = \frac{Be - El}{Be - (Be \cdot El)} \cdot 100, \qquad (20)$$

ahol P az illékony anyag százalékos csökkenése,
Be, R a nyers iszap százalékos illékonyanyag-tartalma,
El, D a rothasztott iszap százalékos illékonyanyag-tartalma.

A (20) egyenlet teljes keverést, a rothasztóba táplált és kivett szilárdanyag-mennyiség azonosságát tételezi fel.

Példa: $Be = 68\%$ illékony anyag a betáplált *(Be)* nyers iszapban; $El = 54\%$ illékony anyag a kivett *(El)* rothasztott iszapban.

Így

$$P = \frac{Be - El}{Be - (Be \cdot El)} \cdot 100\% = \frac{0{,}68 - 0{,}54}{0{,}68 - (0{,}68 \cdot 0{,}54)} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{0{,}14}{0{,}68 - 0{,}37} \cdot 100\% = \frac{0{,}14}{0{,}31} \cdot 100\% = 0{,}45 \cdot 100\% = 45\%.$$

3.1.3.15. ÜZEMELTETÉSI STRATÉGIA

Egyes üzemeltetési adatok grafikus ábrázolása nagyon hasznos lehet, ezáltal a rothasztás folyamatainak változásai, azok trendjei figyelemmel kísérhetők. A következő paraméter-kapcsolatok *(koordináta-rendszerbeli) idő függvényében történő ábrázolása* célszerű:

1. adagolt illékony szilárd anyag, kg/m^3 rothasztókapacitás · d,
2. adagolt illékony szilárd anyag, kg/rothasztás alatt álló illékony szilárd anyag, kg · d,
3. illékony savak, mg/l/lúgosság, mg/l,
4. termelődött gáz, m^3/d,
5. a CO_2-százalék változása,
6. hőmérséklet változása.

3.1.3.16. ELLENŐRZŐ MÉRÉSEK, MEGFIGYELÉSEK

A rothasztó üzemeltetésének és fenntartásának ellenőrzése, napi, heti, havi, félévi és igény szerinti mérések és megfigyelések alapján lehetséges (Brady és Garber, 1988).

1. *Napi* ellenőrzések:

– 24 óra vagy egyéb táplálási periódus alatt szivattyúzott iszaptérfogat leolvasása.
– Szivattyú(k) megfelelő működése.
– Iszapsűrűség mérése.
– Műszerek, különösen a szivattyú idő-óra működése.
– Iszapvonalon lévő tolózárak állása.
– Nyers, szivattyúzandó iszap vizuális megfigyelése (sűrűség, híg állapot, szín, szag, szeptikus állapot).
– Recirkuláltatott iszap hőmérséklete.
– Recirkuláltatott meleg víz hőmérséklete.
– Bojler- és hőcserélő-hőmérséklet és -nyomás.
– Bojler és hőcserélő üzeme.
– Recirkulációs szivattyú üzeme.
– Gázmérő-leolvasás.
– Rothasztógáz-nyomás leolvasása.
– Mozgó tető helyzete.
– Folyadékszint a rothasztóban.
– Iszapvízvezetékek üzeme, tisztítása.
– Rothasztógáz biztonsági analizátor és regisztrálókészülék ellenőrzése.
– Vízszigetelés ellenőrzése, vízszint feljegyzése.
– Gázkeverés gázhozama.
– Gőznyomás.
– Kompresszorüzem.
– Mechanikai keverőmotor-üzem.
– Hajtószíjak.
– Vibrációk.
– Keverés iránya.
– Valamennyi iszap- és gáztolózár nyitása és zárása (gyakorlás).
– Nyers iszap összetétele.
– Összes és illékony szilárdanyag-tartalom.
– Rothasztott iszap
  – találomra vett minta,
  – hőmérséklet,
  – pH,
  – összes gáz- és CO_2-tartalom,
  – gáztermelés és CO_2-tartalom számítása és grafikus ábrázolása,
  – terhelés (iszap- és hidraulikai) számítása és grafikus ábrázolása.
– Illékony savak.
– Az iszapvizet a rothasztóból naponta kell elvezetni. Az elvezetés előtt 6–12 órával a keverést le kell állítani. Az iszapvíz-elvezető csövet úgy kell beállítani, hogy minél kevesebb iszapot szállítson el.

Az iszapvizet és a rothasztott iszapot addig kell elvezetni, amíg a nyers iszap fogadására elegendő térfogat keletkezik.

Heti ellenőrzések:

- Minden iszaptolózár nyitása és zárása (gyakorlás).
- Gázégők működése.
- Üzemelő gázégők száma.
- Rothasztógáznyomás.
- Iszapvízcsövek működése.
- Felúszott iszapréteg-képződés.
- Mozgó tető ellenőrzése (vízzárás, belső korrózió).
- Nyers iszap pH-ja.
- Rothasztott iszap
  - lúgossága,
  - illékony sav/lúgosság-kapcsolat számítása és grafikus ábrázolása,
  - összes szilárd anyag és illékony savak.

Havi ellenőrzések:

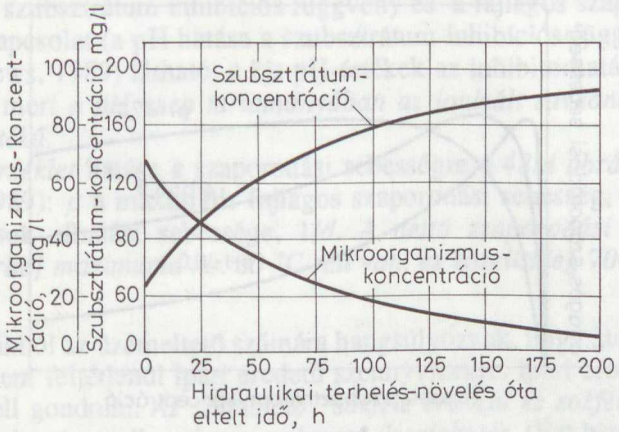
- Bojler- és hőcserélő biztonsági berendezések.
- Bojlertüzelés (láng–levegő-keverék).
- Rothasztószerkezetek és a csőrendszer vízzárósága, repedések.
- Rothasztógáz biztonsági analizátor és rekorder tisztítása, ellenőrzése és kalibrálása.
- Az iszapvíz szilárdanyag- (összes és illékony) és KOI-koncentrációja, grafikus ábrázolásuk.
- Szilárdanyag- (összes és illékony) hőmérséklet profil 1,5 m távolságonként a rothasztó fenekétől a tetejéig. Ha iszapfelhő észlelhető, igyekezni kell azt feltörni.
- A rothasztó szilárdanyag-mérlegét számítani kell. Ez a számítás segít kideríteni, hogy az üzemeltető rothasztást szabályozó tevékenysége mennyire eredményes. Az anyagmérleg alapja a következő: *ami a tisztítótelepre érkezik, annak onnan távozni is kell. Ha az üzemeltető meghatározza, mi érkezik a telepre és meghatározza a telepről távozó anyagok (mint szilárd anyag, vagyis iszap; folyadék, vagyis szennyvízelfolyás; gáz (mint rothasztógáz) legalább 90%-át, akkor a telep üzemét szabályozni tudja.*

Az anyagmérlegek meghatározásakor az üzemeltetőnek a következő legfontosabb tényezők szerepét kell világosan látni, különben a szakszerű üzemeltetés nem biztosítható. Az anyagmérleg szerepét kifejező általános egyenlet:

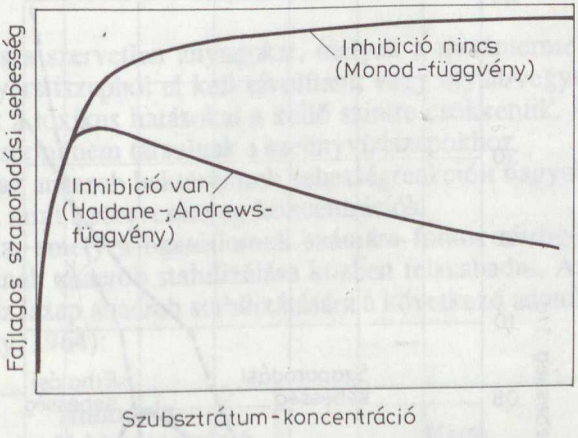
$$\text{Akkumulálódás} = \text{Input} - \text{Output} \pm \text{Reakció}.$$

Ez az egyenlet állandósult állapotot tételez fel.

1. De ha a hidraulikai terhelést $t = 0$ kezdeti időpontban *növeljük*, akkor a *48/a ábra* tanúsága szerint (Andrews nyomán, 1989) az *elfolyás* szubsztrátumkoncentrációja nő, végső határként a befolyásszubsztrátum koncentrációját közelíti meg. Ugyanakkor a mikroorganizmusok koncentrációja a zérót közelíti meg. Ez a folyamat egyértelműen üzemeltetési zavart jelez, aminek oka: *a mikroorganizmusok nem képesek olyan gyorsan szaporodni, mint amilyen gyorsan a rendszerből kimosódnak.* Ez olyan alapvető, a tervezéskor a múltban figyelembe nem vett üzemelési probléma, amely *minden reaktor üzemét felborítja.*



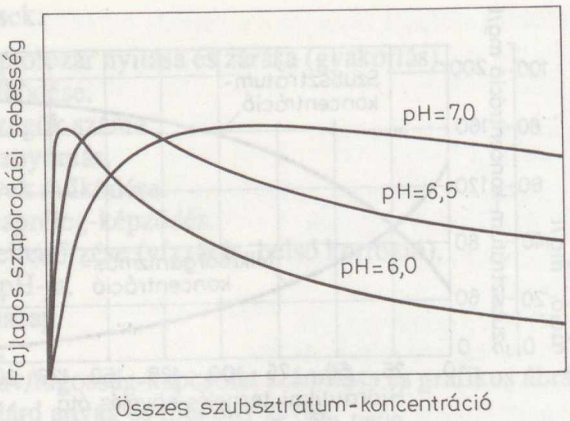
48/a ábra



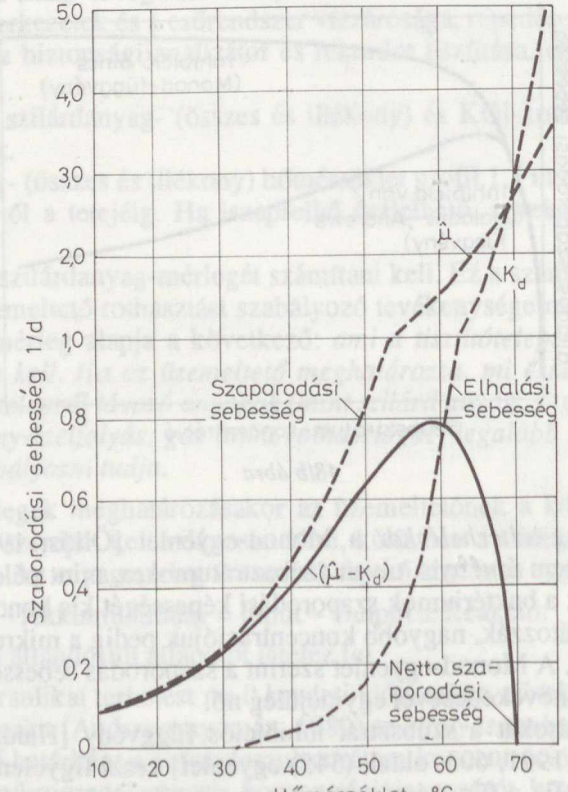
48/b ábra

2. *Szervesanyag-túlterheléskor* a Monod-egyenlet [Öllős, 1991, 596. oldal, (540) egyenlet] nem érvényes olyan szubsztrátumokra, mint például az illékony savakra, amelyek a baktériumok szaporodási képességét kis koncentrációjuk tartományában korlátozzák, nagyobb koncentrációjuk pedig a mikroorganizmusokra toxikus hatású. A Monod-egyenlet szerint a szaporodás sebessége a szubsztrátumkoncentráció növekedésével egyidejűleg nő.

A toxikus hatásokat a szubsztrát inhibíciós függvény [Haldane-, Andrews-függvény; Öllős, 1991, 603. oldal, (545) egyenlet] veszi figyelembe (*48/b ábra;* Andrews, 1989). Ez a függvény a szervesanyag-túlterhelés és a hidraulikai túlterhelés okozta folyamatzavarok *előrejelzésére* egyaránt alkalmas. A fajlagos szaporodási sebességértékek egy része két különböző szubsztrátumkoncentráció esetében is fenntartható. A két koncentráció közül *a nagyobbik, folyamatos áramlású reaktor esetében, instabil állapotot képvisel.*



48/c ábra



48/d ábra

48/a–d ábra. Folyamatzavarok előrejelzése. *a:* teljes keverésű reaktor üzemzavara hidraulikai túlterheléskor; *b:* szubsztrátum-inhibíciós függvénykapcsolatok; *c:* a pH hatása a szubsztrátum-inhibíciós folyamatra; *d:* a fajlagos szaporodási sebesség és a hőmérséklet kapcsolata

3. A pH, a szubsztrátum inhibíciós függvény és a fajlagos szaporodási sebesség közötti kapcsolat (a pH hatása a szubsztrátum inhibíciós függvényre) a *48/c ábrán* (Andrews, 1989) látható: a kis pH-értékek az inhibitorhatást nagymértékben növelik, mert *a pH ezen tartományában az ionizált savkoncentráció jóval nagyobb mértékű.*

4. A *hőmérséklet* hatása a szaporodási sebességre a *48/d ábrán* értelmezhető (Andrews, 1989): μ a maximális fajlagos szaporodási sebesség, $1/d$; K_d a mikroorganizmusok elhalási sebessége, $1/d$. *A nettó szaporodási sebességgörbe [$(\mu - K_d)$-görbe] maximuma kb. 60 °C-nál van, és közelítőleg 70 °C-nál éri el a zéró értéket.*

Ezen példákból az üzemeltető számára hangsúlyozzuk, hogy „toxicitás", „inhibíció" alatt nem feltétlenül ipari eredetű szennyvizekre, ipari eredetű szennyező anyagokra kell gondolni. *Az „inhibíció" sokféle eredetű és sokféle formában jelentkezhet. Ezért elengedhetetlen a szakszerű üzemeltetés.* (Ezt bizonyítja a következő, 3.1.3.17. fejezet is.)

3.1.3.17. TOXICITÁS

A szerves és a szervetlen anyagokat, melyek a metántermelő baktériumokra toxikusak, a nyers iszapból el kell távolítani, vagy olyan vegyszereket kell adagolni, amelyek a toxikus hatásokat a kellő szintre csökkentik. A szerves toxikus anyagok rendszerint nem társulnak a szennyvíziszapokhoz.

A kationok az anaerob baktériumok sebességreakcióit nagyobb mértékben befolyásolhatják, mint a szervesanyag-koncentrációk.

Az ammónia, amely a baktériumok számára fontos nitrogénforrás, az iszap szerves anyaginak anaerob stabilizálása közben felszabadul. Az ammónia lehetséges hatásai az iszap anaerob stabilizálására a következő adatok alapján érzékelhetők (McCarty, 1964):

Ammónia- (mint N-) koncentráció, mg/l	Hatás
50– 200	Hasznos
200–1000	Nincsenek ártalmas hatások
1500–3000	Inhibitorhatás a pH>7,4–7,6 tartományban
>3000	Toxikus

Az üzemeltetőnek azonban szem előtt kell tartani, hogy a >1250 mg/l ammóniakoncentrációk nagy szervesanyag-koncentrációk, és magas pH esetében hibás üzemet eredményeznek. De kis szervesanyag-koncentrációk és közelítőleg semleges pH esetében az 5000 mg/l ammóniakoncentrációk is elviselhetők.

Az ammóniumion (NH_4^+) az anaerob rendszerre toxikus.

A pH az ammóniatoxicitás megítéléséhez mindig figyelembe veendő.

A szulfidok az anaerob rendszerben 200 mg/l felett, közel semleges pH esetében toxikusak lehetnek; 50–100 mg/l között elviselhetők.

A szulfidok az anaerob rendszerbe az iszap komponenseként, a szulfátok biológiai redukciójával, vagy a kéntartalmú proteinek degradálódásával jutnak be. A szulfidok bizonyos mennyisége hidrogén-szulfid-gáz formájában hagyja el a rendszert, más részük, ha nehéz fémek vannak jelen, nehéz fémsók formájában kicsapódik. A szulfidok bizonyos mennyisége ionizált, oldott formában gyenge savként marad jelen, az oldat pH-jától függően.

Ha a szulfid fölös mennyiségben van jelen, a fémionok redukálódnak. A szokásos nehézfémek közül csak a króm és az alumínium nem hoz létre oldhatatlan szulfidokat és ezek közül csak a króm toxikus. A szulfid adagolása a rothasztóban – a króm kivételével – a nehézfémek detoxifikációját okozza.

A szulfát csak akkor hatékony, ha az szulfiddá redukálódik. Normális körülmények között ez a redukálás a rothasztóban könnyen létrejön. A szennyvíz szulfáttartalmának azonban csak kb. 0,5%-a jut a rothasztóba, 99,5%-a az elő- és utóülepítő elfolyásában marad (Masselli et al., 1967). Ezért, számos esetben, a szulfát mennyisége a rothasztóban elégtelen a lökésszerű fémterhelés detoxifikálásához.

Számos településen, ahol a csatornahálózatbeli áramlási sebesség kicsi, a hőmérséklet magas, a transzportálási idő hosszú, a csatornahálózatban könnyen anaerob állapot jön létre és a szulfát szulfiddá redukálódik. Így *a fémek már a csatornahálózatban detoxifikálódnak*, mielőtt a szennyvíz a szennyvíztisztító telepre érkezik (Masselli et al., 1967).

A szulfid adagolása a rothasztóba jótékony hatásúnak bizonyul. Ha a szulfidadagolás a szaturációs (telített) szintet eléri, minden toxikus fém – kivéve a króm – detoxifikálttá válik és nem toxikus, oldhatatlan, de mint aktív szulfid (mint ferroszulfid) akkumulálódik. Ez a rendelkezésre álló szulfid hasznos, hiszen a rothasztót érő új, lökésszerű, toxikus terhelésből származó fémeket automatikusan detoxifikálja. *Ezáltal aktív gázképződés jön létre.*

A nehézfémek az anaerob baktériumokra toxikusak lehetnek. A hatvegyértékű króm anaerob miliőben háromvegyértékűvé redukálódik, ami közelítőleg semleges pH-értéken viszonylag oldhatatlan. A nehézfémek, amelyek a baktériumokra meglehetősen toxikusak (viszonylag kis koncentrációjuk esetében is): a réz, a cink és a nikkel. A vas és az alumínium semleges pH-értéken viszonylag oldhatatlanok, ezért nem toxikusak.

A réz, a cink és a nikkel toxicitása redukálható, ha reakcióba lépnek és csapadékot képeznek (mint fémszulfidok), amelyek semleges pH-n és redukált miliőben lényegében oldhatatlanok.

Amint a pH csökken, az oldott fémionok koncentrációi nőni kezdenek és a baktériumokra toxikus hatásuk jelentkezik.

A toxikus anyagok lehetséges szabályozási módjai:

1. A toxikus anyag koncentrációjának hígítása a toxikus szint alá.
2. Vegyszeradagolás a toxikus anyag neutralizálására.
3. Vegyszeradagolás, amelynek hatására a toxikus anyag az oldatból csapadékká alakul.

Az 1–3. pont alatti megoldásokkal a toxikus hatások ugyan kiküszöbölhetők, mégis általános, elsősorban szem előtt tartandó szabály:

4. *A toxikus anyagok szennyvízbe jutását kell megakadályozni. A szabályozást tehát azok keletkezési helyén, a forrásnál célszerű beiktatni.*

Ha oldható toxikus nehézfémek vannak jelen, nátrium-szulfid (Na_2S) adagolható, ami nem toxikus, oldhatatlan nehézfém szulfidvegyületek keletkezését eredményezi. A rothasztó sok vonatkozásban az élőlényekhez hasonló: valamiből kis mennyiség nagyon hasznos lehet a rothasztó számára, de túl sok azonban toxikus lehet (*18. táblázat;* Brady és Garber, 1988).

18. táblázat. A vegyületek jótékony és toxikus koncentrációja a rothasztás folyamataira

Vegyület, mg/l	Jótékony hatás	Mérsékelten inhibitorhatás	Toxikus hatás
Ammónia-nitrogén	50–200	1500–3000*	3 000
Kalcium	100–200	2500–4500	8 000
Magnézium	75–150	1000–1500	3 000
Kálium	200–400	2500–4500	12 000
Nátrium	100–200	3500–5500	8 000

Megjegyzés:
* Toxikus magas pH-tartományban.

Az anaerob iszapstabilizálás további szabályozási stratégiái például Öllős, 1991, 6.14. fejezetében találhatók.

3.1.3.18. A ROTHASZTÓHATÉKONYSÁG INDIKÁTORAI

Az üzemeltető a rothasztó hatékonyságát jelző indikátorokat, mivel azok bonyolult folyamatokhoz kapcsolódnak, egyszerűen általános formában nem tudja megítélni, hanem *azokat speciális folyamatokhoz kell hozzárendelnie.*

A kiegyensúlyozatlan anaerob rendszerre *általánosságban*

– a szén-dioxid-koncentráció növekedése,
– a rothasztógáz metánhányadának csökkenése,
– az illékony savak koncentrációjának növekedése,
– a napi gáztermelés-csökkenés és
– a pH-csökkenés jellemző.

Az anaerob iszapstabilizáló rendszer *átmeneti kiegyensúlyozatlanságát*

– a hőmérséklet,
– szervesanyag-terhelés és/vagy
– az iszapminőség

hirtelen változása okozhatja. Az ilyen típusú kiegyensúlyozatlanság általában megszüntethető, ha a baktériumoknak elegendő időt biztosítunk az új környezeti feltételekhez való alkalmazkodáshoz.

Meghosszabbodott vagy viszonylag állandósult kiegyensúlyozatlanságot

– a metántermelő baktériumokra toxikus anyagok rothasztóba kerülése és/vagy
– a pH szélsőséges csökkenése okozhat.

Az ilyen típusú kiegyensúlyozatlanság gyakran az új rothasztó beindításakor jelentkezik, hiszen a kezdeti időszakban a metántermelő baktériumok megfelelő elszaporodásához, tehát az illékony savak metánná és szén-dioxiddá alakításához elegendő idő kell. A rothasztó beindításakor a pH csökken, amit a metántermelő baktériumoknak tolerálni kell.

Ha a viszonylag állandósult kiegyensúlyozatlanságot toxikus vegyületek okozzák, akkor a toxikus vegyületeket kell eltávolítani.

Ha a hosszú idejű kiegyensúlyozatlanságot a pH szélsőséges csökkenése okozza, akkor a helyrehozáshoz elegendő idő és közelítőleg semleges pH-állapot beszabályozása szükséges.

Az anaerob környezetet jellemző különböző kémiai paraméterek közvetlenül vagy közvetve egymást befolyásolják. Ezért az üzemeltetőnek tisztában kell lenni azzal, hogy a paraméterek egymást befolyásoló folyamatainak ismerete, a pH, a lúgosság, az illékonysav-koncentrációk, a szén-dioxid-koncentráció, a gátló és serkentő anyagok koncentrációjának pontos meghatározása elengedhetetlen. Azt is tudni kell, hogy *egyetlen paraméter sincs, amely elkülöníthető és a rothasztás legjobb indikátorának tekinthető.* Annál is inkább ez a helyzet, mert az anaerob miliő jól pufferolt, így a pH önmagában a megfelelő miliő indikátorának nem tekinthető.

3.1.3.19. A ROTHASZTÓ TISZTÍTÁSA

Ideális körülmények között, vagyis

– tökéletes keverés,
– a zsír és a homok akkumulálódása nélkül a rothasztó teljes térfogata kihasználható. Ilyen ideális állapot azonban ritkán létezik. Amint az akkumulálódott zsír és a homok (grit) térfogata nő, a rothasztó hatékony térfogata csökken. *Például:* 8 év után csak 2/3 rothasztótérfogat állhat rendelkezésre a rothasztáshoz. Így, ha a rothasztó tartózkodási ideje eredetileg 30 nap, az 8 év után csupán 20 nap. A csökkenés, ha a rothasztó tisztítása elmarad, az illékony szilárd anyagok lebontódásának csökkenésére, kevesebb gáz termelődésére és végül a sikertelen rothasztásra vezet.

A tisztítás időpontját mint igényt számos tényező befolyásolja:

1. A keverés típusa és mértéke.
2. A zsír és a homok akkumulálódási mértéke, időbeli folyamata.
3. A rothasztó alakja.
4. A rothasztón belüli berendezések üzemeltetésének hatékonysága.
5. Az iszap minősége, fajtája.

A rothasztók normál tisztításának intervalluma 3–8 év közé esik, az előző tényezők hatásától függően.

6–12 hónaponként az akkumulálódott szilárd anyag és a hab vastagságát meg kell mérni.

Általános szabály az üzemeltető számára: *ha a rothasztó hasznos térfogatának 1/3-a feltöltődött, vagy ha a rothasztás hatékonysága csökkenni kezd, a rothasztót tisztítani kell.*

Ha a tisztítótelepen *csak egy rothasztó létezik*, akkor a rothasztó tisztításának időszakában

– az iszap szomszédos tisztítótelepre szállítható,
– időlegesen az eleveniszapos medence aerob iszapstabilizáló medenceként üzemeltethető,
– időlegesen anaerob lagúna létesítése szükséges,
– az iszapot az előülepítőkben kell tartani, miközben a szennyvizet szállító csatornarendszer üzemét fenn kell tartani. Ez utóbbi esetben súlyos szagproblémák, ill. felszíni és felszín alatti befogadószennyeződések jelentkezhetnek.

Tisztításkor a rothasztóból kiszivattyúzott iszapot zömmel

– homok,
– zsír,
– egyéb, nagyobb sűrűségű szilárd anyagok és
– szálas anyagok

alkotják. Elhelyezése az üzemeltetőnek speciális megfontolásokat, ill. megoldásokat igényel:

– közvetlenül feltöltésbe szállítható,
– iszapágyra (ami tavas tározás is lehet), majd szikkasztás után feltöltésbe kerülhet.

Tekintettel kell lenni arra is, hogy az iszap a benne lévő nagy mennyiségű zsír, homok és a szagveszély miatt speciális szállítóberendezést igényel.

A rothasztótisztítási módok három fő csoportba sorolhatók:

1. Gravitációs elvezetés az elhelyezési területre.
2. Szivattyúzás az elhelyezési területre.
3. Szivattyúzás tartálykocsiba távoli elhelyezés esetén.

3.1.3.20. BIZTONSÁG A TISZTÍTÁSNÁL

A rothasztó tisztításakor az üzemeltetőnek a következő biztonsági rendszabályok betartásáról kell gondoskodni:

1. A rothasztó üzemének leállításakor a gázgyűjtő vezeték lezárása, megfelelő szellőztetése.
2. A robbanási állapotok kiküszöböléséről méréssel kell meggyőződni.

3. A rothasztóba való bemenetel előtt a rothasztótér oxigén- és toxikus gáztartalmát ellenőrizni kell.

4. Megfelelő ventiláció szükséges, folyamatosan.

5. A rothasztóban mindig robbanásbiztos motort és elektromos berendezéseket kell alkalmazni.

6. Soha ne menjünk be a rothasztóba egyedül. Általános szabály: minden rothasztóban lévő személyre két ember felügyeljen a rothasztó tetején.

3.1.3.21. A NAGYTERHELÉSŰ ROTHASZTÓ ÜZEMELTETÉSI ZAVARAI, KIKÜSZÖBÖLÉSÜK LEHETSÉGES MÓDJAI

(Culp és Heim, 1978, EPA–430/9–78–001; Solti, 1993; Szilágyi, 1983; Szombati, 1994)

19. táblázat

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
1. Illékony savak/lúgosság-arány nő	1a Hidraulikai túlterhelés, infiltráció, túlszivatytyúzás, túlzott mértékű iszapelvétel	1a Napi kétszer mérni kell, amíg a probléma kiküszöbölődik: – illékony savakat, – lúgosságot, – hőmérsékletet	1a Ha az arány 0,3-re nő: (1) Oltóiszap adagolása a második lépcsőből (2) Iszapelvételi mérték csökkentése, hogy az oltóiszap a rothasztóban maradjon és/vagy (3) Keverési idő hosszabbítása (4) Iszaphőmérséklet ellenőrzése és a fűtés szabályozása, ha szükséges
	1b Szervesanyag-túlterhelés	1b Ellenőrzendő a szivattyúzott iszaptérfogat, a betáplált iszap illékony szilárdanyag-mennyisége, a szippantott szennyvíz telepre táplált mennyiségének növekedése és az ipari szennyvizek	1b Lásd 1a

19. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
	1c Toxikus szennyvizek (nehézfémek, szulfidok, ammónia) rothasztóba táplálása	1c Illékony savak, pH, gáztermelés	1c Valamely, vagy kombinációs megoldás: (1) Iszaprecirkuláció (2) Folyadékhígítás (3) Betáplálás koncentráció csökkentése (4) Nehézfémek kicsapatása kénvegyülettel. Meggyőződés, hogy a pH a rothasztóban >7,0 (5) Szulfidok kicsapatása vassókkal (6) Ipari szennyvizek keletkezési helyén szabályozási program alkalmazása
2. A rothasztógáz CO_2-tartalma nőni kezd	2a Illékony savak/lúgosság-arány 0,5-re nőtt	2a Gázösszetétel mérése	2a Lásd 1. és meg kell kezdeni a lúgosságot adagolni (az illékony savak mennyisége alapján kiszámítva) 2b Betáplálás csökkentendő. A recirkulációt be kell indítani
3. pH csökkenni kezd és a CO_2 addig nő (42–45%), míg az éghető gáz termelődése megszűnik	3a Illékony savak/lúgosság-arány növekedése Pufferkapacitás csökkenése	3a pH és az illékonysav-tartalom mérése. Lúgosság mérése 3b Hidrogén-szulfid záptojásszag 3c Avas vajszag	3a Lúgosság adagolása 3b Illékony savak/lúgosságarányt csökkenteni kell 3c Rátáplálás csökkentése vagy megszüntetése 3d Recirkuláció beindítása
4. A rothasztóba visszavezetett iszapvíz- (szupernatant) minőség gyenge, a rothasztó üzeme felborul	4a Intenzív keverés és elégtelen ülepítési idő 4b Az iszapvízelvétel szintje nem az iszapvízrétegből származik	4a Minták vétele, ülepedés ellenőrzése 4b Iszapvízréteg mélysége ellenőrzendő, különböző pontokon vett minták alapján	4a Hosszabb ülepítési idő, az iszapvíz (szupernatant) visszavezetése előtt 4b Üzemelési szint, vagy az iszapelvezető cső szintjének megváltoztatása

19. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
	4c Nyersiszap-betáplálási pont és az iszapvíz-elvezető cső túl közel vannak egymáshoz	4c Illékony szilárd-anyag-tartalom meghatározása. Ennek a jól kevert iszap illékony szilárd-anyag-tartalmához közel kell esni, de a nyers iszapénál lényegesen kevesebb kell legyen	4c Amikor a rothasztó leüríthető, azonnali cső-ellenőrzés
	4d Visszavezetett rothasztott iszap mennyisége elégtelen	4d Táplálás és visszavezetés mértéke összehasonlítandó, illékony anyagok ellenőrzendők (hogy kiderüljön, az jól rothasztott-e?)	4d Az iszapvisszavezetési mérték növelése. A visszavezetés a rothasztó napi térfogatának 5%-át nem lépheti át
			4e A porszénadagolás lehetőségének felülvizsgálata
5. Az iszapvíz savanyú szagú (származzon az első vagy a második rothasztási lépcsőből)	5a A rothasztó pH-ja túl alacsony	5a Lásd mint 3.	5a Lásd mint 3.
	5b Túlterhelt rothasztó (záptojás-szag)	5b Lásd mint 3.	5b Lásd mint 3.
	5c Toxikus terhelés, avas vajszag	5c Lásd mint 1c	5c Lásd mint 1c
6. Hab jelentkezik az iszapvízben (szupernatant), az első rothasztólépcsőben vagy az egylépcsős rothasztóban	6a Iszapfelhő szétoszlik	6a Iszapfelhő állapota ellenőrzendő	6a Normál állapot, de az iszapvíz-visszavezetést, ha lehet, szüneteltetni kell
	6b Túlzott gázrecirkulálás		6b Kompresszorteljesítmény csökkentése
	6c Szervesanyag-túlterhelés	6c Illékonyanyag-terhelési arány	6c Betáplálási mérték csökkentése
7. Fenékiszap víztartalma magas, vagy az elvételi ponton túl híg	7a Rövidzárlat	7a Elvételi vezetéket az iszapvízzónához kell igazítani	7a Feneken lévő elvezető-vezeték helyének változtatása

19. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
	7b Túlzott keverés	7b Mintát kell venni és az ülepítőhengerben a koncentrációkat meg kell vizsgálni	7b Keverés leállítása 24–48 órára, az iszapelvételt megelőzően
	7c Az iszap kúpos térbe halmozódása, így a könnyebb iszap a szivattyú szívóhatása alá kerül	7c Teljes szilárdanyag-vizsgálat vagy vizuális megfigyelés	7c (1) A szivattyú 2- vagy 3-szori indítása, majd leállítása (2) A rothasztótartalom visszaforgatása (3) Ha lehetséges, vízcső csatlakoztatandó a szivattyú szívócsövébe és abba vizet kell bevezetni, 2–3 min-on keresztül (nem hosszabb időn át, nehogy a rothasztóban hígulás jöjjön létre)
8. Az iszap hőmérséklete csökken, és nem tartható fenn normál szinten	8a Az iszapot külső hőcserélőn át kell vezetni	8a Bevezető- és elvezetőcső ellenőrzése	8a Hőcserélő kinyitása és tisztítása
	8b Iszaprecirkuláció-vezeték részben vagy teljesen eltömődik	8b Szivattyú be- és elvezetőnyomás ellenőrzendő	8b (1) A vezeték visszamosatása hőkezelt rothasztóiszappal (2) Mechanikai tisztító alkalmazása (3) Víznyomás alkalmazása (4) Triszodium-foszfát vagy kereskedelmi zsírtalanító adagolása
	8c Elégtelen keverés	8c A hőmérséklet-profil ellenőrzése a rothasztóban	8c Keverési mérték növelése
	8d Fűtési-keverési rendszer hibája	8d Bevezetett iszap koncentrációja	8d Szükséges javítások elvégzése
	8e Hidraulikai túlterhelés		8e Lásd 1a

19. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
9. Az iszap hőmérséklete emelkedik	9. A hőmérséklet-szabályozó üzeme tökéletlen	9. Vízhőmérséklet és -szabályozó ellenőrzése	9. Szabályozó javítása
10. Recirkulációs szivattyú nem működik; elektromos rendszer rendben van	10. Hőmérséklet túlszalad a szivattyút védő vízrecirkulációs rendszerben	10. Vizuális megfigyelés; az iszapvezetékben ne legyen nyomás	10a A rendszert hagyni kell lehűlni 10b Hőmérséklet-szabályozó rendszer ellenőrzése
11. Gázkeverő táplálócsövek	11a A gázvezetékben nincs áramlás	11a A gáztápláló cső alacsony hőmérsékletének vagy a manométerbeli alacsony nyomás identifikálása	11a Kimosatás vízzel
	11b Törmelék anyagok a gázvezetékben		11b Táplálóvezetékek és/vagy szelepek tisztítása
12. Az iszapfelhő forgó mozgása gyenge vagy hiányzik	12a Keverő üzemen kívül van	12a Keverőkapcsoló	12a Normális lehet, ha a keverők időkapcsolóval üzemelnek. Ha nem, és a keverőket üzembe kell helyezni, a hibás üzem ellenőrzése
	12b Elégtelen keverés		12b Keverési mérték növelése
	12c Iszapfelhő túl vastag	12c Iszapfelhő-vastagság meghatározása	
13. Iszapfelhő túl magas szintű	13. Iszapvíztúlfolyó eltömődik	13. Gőznyomás ellenőrzése, ami normális lehet, vagy a tehermentesítő szelep az atmoszféra felé szelelhet	13. Az iszap alul csapolandó

19. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
14. Iszapfelhő túl vastag	14. Keverés hiánya, nagy zsírtartalom	14. Iszapfelhő-vastagság vizsgálata	14a Iszapfelhő feltörése keverőkkel 14b Iszaprecirkulációs szivattyúk alkalmazása, az iszap iszapfelhő fölé vezetése 14c Vegyszer alkalmazása 14d A felhő feltörése bottal 14e Rothasztótartály módosítása
15. A rothasztó nyomása normális feletti	15. Eldugulás, vagy víz van a fő égetőgázvezetékben	15. Ha minden géphasználati pont üzemel és normális, akkor eltömődés vizsgálandó	15. Vízzel tisztítás, kondenzációs vízzár drénezése, alacsony helyek ellenőrzése. Levegőt nem szabad a rothasztóba benyomni
16. A manométer mutatja, hogy a rothasztógáz nyomása a normális alatti	16a Túl gyors iszapelvételkor a rothasztóban vákuum keletkezik	16a Vákuumszabályozó szelep ellenőrzése, hogy megfelelően működik-e?	16a Iszapvíz-elvezetés megszüntetése, minden gázelvezető hely lezárása, amíg a normális rothasztóbeli nyomás létrejön
	16b Túl sok mész adagolása	16b A rothasztógáz CO_2-tartalmának gyors növekedése	16b Mészadagolás megszüntetése, keverés fokozása
17. A nyomásszabályozó szelep nem nyílik, ahogy a nyomás nő	17a Inflexibilis membrán	17a Szelep izolálása, fedél felnyitása	17a Ha nincs nyílás (szappanoldatot használva), a membrán megkenhető
	17b Tönkrement membrán	17b Vizuális megfigyelés	17b Tönkrement membrán cserélendő
18. A gáznyomás a hideg évszakban magasabb a normálisnál	18a Iszapvezeték eltömődött	18a Iszapvíz-túlfolyó vezetékek	18a A hideg időszakban 2 óránként ellenőrizni az állapotokat (az injektáló gőzt; a vezetékeket burkolással kell védeni a hideg ellen)
	18b Nyomáscsökkentő elromlott vagy zárt		

19. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
19. A gáznyomás alacsonyabb a normálisnál	19a Nyomáscsökkentő szelep, vagy egyéb nyomásszabályozó berendezések elromlottak	19a Nyomáscsökkentő szelepek és berendezések	19a Vákuumszabályozó kézi működtetése, korrózió megszüntetése (ami az üzemelést befolyásolja)
	19b Gázvezeték vagy tömlő lyukas	19b Gázvezeték és/vagy tömlő	19b Javítás az igények szerint
20. Gáztermelés csökkenése	20a Hőmérséklet-ingadozás, csökkenése	20a Hőmérséklet-ellenőrzés	20a A hőmérsékletet az előírt érték, ±0,5 °C értéken tartani, különös figyelemmel az iszap betáplálásakor keletkező hőveszteségre (ha nincs előmelegítés)
	20b pH-érték lecsökken	20b Laborvizsgálat (pH, illékony sav meghatározása)	20b Az iszap keverése a rothasztóban fokozandó. Nátrium-, káliumkarbonát, mésztej adagolása a nyers iszaphoz a szervesanyagtartalom függvényében. (Lassan és részletekben.) A rothasztó szervesanyag-terhelésének csökkentése, a tározókodási idő növelése. Recirkuláció beindítása
	20c pH-érték növekedett	20c Laborvizsgálat	20c Mésztej adagolásakor fokozott figyelmet fordítani a keverésre, az egyenlő eloszlásra. A helyenként akkumulálandó lúgos anyag további mikroorganizmus-pusztulást okoz. A mész hatására a CO_2 csökken és a pH nő
	20d Nagy mennyiségű iszapelvétel	20d Labormérés (szerves anyag)	20d Szervesanyag- (nyersiszap-) betáplálást csökkenteni. Iszapelvételt átmenetileg szüneteltetni

19. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
	20e Illékony savak növekedése	20e Laborvizsgálat	20e Szervesanyag-betáplálás csökkentése, átmeneti szüneteltetése
	20f CO_2-növekedés (NH_4^+-csökkenés)	20f Laborvizsgálat (gázelemzés)	20f Hőmérséklet-ingadozás megszüntetése
	20g Toxikus anyag hatása (pl. szulfidok)	20g Laborvizsgálat	20g Ipari kibocsátóknál a mérgező hely felderítése, kizárása. Ha lehetséges, semlegesítése
	20h Oldott állapotú nehézfémek a szennyvízben, ill. iszapban (réz, nikkel, cink)	20h Laborvizsgálat	20h Mint előzőnél
21. Dugulás csővezetékekben, szivattyúkban, hőcserélőkben	21. Nem szerves (szintetikus) szálas anyagok, homok a rothasztóban	21. Szétszerelés	21. A dugulást okozó anyag eltávolítása. Rács, homokfogó állapotának felülvizsgálata, szükség szerinti javítása
22. A hasznos rothasztótér csökken	22. Az úszókéreg növekszik, sok az iszappal betáplált víz, sok a kirothadt iszap	22. Labormérés	22. Úszókéreg-eltávolítás, iszapsűrítés, kirothadt iszap elvétele
23. Úszókéreg-kialakulás, dugulás	23. Nagy mennyiségű zsiradék, műanyagok. Rossz hatásfokú keverés. Rossz hatásfokú uszadéktörés	23. Labormérés, vizuális kémlelés	23. Úszókéreg folyamatos eltávolítása, keverés, feltörés fokozása
24. Illékonysavtartalom nő, pH csökken	24. Nem megfelelő a keverés, híg a betáplált iszap	24. Labormérés	24. Intenzív keverés, a betáplált iszapkoncentráció növelése
25. Az anaerob fermentáció leáll	25. Határérték feletti toxikus anyagok	25. Labormérés	25. Toxikus anyagok határérték felett nem vezethetők a rothasztóba

19. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
26. Gázelszökés-gyanú a betontetőn át	26. Fagyás, olvadás, amely a repedések növekedését eredményezi	26. Szappanoldat alkalmazása a gyanús helyeken, buborékok ellenőrzése	26. Ha a probléma súlyos, a tartály leürítése, a nyílások kitisztítása és betonnal javítása, a javítás alatt alapos szellőztetéssel
27. Beüzemelésnél lassan indul meg a gázfejlődés	27. A metántermelő baktériumok aránya az összbaktériumok számához képest kevés	27. Gáztermelés mérése	27a Az oltóiszap mennyiségét növelni kell 27b Be kell indítani az utórothasztóból a recirkulációt
28. Gépészeti berendezések (szivattyúk) indokolatlanul gyors kopása	28. Az iszap nagy homoktartalma	28. Iszap szervetlen hányadának ellenőrzése	28. Homokfogó hatásfokának javítása
29. Elzárószerelvény nem üzemképes	29. Darabos anyag (pl. a söröskupak) került a tolózár nyelve alá	29. Elemzés	29. Áramlás létrehozásával kell eltávolítani
30. Mamutszivattyú nem üzemképes	30. Vízszint túl alacsony a rothasztóban. Mamutszivatytyú nem kap gázt	30a Mérés 30b Szemrevételezés	30a Rothasztó feltöltése a tervezett szintre 30b Ok megszüntetése
31. Mamutszivattyú nem kap gázt	31a Kompresszor nem üzemel 31b Dugulás a gázvezetéken	31a Szemrevételezés 31b Mérés	31a Ok megszüntetése 31b Dugulás megszüntetése
32. Kompresszor nem üzemel	32. Villamos, gépészeti probléma	32. Vizsgálat	32. Hiba okának megszüntetése

Megjegyzés:

Külön is hangsúlyozni célszerű, hogy a rothasztók üzemeltetésekor a zavarok nagyon sok esetben a dugulások, a vízszint bizonytalan méréséből, túltöltésből, esetleg hibás keverésből származnak.

3.1.3.22. KÉRDÉSEK

1. Mit értünk anaerob iszapstabilizálás alatt? (3. fejezet.)
2. Mit értünk aerob iszapstabilizálás alatt? (3. és 3.2. fejezet.)
3. Miért kell a szennyvíziszapot stabilizálni? (3. fejezet; *31. ábra.*)
4. Az anaerob iszapstabilizálás (rothasztás) anyagcsere-folyamatai. (3.1.1.1. fejezet.)
5. Miért fontos a sav- és metántermelő folyamatok egyensúlyát fenntartani? (3.1.1.3. fejezet.)
6. Mi a keverés szerepe? (3.1.1.4. és 3.1.3.2. fejezet.)
7. Mi a hőmérséklet szerepe a rothasztásban? (3.1.1.5. fejezet.)
8. Oldómedencék iszapstabilizáló folymatai. (3.1.2. fejezet.)
9. Fűtött anaerob iszapstabilizáló rendszerek. (3.1.3. fejezet.)
10. Miért kell a rothasztók fenekét lejtősen kialakítani? (3.1.3. fejezet.)
11. Keverési módok. (3.1.3.2. fejezet.)
12. Miként indítható be a fűtött rothasztó? (3.1.3.5. fejezet.)
13. Mi a rothasztótáplálás szerepe a rothasztási folyamatok alakításában? (3.1.3.6. fejezet.)
14. Melyek a rothasztó egyensúlyban tartásának feltételei? (3.1.3.7. fejezet.)
15. Melyek a pH-szabályozás lehetséges módjai? (3.1.3.8. fejezet.)
16. Miként neutralizálható a savas reaktor? (3.1.3.9. fejezet.)
17. Melyek a neutralizáló vegyszerek hatásai? (3.1.3.10. fejezet.)
18. Mi a nyers iszap, a felúszott iszap és a fölösiszap? (3.1.3.4. fejezet.)
19. Mi történik, ha túl sok iszapot adagolunk a rothasztóba? (3.1.3.5. és 3.1.3.6. fejezet.)
20. Mi okozza a rothasztóbeli hab képződését? (3.1.3.11. fejezet.)
21. Miért veszélyes a rothasztót beindítani, ha még nem teljesen feltöltött? (3.1.3.12. fejezet.)
22. Miért nem szivattyúzható híg iszap a rothasztóba? (3.1.3.6. fejezet.)
23. Melyek a habszabályozás módjai? (3.1.3.11 fejezet.)
24. Két önálló rothasztóval rendelkező szennyvíztisztító rendszer jellemzése. (3.1.3.13. fejezet; *45. ábra.*)
25. Mi a szerepe a második rothasztónak? (3.1.3.13 fejezet.)
26. Ha nyers iszapot szivattyúzunk az első rothasztóba, mi történik a második rothasztóban? (3.1.3.13. fejezet.)
27. Mi a szerepe a mészadagolásnak a rothasztóban? (3.1.3.8. és 3.1.3.9. fejezet.)
28. Miért nem égethető el a kezdetben termelődő gáz? (3.1.3.12.fejezet.)
29. Miként választható meg az iszapvízelvétel mértéke? (3.1.3.13 fejezet.)
30. Miként választandó meg az iszapelvétel mértéke; miért szükséges az iszapot lassan kivenni a rothasztóból? (3.1.3.13. fejezet.)
31. Miért alapvető az illékony sav/lúgosság-kapcsolat? (3.1.3.14. fejezet.)
32. Mit kell tenni, ha az illékony sav/lúgosság-arány nőni kezd? (3.1.3.14. fejezet.)
33. Miért gyenge paraméter a pH a rothasztóüzem megítéléséhez? (3.1.3.14. fejezet.)
34. Milyen toxikus hatások jelentkezhetnek a rothasztóban? (3.1.3.17. fejezet.)
35. Melyek a rothasztóhatékonyság indikátorai? (3.1.3.18. fejezet.)
36. Miként ismerhetők fel a rothasztóüzem zavarai, és miként korrigálhatók, mielőtt a zavar súlyossá válik? (3.1.3.15. és 3.1.3.16. fejezet.)
37. Miként kell az iszapot a rothasztóba táplálni? (3.1.3.6. fejezet.)
38. Miként dönthető el, hogy a rothasztót tisztítani kell? (3.1.3.19. fejezet.)
39. Biztonság a rothasztó tisztításakor. (3.1.3.20. fejezet.)
40. Mit értünk „toxicitás", „inhibíció" alatt? (3.1.3.16. és 3.1.3.17. fejezet.)

3.2. AEROB ISZAPSTABILIZÁLÁS

Az aerob és anaerob iszapstabilizálás összehasonlítása a 3. fejezetben részletesen adott *(30/a–b ábra)*.

Az aerob iszapstabilizálás általában a következő iszapokra vonatkozhat:

1. Fölösiszap.
2. Fölös eleveniszap vagy csepegtetőtestes rendszerből származó humusziszap és előülepítő iszap keveréke (kevert iszap).
3. Huzamos idejű levegőztetőtelepről származó fölösiszap (pl. teljes oxidáció).

Az aerob iszapstabilizálás alkalmazása az utóbi időben a nagyobb telepeken is terjed. Amikor a *biológiai tisztítás utáni önálló iszapstabilizálás* kerül szóba, a biológiai iszap aerob stabilizálása is elfogadott megoldás.

Az önálló aerob iszapstabilizáló reaktor célja az aerob biológiai tisztítórendszerből kikerülő eleveniszap olyan mértékű stabilizálása, hogy az elhelyezésekor szagemissziót ne okozzon.

Az üzemeltetési tapasztalatok azonban bizonyítják, hogy sem az aerob, sem az anaerob iszapstabilizálás nem képes az illékony anyagok teljes eltávolítására.

3.2.1. A FOLYAMATOK JELLEMZÉSE

Az aerob iszapstabilizálás az eleveniszapos tisztítási folyamathoz hasonló.

Amint a tápanyagok pótlása az iszapstabilizáló reaktorban megszűnik, a mikroorganizmusok saját protoplazmájukat kezdik felélni avégből, hogy a sejtfenntartási reakciókhoz energiához juthassanak. Ez a folyamat tehát az endogén fázisban játszódik le. (Az endogén fázis redukált szintű respirációt – légzést – jelent, amikor a saját sejtanyag oxidálása közben a baktériumok az általuk igényelt oxigénhez hozzájutnak.) Valójában a sejtanyagnak csak 75–80%-a oxidálható, a maradék 20–25%-ot inert anyagok és le nem bontható szerves vegyületek alkotják. Az ammónia ezen aerob oxidációból (stabilizációból) nitráttá alakul:

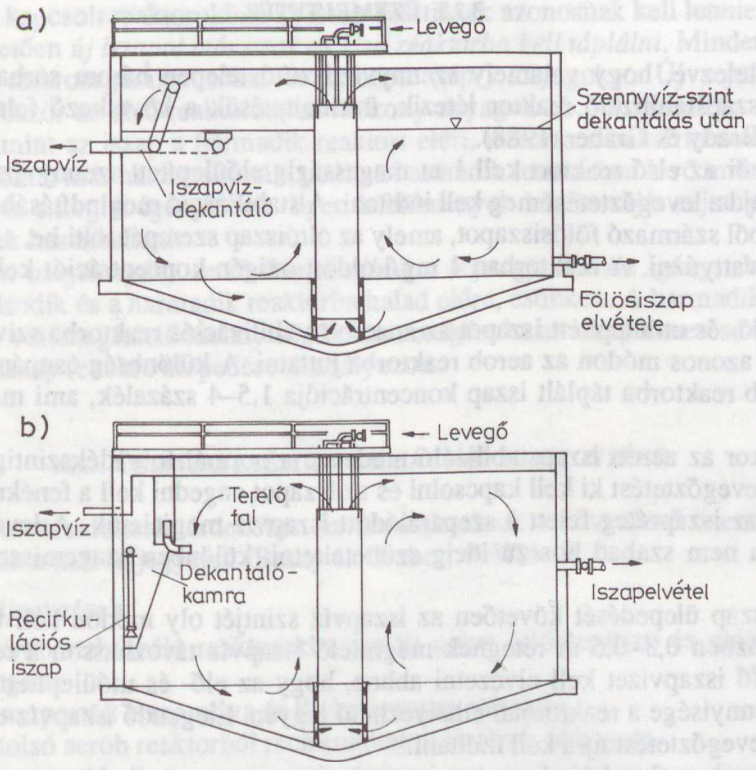
$$\underbrace{C_5H_7NO_2}_{\text{Sejt BOI}} + 7\,O_2 \rightarrow 5\,CO_2 + NO_3^- + 3\,H_2O + H^+ \qquad (21)$$

Amint a reakcióegyenlet érzékelteti, az ammónia nitráttá oxidálása pH-csökkenéssel járhat, ha a szennyvíz lúgossága az oldat pufferolásához elégtelen. Ilyen esetben a kívánt pH-szint fenntartásához vegyszeradagolás válhat szükségessé.

Az aerob iszapstabilizáló reaktor

– szakaszos (batch-) táplálású vagy
– folyamatos táplálású reaktor

lehet *(49/a–b ábra)*. Az aerob iszapstabilizáló reaktor kör alakú vagy négyszögletes, a klimatikus viszonyoktól függően fedéllel ellátott vagy a nélküli. Benne az iszapréteg vastagsága 6 m is lehet. A reaktor mechanikai vagy diffúzoros levegőztetésű. A tartózkodási idő az iszap eredetétől függ. 20 nap tartózkodási



49/a–b ábra. Az aerob iszapstabilizálás üzemelési módjai.
a: lombik- (batch-) üzemelés; *b:* folyamatos üzemelés

idő elegendő a huzamos idejű eleveniszapos rendszerből származó aerob stabilizálásához. Az ilyen iszap már eleve jól stabilizált. A kontakt eleveniszapos rendszerből származó iszap 20 napnál hosszabb tartózkodási időt igényel. Attól függően, hogy az aerob stabilizáló reaktor miként üzemeltetett, az iszapkor vagy az iszap tartózkodási ideje az elméleti hidraulikai tartózkodási idővel egyenlő vagy lényegesen hosszabb lehet. Ha a környező levegő hőmérséklete nagyon alacsony, az iszapot a stabilizáló reaktorban kell tartani a tavaszi meleg beköszöntéig.

A nyitott rothasztóbeli folyadékhőmérséklet elsősorban az időjárási viszonyoktól függ, ezért jelentősen fluktuál. Mint minden biológiai rendszer esetében, az alacsonyabb hőmérséklet a stabilizálási folyamatot lassítja, a magasabb hőmérséklet viszont gyorsítja. A hőmérsékleti hatások miatt, a hőveszteség minimalizálása céljából, betontartályt kell használni (acéltartály helyett). A felszín alatti levegőztetést előnyben kell részesíteni.

Az aerob iszapstabilizálás fő célja *az iszap mennyiségének csökkentése az elhelyezés szempontjából.*

3.2.2. ÜZEMELTETÉS

Feltételezve, hogy valamely szennyvíztisztító telepen három sorba kapcsolt aerob iszapstabilizáló reaktor létezik, üzemeltetésük a következő feladatokhoz kötött (Brady és Graber, 1988).

Először az első reaktort kell 1 m magasságig előülepített szennyvízzel feltölteni, majd a levegőztetést meg kell indítani. A stabilizáció megindításához az utóülepítőből származó fölösiszapot, amely az oltóiszap szerepét tölti be, a reaktorba kell szivattyúzni. A reaktorban 1 mg/l oldott oxigén koncentrációt kell fenntartani.

Az elő- és utóülepített iszapot az anaerob stabilizációs reaktorba szivattyúzással kell azonos módon az aerob reaktorba juttatni. A különbség csupán az, hogy az aerob reaktorba táplált iszap koncentrációja 1,5–4 százalék, ami már sűrített iszap.

Amikor az aerob iszapstabilizáló medence a normál folyadékszintig feltöltődött, a levegőztetést ki kell kapcsolni és az iszapot engedni kell a fenékre ülepedni. Így az iszapréteg felett a szeparálódott iszapvíz megjelenik. A levegőztetést azonban nem szabad hosszú ideig szüneteltetni, különben szagemisszió jelentkezik.

Az iszap ülepedését követően az iszapvíz szintjét oly módon kell beállítani, hogy közben 0,3–0,6 m rétegnek megfelelő iszapvíz távozhasson a reaktorból. Elegendő iszapvizet kell elvezetni ahhoz, hogy az elő- és utóülepített iszap 24 órás mennyisége a reaktorban elhelyezhető legyen. Elegendő iszapvíz elvezetése után a levegőztetést újra kell indítani.

Az aerob reaktorból elvezetett iszapvíz (szupernatant) általában az előülepítőbe (vagy esetleg szennyvíztisztító tóba) kerül. Az előülepítőt ennek megfelelően kell méretezni.

A következő napon ismételjük meg az előző folyamatokat. A levegőztetést le kell állítani, így az ülepedés újra biztosítható; az iszapvíz egy részét újra el kell vezetni, így újabb 24 órai iszapmennyiség betáplálására nyílik lehetőség. Egy-két hét múlva a leülepedett iszap a reaktor mintegy 50%-át kitölti.

Ekkor a második aerob iszapstabilizáló medencét is üzembe kell helyezni. Ezt elő- vagy utóülepített szennyvízzel 1 m mélységig kell feltölteni. Ezt követően az első reaktorból mintegy 0,3 m vastagságnak megfelelő mennyiségű iszapot (oltóiszap) a második reaktorba kell szivattyúzni, miközben az első reaktorban elegendő teret kell biztosítani az újabb 24 órás iszapmennyiség befogadására. Ekkor mindkét aerob reaktor levegőztetését meg kell indítani.

A következő napon az iszapvizet a második reaktorból az előülepítőbe kell recirkuláltatni. De elegendő iszapvizet kell elvezetni a reaktorból, így lehetővé válik a következő 24 órás iszapmennyiség befogadása. Amikor a második reaktorban az iszapréteg vastagsága a tervezett szintet eléri, a harmadik reaktort is üzembe kell helyezni.

Miután mind a három aerob reaktor üzemel, a levegőztetés az első reaktorban csak ritkán szünetelhet. Az iszapvizet csak a második és a harmadik reaktorból kell eltávolítani. A harmadik reaktorból iszapot kell elvezetni az iszapvíztelenítő ágyakra vagy a mechanikai víztelenítőre.

A sorba kapcsolt reaktorokban az iszap szintjének azonosnak kell lennie.

Ezt követően *új iszapot már csak az első reaktorba kell táplálni.* Minden reaktor fogad mikroorganizmusokat és tározott (táp-) anyagokat. Új sejttömeget táplálva először az első reaktorba, az illékony anyagok kb. 40 százaléka stabilizálható. Amint az iszap a harmadik reaktort eléri, akkorra a baktériumok a tápanyagok zömét már hasznosították, pedig a harmadik reaktorban lévő mikroorganizmusok is energiát igényelnek. Ilyen körülmények között saját sejtanyagukat kénytelenek hasznosítani.

Az oldott oxigén igény az első reaktorban a legnagyobb. Az igény, ahogy az iszap a második és a harmadik reaktorba halad előre, csökken. A harmadik ülepítőbe akkor van megfelelő mennyiségű oldott oxigén, ha az iszap keverése biztosított, és az iszap fenékre ülepedése akadályozott.

3.2.3. ÜZEMELTETÉSI INFORMÁCIÓK FELJEGYZÉSE

A sikeres üzemeltetés érdekében az üzemeltetőnek a következő üzemeltetési információkat kell feljegyezni (Brady és Graber, 1988):

Napi feljegyzések:

1. Az aerob stabilizáló reaktorokba táplált nyers (előülepített) és utóülepített iszap térfogata.
2. A transzportált iszap súlya és illékonyanyag-tartalma.
3. Az utolsó aerob reaktorból recirkuláltatott iszapvíz térfogata.

Heti feljegyzések:

1. A reaktorbeli iszapvíz szilárdanyag-tartalma és illékony szilárdanyag-tartalma.

Iszapelvételkor szükséges feljegyzések:

1. A víztelenítéshez elvezett iszap térfogata.
2. A víztelenített szilárd anyagok súlya és illékonyanyag-tartalma.
3. A stabilizálás közben oxidált illékony szilárd anyagok súlya.

3.2.4. TISZTA OXIGÉNES AEROB ISZAPSTABILIZÁLÁS

Újabban tiszta oxigént is alkalmaznak az aerob iszapstabilizáláshoz. A hagyományos rothasztókban, a befolyó iszap illékony szuszpendált szilárdanyag- (VSS-) tartalma nem lehet 9%-nál nagyobb, 15–20 napi tartózkodási időre nézve. Ezen százalék felett az atmoszferikus oxigén a rothasztó iszapjában nem képes megfelelő sebességgel oldódni az aerob stabilizáció fenntartása céljából. *A tiszta oxigén viszont az iszapban az atmoszférabeli oxigén oldódásához képest ötszörös gyorsasággal képes oldódni. Ez azt jelenti, hogy a tiszta oxigénes levegőztetés nagyobb koncentrációjú iszapbetáplálást tesz lehetővé.* A nagyobb koncentrációjú iszapbetáplálás, vagy az iszaptartózkodási idő (SRT) hosszabb lehet, vagy az aerob úton naponta stabilizált iszap súlya növelhető. A tiszta oxigénes stabilizáló reaktorok rendszerint fedettek, így a tiszta oxigén nem juthat az atmoszférába.

3.2.5. AZ AEROB ISZAPSTABILIZÁLÓ REAKTOR ÜZEMZAVARAI, KIKÜSZÖBÖLÉSÜK LEHETSÉGES MÓDJAI

(Culp és Heim, 1978; Kerri et al., 1989; Solti, 1993; Szilágyi, 1983; Öllős, 1993)

19/a táblázat

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
1. Kis oldott oxigén koncentráció	1a Diffúzorok eltömődése	1a Reaktor dekantálása, iszapeltávolítás, diffúzorok ellenőrzése	1a Diffúzorok tisztítása vagy felcserélése nagybuborékos diffúzorokra
	1b A folyadékszint a mechanikai levegőztetéshez nem megfelelő	1b Berendezés üzemeltetési szabályzatának ellenőrzése	1b Megfelelő folyadékszint beállítása
	1c Kompresszor hibásan üzemel	1c Levegőszállítás mértéke, csővezeték-nyomás, tolózárak	1c Csőszivárgás megszüntetése, tolózárak megfelelő állásba állítása, kompresszorok javítása
	1d Szervesanyag-túlterhelés	1d Mint 4a	
2. Kifogásolt iszapszag-emisszió	2a Elégtelen iszaptartózkodási idő (SRT)	2a Iszaptartózkodási idő	2a Mint 4a
	2b Elégtelen levegőztetés	2b Oldott oxigén koncentráció	2b Levegőztetés fokozása, betáplálás mértékének csökkentése
	2c Lökésszerű terhelés	2c Lökésszerű terhelés	2c A sorba kapcsolt második vagy harmadik aerob stabilizáló reaktor fenékzónájából iszaprecirkuláltatás az első reaktorba
3. A reaktorban a pH nem kívánt szintre süllyedt	3a Nitrifikáció játszódik le, a szennyvíz lúgossága alacsony	3a Lúgosság- és nitrátellenőrzés az iszapvízben	3a Nátrium-bikarbonát adagolása az iszap táplálásához, vagy mész vagy nátrium-hidroxid adagolása a reaktorba
	3b Fedett aerob reaktorban a CO_2 a fedél alatti légtérben akkumulálódott és az iszapban oldódik		3b Szellőztetés és a CO_2 gázmosásos tisztítása

19/a tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
4. Habzás	4a Szervesanyag-túlterhelés	4a Szervesanyag-túlterhelés	4a (1) Táplálási mérték csökkentése (2) A szilárdanyag-koncentráció növelése a reaktorban, dekantálás és iszaprecirkuláció révén
	4b Túlzott mértékű levegőztetés	4b Oldott oxigén	4b (1) Felszíni permetezés alkalmazása (2) Levegőztetés mértékének csökkentése (3) Habzást elimináló vegyszer használata
	4c Fonalas szervezetek	4c Maradék oldott oxigén. Mikroszkópos vizsgálat	4c Levegőhozam növelése. Habzásgátló adagolása
	4d Túlzott mértékű turbulencia	4d Levegőhozam, maradék oldott oxigén	4d Levegőhozam csökkentése. Habzásgátló adagolása
5. Jégképződés károsítja a mechanikai levegőztetőket	5. Szélsőségesen fagyos időjárás	5. Reaktorfelszín ellenőrzése jégképződés szempontjából	5. Jég feltörése és eltávolítása, mielőtt kárt okoz
6. A levegődiffúzorok gyakran eltömődnek	6. Diffúzor fajtája nem megfelelő	6. Levegődiffúzorok üzeme	6. Diffúzorok nagybuborékos diffúzorokra cserélése
7. Szilárd anyagok leülepedése és összegyűlése a reaktor alján	7a Homokfogó üzeme hibás 7b Keverés nem megfelelő	7a Homokfogó hatásfoka 7b Keverés mértéke	7a Homokfogó üzemének javítása 7b Homokszeparátor beiktatása az iszapbetáplálási ágon 7c Keverés hatékonyabbá tétele
8. Vastag, felúszott iszapréteg a sorba kapcsolt második és harmadik aerob iszapstabilizáló reaktorban	8. Levegőztetés szüneteltetése az iszapvíz elvezetésekor	8. Felúszás az iszapvíz elvételének időszakában	8a Iszapvíz-elvezető cső eltömődésének megszüntetése 8b Az iszapelvezető cső helyének megfelelő magasságban való elhelyezése
9. Nagy maradék oldott oxigén	9. Nagy levegőhozam	9. Levegőhozam	9. Kisebb levegőhozam

19/a tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldások
10. Nagy maradék oldott oxigén. Kis oxigénfelvételi mérték	10a Alacsony rothasztóbeli hőmérséklet	10a Hőmérséklet és fűtőberendezés	10a Hőmérséklet-növelés
	10b Alacsony pH	10b pH. Nitrifikáció	10b pH-neutralizálás. Levegőhozam csökkentése, rothasztási idő rövidítése
	10c Illékony szuszpendált szilárdanyag-terhelés túl nagy vagy túl kicsi	10c Iszaphozam és táplálási koncentráció	10c Ajánlott terhelés beállítása
	10d Rothasztási idő hosszú vagy túl rövid	10d Toxikus komponensek a befolyó iszapban	10d Ajánlott tartózkodási idő beállítása
	10e Toxicitás		10e Ipari szennyvízhányad szabályozása
11. Csökkent illékony szuszpendált szilárdanyag-lebontódás	11a Rövid rothasztási idő	11a Betáplálási hozam és koncentráció	11a Hozam csökkentése
	11b Nagy illékony szuszpendált szilárdanyag-terhelés	11b Mint 4a	11b Mint 4a
	11c Alacsony hőmérséklet	11c Hőmérséklet	11c Hőmérséklet szabályozása
	11d Elégtelen oldott oxigén koncentráció	11d Oldott oxigén	11d Levegőhozam növelése
	11e Alacsony pH	11e pH	11e pH-neutralizálás
	11f Toxicitás	11f Toxikus komponensek a befolyó iszapban	11f Ipari szennyvízhányad szabályozása
12. Gyengén ülepedő iszap	12. Rothasztási idő túl hosszú vagy túl rövid	12. Iszaphozam, szilárdanyag-eltávozás	12. Lombikvizsgálat az optimális alumíniumszulfát-, mész- vagy polimeradag meghatározásához

3.2.6. IRODALOM

Andrews, J. F. (1989): Dynamics, Stability and Control of the Anaerob Digestion Process. In: Petry, G. G., Chapman, D. (1989): *Dynamic Modeling and Expert Systems in Wastewater Engineering*. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI 48118, U.S.A.

Benedek P., Valló S. (1976): *Víztisztítás – Szennyvíztisztítás*. Zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

Brady, J., Garber, W. (1988): Sludge Digestion and Solids Handling. In: Kerri, K. D.: *Operation of Wastewater Treatment Plants*. Vol. 2, Chapter 12. EPA. California State Univ., Sacramento.

Culp, G. L., Heim, N. F. (1978): *Field Manual for Performance Evaluation and Troubleshooting at Municipal Wastewater Treatment Facilities*. EPA Contract No. 68–01–4418, January.

Farrel, J. B., Erlap, A. E., Rickabaugh, J., Freedman, D., Hayes, S. (1988): Influence of Feeding Procedure on Microbial Reductions and Performance of Anaerobic Digestion. *J. WPCF*, Vol. 60, No. 5, May.

Juhász E. (1994): Írásbeli közlés.

Kalbskopf, K.-H. (1971): Theoretische Grundlagen, Bemessung und Verfahrensweise der Schlammeindickung. *GWA*, Aachen, Bd. 6.

Kerri, K. D., Dendy, B. B., Brady, J., Crooks, W. (1989): *Advanced Waste Treatment. Chapter 5: Phosphorus Removal* (by Gonzales, J. G. N.). California State University, Sacramento.

Kollár Gy. (1993): Szóbeli közlés.

Kroiss, H. (1994): Klärwärter Grundkurs. *Wiener Mitteilungen. Wasser–Abwasser–Gewässer*, Bd. 114, Wien.

Metcalf, L. (1901): The antecedents of the septic tanks. *Trans. of the American Society of Civil Engineers*, Vol. XLVI, December.

McCarty, P. L. (1964): Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Parts I–IV. *Public Works*, September–December.

Metcalf and Eddy Inc. (1991): *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*. (3rd ed.) McGraw-Hill, New York.

Mudrack, K., Seyfried, C. F., Sixt, H. (1977): Geruchshemmung von Abwasserschlämmen. *Korrespondenz Abwasser*, 24. 9.

Öllős G. (1991): *Szennyvíztisztítás*. AQUA Kiadó, Budapest.

Öllős G. (1992): *Szennyvíztisztítás I*. MTI, BME jegyzet, Budapest.

Öllős G. (1993): *Szennyvíztisztítás II*. MTI, BME jegyzet, Budapest.

Pearson, E. A. (1960): *The "Stuck" Digester*. 5th Annual Pre-Conference Operator's School. California Sewage and Industrial Wastes Association. Berkeley, California.

Pohland, F. G., Ghosh, S. (1971): Development in anaerobic treatment processes. *Biotechnol. and Bioeng. Symp.*, No. 2.

Rösler, N. (1976): Zwischenlagern und Ablagern von Kommunalschlämmen in Deponien – Möglichkeiten und Grenzen. *GWA*, Aachen, Bd. 21.

Siekmann, K. (1986): Leistungsfähigkeit des zweistufigen Schlammstabilisierungsverfahrens nach dem System Sauerstoffbegasung mit anschliessender Faulung im Vergleich zur einstufigen Faulung. *GWA*, 89, Aachen. (Kiadó: B. Böhnke.)

Solti D. (1993): Írásbeli közlés.

Svardal, K. (1991): Anaerobe Abwasserreinigung. Ein Modell zur Berechnung und Darstellung des massgebenden chemischen Parameter. *Wiener Mitteil. Wasser–Abwasser–Gewässer.*, Band 95, Wien.

Szilágyi M. (1993): Írásbeli közlés.

Szilágyi M. (1981): *Csatornaműkezelő szakmai ismeretek*. 1–2. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

Szilágyi M. (1983): A szennyvíztisztító telep műszaki átadás-átvétele és üzemi próbái. *VÍZDOK*, Budapest.

Szilágyi M. (1984): A szennyvíztisztító telep üzemeltetése. *VÍZDOK*, Budapest.
Szilágyi M. (1986): *Kommunális szennyvíziszapok rothasztása*. Műszaki doktori értekezés. BME, Budapest.
Szombati J. (1994): Írásbeli közlés.
Torpey, W. N. (1955): Loading to Failure of a Pilot High Rate Digester. *Sewage and Industrial Wastes*, 27.
van der Graaf, J. H. J. M., Fastenan, F. A. (1986): *Anaerobic Treatment of Wastewater in Septic Tanks*. EWPCA Conference on Anaerobic Wastewater Treatment, 15–19 September, Amsterdam.
Wolf, P. (1971): Bemessung und Betrieb von Anlagen zur aeroben Stabilisation in Schlammbelebungsanlagen. *GWA*, Aachen, Bd. 6.

3.2.7. KÉRDÉSEK

1. Melyek az előnyei az anaerob rothasztásnak az aerob rothasztással szemben? (3.2. fejezet.)
2. Mekkora oldott oxigén koncentrációt kell fenntartani az aerob rothasztóban? (3.2.2. fejezet.)
3. Melyek az aerob rothasztó fő üzemeltetési sajátosságai? (3.2.2. fejezet.)

4. ISZAPKEZELÉS

4.1. AZ ISZAPOK TÍPUSAI ÉS JELLEMZŐI

A szennyvíztisztító telepeken eltávolított szilárd anyagok (solids)

– a rácsszemét,
– a homok,
– uszadékanyagok és
– az iszap.

Az iszap rendszerint „folyadék" vagy „félig folyadék" állapotú és szárazanyag-tartalma a tisztítás folyamataitól függ. Az eltávolításra kerülő szilárd anyagok közül *az iszap messze a legnagyobb térfogatú, így kezelése, elhelyezése az üzemeltető számára az egyik legkomplexebb feladat.*

Az iszappal kapcsolatos üzemeltetői feladatok eleve bonyolultak, mert

– az iszapot még zömmel olyan anyagok alkotják, amelyek szagemissziót is eredményezhetnek,
– a biológiai tisztításból származó, elhelyezést igénylő iszapot zömmel szerves anyagok alkotják, de megváltozott, szilárd sejtanyagok formájában, amelyek szintén lebontódnak és szagemissziót eredményezhetnek,
– az iszapnak csak kisebb hányada szervetlen szilárd anyag,
– az egyes szennyvíztisztító telepeken még a hasonló típusú iszapok is többékevésbé eltérő tulajdonságúak.

Az üzemeltető legfontosabb iszapkezelési teendői:

– az iszap víztartalmának csökkentése, melynek során az iszaptérfogat is egyidejűleg csökken,
– az iszap szervesanyag-tartalmát is csökkenteni kell (stabilizálás; 3.1. és 3.2. fejezet). Ezáltal az iszap végső elhelyezése, hasznosítása viszonylag kockázatmentesen lehetővé válik.

A hagyományos biológiai szennyvíztisztító telepeken kétféle eredetű iszap keletkezik.

1. Az *előülepített iszap* (primary sludge) olyan szilárd anyagokat foglal magába, amelyek a gravitációs erő hatására az előülepítő fenekére ülepszenek. Általánosságban *az előülepített iszapot rendszerint eléggé durva és rostos szilárd anyagok alkotják. Fajsúlyuk, sűrűségük a víznél lényegesen nagyobb (20. táblázat,* Metcalf and Eddy Inc., 1991; EPA/625/1–87/014 Sept., 1987). Illékony (szerves) anyagtartalmuk 75–80%-nyi. A vízben, szennyvízben vagy más folyadékokban

lévő illékony anyagok 600 °C égetéskor a száraz anyagból elillannak. Az illékony anyagok kémiai anyagok, rendszerint állati vagy növényi eredetűek. Az égetés után maradandó, mintegy 20%-nyi szilárd anyagok a nem illékony (szervetlen) anyagok (homok, só, vas, kalcium és egyéb ásványi anyagok), melyeket az élő szervezetek is alig befolyásolnak.

20. táblázat. A szennyvíz fizikai jellemzői és mennyisége különböző szennyvíztisztítási folyamatokból

Tisztítási folyamat (iszap típusa)	Az iszapszemcsék fajsúlya, g/cm³	Az iszap fajsúlya, g/cm³	Illékonyanyag tartalma, %	Szárazanyagtartalma, kg/10³ m³
Előülepített iszap	1,4	1,02	75–80	108– 168
Eleveniszap	1,25	1,05	80–85	72– 96
Csepegtetőtestes humusziszap	1,45	1,025		60– 96
Csepegtetőtest + forgó merőtárcsás iszap			75–80	
Előülepített iszap + eleveniszap			75–85	
Huzamos levegőztetésű eleveniszap	1,30	1,015		96*
Levegőztetett lagúna	1,30	1,01		84– 120*
Szűrés	1,20	1,005		12– 24
Algaeltávolítás	1,20	1,005		12– 24
Vegyszeres foszfát-eltávolítás az előülepítőben				
– Kis mészdózis (350–500 mg/l)	1,9	1,04		240– 397
– Nagy mészdózis (800–1600 mg/l)	2,2	1,05		602–1325
Biológiai denitrifikálás	1,20	1,005		12– 30

Megjegyzés:

* Nincs előtisztítás

2. Az *utóülepített iszap* (secondary sludge) az eleveniszapos vagy a csepegtetőtestes biológiai tisztításból származik, az élettelen szerves anyagok lebontódásából keletkező eleveniszap. Ezeket – a baktérium és egyéb szervezetek sejtjeit – rendszerint az utóülepítőből (a rendszerből) kell eltávolítani. *Az utóülepített iszap tehát az előülepített iszapétól alapvetően eltérő felépítésű, jobban pelyhesedő, kevésbé rostos, sűrűsége a víz sűrűségéhez közelebb áll.*

Az üzemeltetőnek a települési *iszapok kémiai összetétele tekintetében is tájékozottnak kell lennie* (*21. táblázat;* Sommers, 1977). A táblázat az anaerob, az aerob úton lebontott iszapok és az egyéb (lagúnákból, előülepítőből, csepegtetőtestből, utótisztításból származó) iszapok legfontosabb komponenseit tartalmazza.

21. táblázat. Az iszapok fő kémiai komponensei

Komponens	Iszap típusa	Tartomány	Átlag
Szerves C, %	Anaerob	18–39	26,8
	Aerob	27–37	29,5
	Egyéb	6,5–48	32,5
Összes N, %	Anaerob	0,5–17,6	4,2
	Aerob	0,5–7,6	4,8
	Egyéb	<0,1–10,0	1,8
NH_4^+–N, mg/kg	Anaerob	120–47 000	1600
	Aerob	30–11 300	400
	Egyéb	5–12 500	80
NO_3^-–N, mg/kg	Anaerob	2–4900	79
	Aerob	7–830	180
	Egyéb	–	–
Összes P, %	Anaerob	0,5–14,3	3,0
	Aerob	1,1–5,5	2,7
	Egyéb	<0,1–3,3	1,0
Összes S, %	Anaerob	0,8–1,9	1,1
	Aerob	0,6–1,1	0,8
	Egyéb	–	–
Fe, %	Anaerob	0,1–15,3	1,2
	Aerob	0,1–4,0	1,0
	Egyéb	<0,1–4,2	0,1
Al, %	Anaerob	0,1–13,5	0,5
	Aerob	0,1–2,3	0,4
	Egyéb	0,1–2,6	0,1
Pb, mg/kg	Anaerob	58–19 730	540
	Aerob	13–15 000	300
	Egyéb	72–12 400	620
Zn, mg/kg	Anaerob	108–27 800	1890
	Aerob	108–14 900	1800
	Egyéb	101–15 100	1100
Cu, mg/kg	Anaerob	85–10 100	1000
	Aerob	85–2900	970
	Egyéb	84–10 400	390
Cr, mg/kg	Anaerob	24–28 850	1350
	Aerob	10–13 600	260
	Egyéb	22–99 000	640
Hg, mg/kg	Anaerob	0,5–10 600	5
	Aerob	1,0–22	5
	Egyéb	2,0–5300	3
As, mg/kg	Anaerob	10–230	116
	Aerob	–	–
	Egyéb	6–18	9

4.1.1. AZ ISZAPOKKAL KAPCSOLATOS ÁLTALÁNOS ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK

1. Az iszapok fizikai *(20. táblázat)*, kémiai *(21. táblázat)* és bakteriológiai tulajdonságait, mennyiségét *(22. táblázat)* számos tényező befolyásolja: így a házi és az ipari szennyvíz aránya (input), a lefolyásviszonyok, a tisztítási folyamatok *(22. táblázat;* Bryan, 1977) és a település-nagyságrend (Echelberger et al., 1979) egyaránt szerepet játszanak.

22. táblázat. A különböző tisztítási folyamatokból kikerülő iszap mennyisége

Tisztítási folyamat	kg szárazanyag/10^3 m^3 iszap	m^3 iszap/10^3 m^3 tisztított szennyvíz	Iszap nedvesség-tartalma, %
Előülepítés	108–144	2 500– 3 500	93–95
Eleveniszapos tisztítás	72–108	15 000–20 000	98–99
Kisterhelésű csepegtetőtestes tisztítás	48– 60	400– 700	93–95
Nagyterhelésű csepegtetőtestes tisztítás	72–108	1 200– 1 500	96–98
Nyers iszap kémiai kicsapatása	360–540	4 000– 6 000	90–93

2. Ennek megfelelően az iszap összetétele településenként eltérő. A tisztítótelepeken pedig az egymást követő tisztítási műveleteknek megfelelően is változik.

3. *A „szennyvíziszap"-ról általánosítva nem lehet beszélni* (Echelberger et al., 1979). *Az iszap minden esetben specifikus.*

4. Az iszapstabilizálás, mint az iszapot befolyásoló tényező, elsősorban az aerob és anaerob rothasztást, komposztkészítést, a lagúnabeli tározást foglalja magában.

5. A stabilizált iszap mennyiségét *(22. táblázat)* valamely tisztítótelepen az üzemeltetés paraméterei (hőmérséklet, keverés, tartózkodási idő és maguk a tisztítási műveletek) befolyásolják.

6. *A szennyvíztisztító telepre érkező ipari és nem házi szennyvíz inputok specifikus minőségi tulajdonságainak változékonysága miatt, az iszapkomponensek koncentrációadatai nem követik a normális eloszlást. Az iszapkomponens-adatok kielégítő módon a log-normál eloszlással jellemezhetők* (EPA/625/1–87/014, 1987), ami azt jelenti, hogy *a medián vagy a geometriai átlag a „tipikus" iszapkoncentráció mértékét az aritmetikai átlagnál* (várható értéknél) *megbízhatóbban fejezi ki.*

7. *Az iszap szerves C-tartalma,* amint a *21. táblázat* tükrözi, a különböző tényezők hatásaként bizonyos tartományban *változik,* a tisztítási folyamatoktól stb. függően *korántsem állandó.* Ez a tény a következő okokkal magyarázható.

Az iszapokban különféle szervesanyag-komponensek léteznek:

– mikrobiológiai sejtek,
– ezek lebontódási termékei,

– a telepre érkező szennyvíz kémiai vegyületei (proteinek, poliszacharidok, kenőanyagok, zsírok),
– a szennyvíztisztítás és az iszapkezelés közben keletkezett vegyületek.

Az iszapok szerves C-felépítése ma sem definiált teljesen. A kutatások szerint az észterek, paraffinok és zsírsavak az iszap nem vizes oldószerben (pl. hexánban) extrahálható frakciójában vannak jelen (Strachan et al., 1983). A kutatások arra is rámutattak, hogy az aminosavak néhány fajtája és két cukorvegyület (glukóz és xilóz) az iszap szilárd anyagából savhidrolízis révén felszabadulnak. Az iszapban lévő szerves C zöme vízben oldhatatlan, és különböző proteinek, poliszacharidok és lipid típusú anyagok valamilyen lebontott állapotában vannak jelen. *Az iszap szerves C-tartalmának* vízbeli oldhatatlan természete azt is jelenti, hogy *az a vízteleníési folyamatokkal számottevő mértékben nem távolítható el. Az iszap szerves C-tartalma az iszapvíztelenítő ágyakon vagy komposztkészítés közben azonban jelentősen csökkenthető,* ami az utólagos mikrobiológiai lebontódásnak az eredménye.

8. Az *iszap nitrogénvegyületei* (szerves nitrogén, az NH_4^+ és NO_3^-) koncentrációit

– a szennyvíztisztítás és
– az iszapkezelés módja befolyásolja.

Az iszap szerves N-tartalmának zöme az iszap szilárd szemcséiben létezik, ezért *a szerves N-szinteket a vízteleníési folyamatok és a szikkasztás alig befolyásolja.* Ellenkezőleg, *a szervetlen N formák (NH_4^+ és NO_3^-) a vízben oldhatók, ezért koncentrációik a víztelenítés* (iszapszikkasztó ágyak, centrifugák, szűrőprések stb.) *folyamata közben rendkívül nagy mértékben csökkennek.* A hőkezelés és a szárítás is csökkenti az NH_4^+-koncentrációt az ammóniaelillanás (volatilization) miatt, de az NO_3^--koncentráció nem csökken.

Az iszapban a szervetlen N 90%-nál nagyobb mennyisége NH_4^+ formában van jelen, kivéve, ha az iszapkezelés aerob állapotú. Az anaerob rothasztóból kikerülő folyékony iszap szervetlen N-tartalma szinte teljes mértékben NH_4^+ formájú és az összes N 25–50%-át teszi ki. Az NH_4^+-koncentráció az iszap folyadékfázisában valamely szennyvíztisztítási folyamat alatt viszonylag állandó szintű. De *a folyékony iszapok víztelenítése az NH_4^+-szintet lényegesen csökkenti. Az NH_4^+* az összes N-tartalomnak csak <10%-a. Minthogy *az iszap szervetlen N-tartalmát a víztelenítési módok jelentősen befolyásolják,* így az iszap hasznosítása előtt a nitrogénanalízis elvégzése fontos.

Az iszap szerves N-tartalma 1–10% tartományba esik (szárazsúlyhoz viszonyítva). A szerves N főleg aminosavakból tevődik össze, amelyek zömmel protein anyagok (Sommers et al., 1972). Az iszap szerves N-frakciójában kis mennyiségű hexózaminok és amidok is jelen vannak. Az iszap mezőgazdasági hasznosításakor a szerves anyagokat a talajmikrobák lebontják, ezáltal NH_4^+ szabadul fel, melyet a növények asszimilálnak.

9. Számos elem oldható ionként érkezik a szennyvíztisztító telepre és a szemcsés anyagokkal nem hajlamosak mérsékelten oldható vegyületeket vagy stabil

komplexeket alkotni. Ebbe a csoportba tartozó vegyületek: K^+, Na^+, NH_4^+, Mo és Co. Ennek következtében ezen elemek zöme a tisztított szennyvízzel távozik a szennyvíztisztító telepről, hacsak valamilyen utótisztítással nem távolítódnak el. Mivel ezek az ionok vízben oldódnak, koncentrációik centrifugás vagy szűrőpréses víztelenítéskor nagymértékben csökkennek. Viszont az iszapágyakon történő víztelenítéskor vagy hőkezeléskor, minthogy nem illékony anyagok, koncentrációjuk nő.

10. Az elemek másik csoportja a szennyvízben eredetileg meglévő vagy a tisztítás közben képződött alkotóelemekkel készséggel oldhatatlan vegyületekké alakulnak. Ezek az elemek szervetlen anionok (P, S és az As vegyületei) és kationok (Ca, Mg, Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr és Hg). Ezek jelenlétében a pH-tól, a redoxipotenciáltól, az oldat összetételétől és az iszapkezeléstől függően sokféle hidroxid, oxid, karbonát, foszfát és szulfid szervetlen csapadék formálódik. Például a rothasztott iszapok fekete színe a képződött oldhatatlan FeS-csapadéknak tulajdonított.

11. Számos nyomelem, mint a Cd, az iszapokban együttes csapadékképződés révén, oldhatatlan vegyületek képződését eredményezi. Például a Cd az $Al(OH)_3$ vagy a $CaCO_3$ csapadékfázisba záródhat a csapadékképződési folyamatban. Emellett a fémek (Cu, Zn, Cd stb.) és az anionok ($H_2PO_4^-$, $H_2AsO_4^-$) a szerves anyagok felszínén adszorbeálódhatnak, vagy az iszapban kicsapódnak [$CaCO_3$, $Al(OH)_3$]. Mivel ezek a kémiai reakciók az iont az oldatból elvonják és a szilárd fázisban koncentrálódnak, ezért az iszapvíztelenítés minimális mértékben befolyásolja koncentrációjukat.

12. A szennyvíztisztító telepet terhelő számtalan szerves nyomelemről – példaként – a *23. táblázat* tájékoztat (Cohen et al., 1981). Ezek és az ezekhez hasonló analízisek arra mutatnak, hogy az iszapból származó terhelés és az iszapban lévő szerves nyomelem közötti kapcsolat gyenge.

13. Az iszap kémiai összetételét az iszapstabilizálás módjai jelentősen befolyásolhatják. Az aerob és anaerob iszapstabilizálás során

– az iszap szerves anyagai lebontódnak és
– CO_2, NH_4^+, H_2S és PO_4^{3-} szabadul fel.

Így a stabilizált iszap C-, N-, S- és P-tartalma a stabilizáló műtárgyba táplált iszapénál kisebb.

A rothasztott iszap komposztálásakor az iszap szervesanyag-tartalma (szerves N-, C- és S-tartalma) tovább csökken. Ráadásul a komposztkészítés keverékiszapot és adalékanyagot, például faforgácsot (bulking agent) foglal magába, hogy a levegőztetés intenzívebb lehessen, ezáltal az iszap további gyors stabilizálása lehetővé váljék. Az adalékanyag nagyobb részét rostálással ugyan eltávolítják a kész komposztból, de egy része a komposztban marad, ami az iszapkomponensek (például tápanyagok, fémek) „hígulását" eredményezi.

Az iszap szerves N-tartalmának csökkenési folyamata a szennyvíztisztító rendszerben a következő:

Nyers iszap → előülepített → eleveniszap → rothasztott → komposzt
iszap iszap

23. táblázat. Szerves nyomelemek a szennyvíztisztító iszapokban (25 amerikai szennyvíztisztító telep alajpán)[1]

Vegyület	Százalékos előfordulás az adott koncentrációk esetében[2]		
	>1 mg/kg iszap	>10 mg/kg iszap	>50 mg/kg iszap
Metán, diklór	41	12	3
Metán, triklór	3	0	0
Etán, 1,1,1-triklór	5	3	0
Etán, triklór	26	9	3
Etán, tetraklór	27	8	3
Benzol, 1,4-diklór	36	18	5
Etilbenzol	33	3	0
Toluol	59	35	11
Fenol	63	25	13
Naftalin	65	33	15
Fenanthren	60	20	8
Fthalat dietyl	43	23	13
Fthalat, di-n-butyl	63	25	13
Fthalat, bis (2-etyl hexyl)	75	63	25
Fthalat, butylbenzyl	50	35	18
Összes egyéb nyomelem	<50	<25	<15

Megjegyzés:

[1] Telepek kapacitása 13 200 m^3/d–1 170 000 m^3/d tartományba esik.

[2] Szárazanyag-tartalomhoz viszonyítva.

14. A szennyvíztisztítási, az iszapstabilizálási és az iszapkezelési folyamatok gyakran a ferriklorid, alumínium-szulfát, mész vagy polimerek adagolását is magukba foglalják. Az adagolt elemek koncentrációi az iszapban lévő megfelelő elemek koncentrációit növelik. Ráadásul az adagolt vegyületek az iszap összetételét indirekt módon is befolyásolhatják. Például az alumíniumsó alumínium-hidroxidként kicsapódik, ami viszont a P adszorpcióját eredményezi és együttes kicsapódás is jelentkezik, például Cd-mal. A mészadagoláskor keletkező kalcium-karbonát a P-t és a fémeket szintén visszatartja.

Mészadagoláskor a szerves N-vegyületek lúgos hidrolízise is létrejöhet, ami az ammónia (NH_3) elillanását, végső soron csökkenését eredményezi.

4.1.2. AZ ISZAPTÖMEG ÉS A TÉRFOGAT VÁLTOZÁSA

Az iszap tömege és térfogata az üzemeltetési tapasztalatok szerint a következő okok miatt változhat (EPA/625/6–89/020):

1. A szennyvíztisztító telepre érkező szennyvíz mennyisége változik. Ezért az üzemeltető általi iszapmenedzseléshez a szennyvíz BOI_5- és lebegőanyag-tartal-

24. táblázat. Az előülepítő BOI_5- és a szárazanyag-terhelés minimális és maximális változásai statisztikai adatok alapján

Periódus	Átlagos terhelés százalékához viszonyítva	
	BOI_5, mg/l	Szárazanyag, mg/l
Napi	15–250	15–270
Heti	60–160	67–167
Kétheti	65–125	75–145
Havi	75–120	80–125

mának (TSS), valamint a napi szennyvízhozamcsúcsnak az elemzése szükséges (*24. táblázat;* Metcalf and Eddy Inc., 1991).

2. Üzemeltetési változtatások [például: az iszap tartózkodási idejének (SRT) rövidítése, a recirkulációarány változtatása].

3. A biológiai tisztítási lépcső hatékonyságának ingadozása. Például az eleveniszap ülepítési tulajdonságai változnak; a csepegtetőtestből a biológiai hártya lecsúszik.

4. Az iszapkezelés hatékonyságának normál változása (például sűrítéskor, víztelenítéskor).

5. Éghajlati tényezők hatása (például az iszapvíztelenítő ágyak téli hatékonysága).

Ezen megállapítások egyértelműen jelzik, hogy a tisztításhoz és az iszapok kezeléséhez, az üzemeltetéshez *az átlagos adatok, ill. állapotok figyelembevétele elégtelen.*

6. Az előülepített iszap mennyiségének alakulását vizsgálva abból kell kiindulni, hogy az előülepítő a rávezetett szennyvíz 50–70%-nyi lebegőanyag- és 25–30%-nyi BOI_5-tartalmát képes eltávolítani. Ezeket az eltávolítási tartományokat

– az előülepítőre vezetett szennyvíz minőségi jellemzői,
– az előülepítőből elfolyó szennyvíz mértéke,
– az előülepítő mélysége,
– üzemeltetési változók (pl. az iszapszivattyúzás mértéke, az iszapfelhő mélysége és vastagsága)

befolyásolják. A BOI_5 és a szárazanyag optimális eltávolítása céljából az üzemeltetőnek a *24. táblázat* alapján az előülepítő iszapszivattyúkat úgy kell üzemeltetni, hogy azok a napi átlagos szárazanyag-tömeg 0,2–2,7-szeresét szállítani tudják. Valójában a napi teljes iszapmennyiség-fluktuálás kezelésére vonatkozó kapacitás biztosítása nem szükséges, mert

– a szivattyúzott iszapmennyiség változtatásának mértéke és
– az iszapfelhőmélység (telepi iszaptározás) változtatási lehetősége a *24. táblázat*beli tartományok bizonyos részét kiegyenlíti.

7. A *szennyvíztisztító-telepi iszapágon transzportálódó iszap időben változó mennyisége* – korlátozott mértékben – az ülepítő és a levegőztető medencékben az időszakos tározással is befolyásolható. Az ilyen célú tározókapacitás a rövid idejű terheléscsúcsok kiegyenlítését szolgálja. A nagy tározókapacitású, változó szintű rothasztók a rothasztott iszap terhelési csúcsokat jelentősen mérséklik. Az iszapkezelő rendszer, az iszap anaerob stabilizálása esetében, rendszerint a maximális havi iszapterhelés figyelembevételével üzemeltethető. Rothasztás nélkül az iszapkezelő rendszer a heti maximális iszapterheléssel működtethető. Az iszapkezelő rendszer bizonyos műtárgyainak kapacitása, így például az iszapszivattyú és a sűrítő, lehetséges, hogy a maximális napi iszapmennyiségnek kell hogy megfeleljen.

Az előzőek alapján egyértelműen kiadódik az az igény, hogy az üzemeltetés optimalizálásához *a mindenkori iszapmérleg ismerete nélkülözhetetlen.*

4.1.3. AZ ISZAPOKBAN LÉVŐ PATOGÉN SZERVEZETEK

Az üzemeltetőnek a patogén szervezetek (baktériumok, vírusok, protozoák és az élősködő férgek) jelenlétére és miattuk az iszap kezelése, elhelyezése, hasznosítása során létező potenciális veszélyekkel is tisztában kell lenni. A nyers szennyvízben és az iszapból identifikált betegségokozó baktériumok és paraziták az alábbiak:

Csoport	*Patogén*
Baktérium	*Salmonella*
	Shigella
	Enteropatogén Escherichia coli
	Yersinia enterocolitica
	Campylobacter jejuni
	Vibrio cholerae
	Leptospira
Protozoa	*Entamoeba histolytica*
	Giardia lamblia
	Balantidium coli
Férgek	*Ascaris lumbricoides*
	Ancyclostoma duodenale
	Necator americanus
	Taenia saginata

A patogén szervezetek százalékos eliminálása a különböző szennyvíztisztítási folyamatok révén a *25. táblázat* alapján valószínűsíthető (Feachem et al., 1980).

25. táblázat. A patogén szervezetek százalékos eliminálása a különböző szennyvíztisztítási folyamatok révén

Tisztítási eljárás	Enterovírusok	Baktériumok	Protozoa ciszták	Féregpeték
Előülepítés	0–30	50–90	10–50	30–90
Csepegtetőtest*	90–95	90–95	50–90	50–95
Eleveniszap*	90–99	90–99	50	50–99
Oxidációs árok*	90–99	90–99	50	50–99
Szennyvíztisztító tó (3 sorba kapcsolt tó, ≥25 nap tartózkodási idő)	99,90–100	99,99–100	100	100

Megjegyzés:

* A tisztítórendszerben ülepítés, iszaprothasztás és iszapvíztelenítő ágy van.

A táblázatból kitűnik, hogy *bizonyos mennyiségű patogén szervezetek a biológiai stabilizációs folyamatokat túlélik. Szembetűnő a parazitapeték nagy túlélési mértéke.*

A patogén szervezetek mennyiségének az iszapkezelési folyamatok alatti csökkentésére vonatkozó fő üzemeltetési tapasztalatok:

– A csökkentést az iszapkezelési eljárás alapvetően befolyásolja. Mellette számos egyéb tényező (pl. idő, hőmérséklet, pH) hatása is szerepet játszik.

– Az iszapkezelés során a vírus inaktiválásában az ammónia és a detergensek jelentős szerepet játszanak.

– Az iszap szárítása, az iszap nedvességtartalmának csökkentése a vírusok inaktiválását szintén hatékonyan segíti (Ward et al., 1977).

– Az iszapból komposztot készítve, azt egyéb szerves anyagokkal (pl. faforgács) keverik. 3–4 hét szükséges a szerves anyagok lebontásához. Az aerob állapot a levegő komposztprizmába való befúvatásával, vagy a prizma időszakos átforgatásával érhető el. A komposztkészítés termofil folyamat, a hőmérséklet ideálisan 60–70 °C, ami a patogén mikroorganizmusok inaktiválását biztosítja.

Bakteriális vírus f2-vel végzett vizsgálatok szerint, a megfelelően üzemeltetett prizmás komposztrendszer kb. 50 nap alatt teljes vírusinaktiválást eredményez. Enterikus vírus jelenléte a prizmás komposztrendszerben még bizonyított, de az érlelési idő után már nem voltak a komposztban (Bitton, 1980).

– A féregparaziták jelentős hányada az aerob és anaerob iszapstabilizálást túlélheti. Mint a vírusok esetében, a féreg paraziták inaktiválására is nagy hatással van az iszapszikkasztás, ill. -szárítás, a nedvességtartalom csökkenése miatt (Sommers et al., 1972).

– Az iszap besugárzása valamely elektrongyorsítóval vagy sugárforrással, úgy tűnik, nagyon hatékony a patogén mikroorganizmusok és a férgek eliminálásához (Epp és Metz, 1980).

– A mezőgazdasági területen hasznosított iszapban lévő patogén szervezetek túlélésével a *75. táblázat* foglalkozik.

4.1.4. KÉRDÉSEK

1. Melyek a szennyvíztisztító telepeken eltávolított szilárd anyagok? (4.1. fejezet.)
2. Iszapok típusai. (4.1. fejezet.)
3. Melyek az iszapok fő kémiai komponensei? (4.1. fejezet; *21. táblázat.*)
4. Melyek az iszapok szervesanyag-komponensei? (4.1. fejezet.)
5. Hogyan alakulnak az iszapkomponensek az iszapkezelés folyamatai közben? (4.1.1. fejezet.)
6. Milyen tényezők okozzák az iszaptömeg és az iszaptérfogat változó voltát? (4.1.2. fejezet.)
7. Milyen az iszapkezelési műveletek hatása a patogén szervezetekre? (4.1.3. fejezet.)

4.2. SŰRÍTÉS

A sűrítés célja. Az előülepítő, ill az utóülepítő fenekére ülepedett, valamint a szennyvíz-utótisztító lépcsőben keletkező kémiai iszap nagy mennyiségű vizet tartalmaz. Az előülepítő iszap (primary sludge) víztartalma 96–98%. Ha a víztömeg egy részét nem távolítjuk el, az ülepítés utáni iszapkezelő berendezések (rothasztó, iszapvíztelenítő berendezések, szivattyúk) kapacitásának nagyobbnak kell lenni, ami a berendezések létesítési és üzemeltetési költségeit növeli. A csökkentett iszaptérfogat előnyös az égetés és az iszapelhelyezés szempontjából is.

Az iszap nedvességtartalma, szárazanyag-tartalma és relatív térfogata közötti kapcsolat számszerűen a *26. táblázat* alapján értelmezhető.

26. táblázat. Az iszap nedvességtartalma, szárazanyag-tartalma és relatív térfogata közötti kapcsolat

Nedvességtartalom, %	Szárazanyag-tartalom, %	Relatív térfogat
99,5	0,5	1
99,0	1,0	1/2
98,0	2,0	1/4
97,0	3,0	1/6
96,0	4,0	1/8
95,0	5,0	1/10
94,0	6,0	1/12
93,0	7,0	1/14

Az üzemeltető a sűrítéssel elérhető iszaptérfogat-csökkenést a következőképpen számíthatja ki. Kiindulásul (például) az előülepített iszap napi térfogatát (l/d) és szárazanyag-tartalmát (%) kell ismerni.

$$\text{A napi szárazanyag mennyisége (kg/d)} = \text{a kivett előülepített iszap napi térfogata} \times \frac{\text{a kivett előülepített iszap szárazanyag-tartalma (\%)}}{100\%} \times$$

A sűrített iszap igényelt szárazanyag-tartalmának felvétele után a szikkasztott iszap napi térfogata, a megfelelő dimenziókra ügyelve:

$$(l/d) = \frac{\text{napi szárazanyag-mennyiség (kg/d)}}{\text{igényelt szárazanyag-mennyiség (\%)/100\%}}.$$

A sűrítés elsődleges célja a szárazanyag-tartalom növelése, ami egyidejűleg az iszaptérfogat tetemes csökkenésével jár együtt. Így például a 0,8% szárazanyag-tartalmú utóülepítő iszap szárazanyag-tartalmának 4%-ra történő növelése ötszörös iszaptérfogat-csökkenést eredményez.

Az iszap minél nagyobb mértékű sűrítése tulajdonképpen az ülepítő feladata is. Ezt követi az iszap önálló műtárgyban való sűrítése.

A sűrítés az iszapkezelés első lépcsőjének tekinthető. Önálló sűrítő (műtárgy) alkalmazásakor az iszapvíz a recirkuláltatás révén a szennyvíztisztító folyamatrendszerbe kerül vissza. Önálló sűrítőt 0,045 m^3/s szennyvízhozam-nagyságrend alatti telepen ritkán alkalmaznak. Helyette a sűrítés az előülepítő, a rothasztó, vagy mindkettő egyidejű feladata. Az önálló sűrítés többletköltségei nagyobb telepeken a sűrítés fejlett szintű szabályozásakor az elérhető nagyobb iszapkoncentrációval igazolhatók.

A sűrítés általában fizikai úton, gravitációs ülepítéssel, flotációval, centrifugálással, szalagszűréssel valósítható meg. A sűrítési eljárások és azok várható hatékonysága a *27. táblázat* alapján ítélhető meg. A következőkben ezeket az eljárásokat tekintjük át az üzemeltetés szempontjából.

27. táblázat. Sűrítési eljárások, relatív hatékonyságuk

Eljárás	Iszapfajta	Alkalmazás gyakorisága és relatív hatékonysága
Gravitációs sűrítő	Előülepítő iszap	Általánosan alkalmazott, sikerrel. Néha (pl. ipari szennyvizeknél) a hidrociklonnal együttesen az iszap homoktartalmának eltávolítására is használják
	Előülepítő + utóülepítő iszap	Gyakran alkalmazott. Kis telepeken 4–6%-os szárazanyag-tartalom érhető el
	Utóülepítő iszap	Ritkán alkalmazott. Elérhető szárazanyag-tartalom 2–3%
Sűrített levegős flotáció	Előülepítő + utóülepítő iszap	Korlátozottan alkalmazott. Hatékonysága a gravitációs sűrítőhöz hasonló
	Utóülepítő iszap	Általánosan alkalmazott. 3,5–5%-os szárazanyag-tartalom
Dekantáló centrifuga	Utóülepítő iszap	Korlátozottan alkalmazott. Jó hatásfok: 8–10%-os szárazanyag-tartalom
Tálcás centrifuga	Utóülepítő iszap	Alkalmazása fokozódó. 4–6%-os szárazanyag-tartalom
Szalagszűrő prés	Utóülepítő iszap	Alkalmazása fokozódó. Hatásfok: 3–6% szárazanyag-tartalom
Forgódobos víztelenítő	Utóülepítő iszap	Korlátozottan alkalmazott. Jó hatásfok: 5–9% szárazanyag-tartalom

4.2.1. GRAVITÁCIÓS SŰRÍTÉS

A *gravitációs* sűrítés elsősorban az előülepített iszap, a mésziszapok, az előülepített- és eleveniszap-keverék, és csak ritkán alkalmazzák az önálló eleveniszap sűrítéséhez (Miorin et al., 1977).

Mindenekelőtt a folyamatos üzemű *gravitációs ülepítés és sűrítés üzemeltetési alapelveit kell összehasonlítani.* A két folyamat közötti különbség általában kevésbé értelmezett. *Az ülepítés/sűrítés szorosan egymáshoz kapcsolódó folyamatok.*

Az *ülepítéskor* a lebegőanyagok és a folyadék a relatív mozgásuk révén szeparálódnak. Az ülepedés az ülepítő-sűrítő terében felül jelentkezik, a lebegő részecskék süllyednek, felettük tiszta folyadéktér keletkezik.

Sűrítéskor a lebegőanyagok koncentrációja nő, miközben a szilárd részecskék egymáshoz közelebb kerülnek. A sűrítés a fenékzónában jön létre. A sűrítés közben a szilárd részecskék a felettük lévő részecskék súlyából származó nyomás hatására tömörödnek.

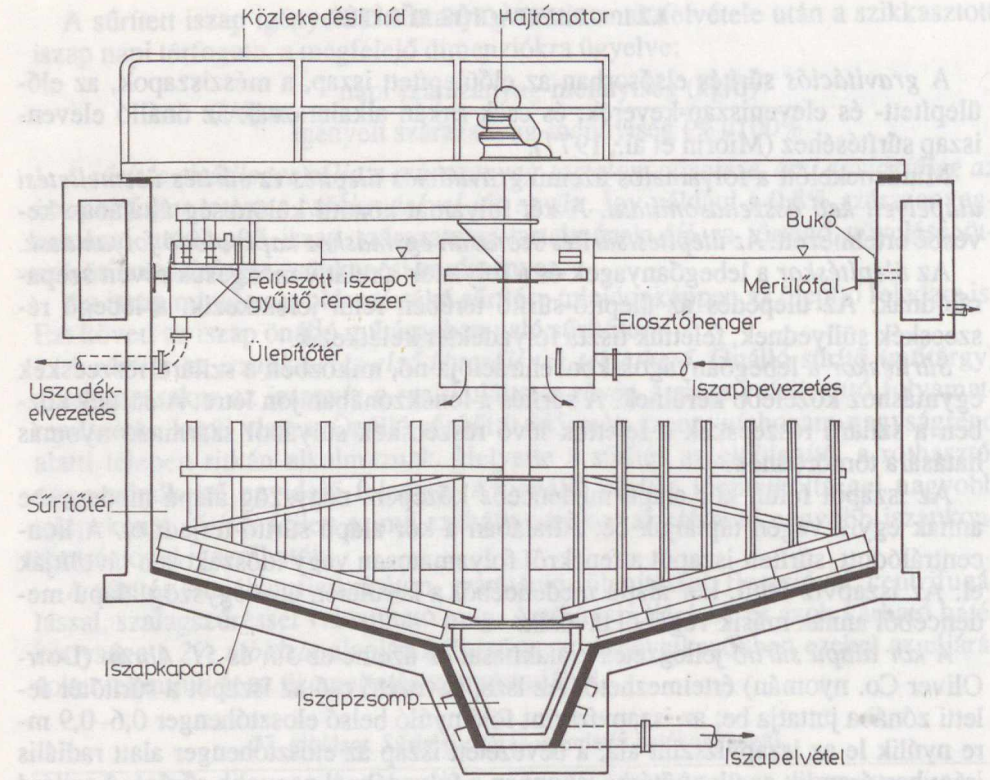
Az iszapot felül, kör alapú medencébe középen, négyszög alapú medencébe annak egyik végén táplálják be. Általában a kör alapú sűrítő terjedt el. A koncentrálódott, sűrített iszapot a fenékről folyamatosan vagy időszakosan távolítják el. Az iszapvíz felül, kör alapú medencéből a kerületén át, négyszög alapú medencéből annak másik végéből távozik.

A kör alapú sűrítő jellegzetes kialakításai és üzeme az *50.* és *51. ábrán* (Dorr-Oliver Co. nyomán) értelmezhető. Az iszapbevezető cső az iszapot a sűrítőtér feletti zónába juttatja be; az iszapvízszint fölé nyúló belső elosztóhenger 0,6–0,9 m-re nyúlik le az iszapvízszint alá; a bevezetett iszap az elosztóhenger alatt radiális irányban áramlik az ülepítőtérbe, ahonnan a folyadéknál nagyobb sűrűségű szilárd részecskék az alul lévő sűrítőtérbe, ill. a fenékzónába ülepszenek. A bevezető és elosztó berendezés hivatott az adott geometriájú sűrítőben az ülepítés és sűrítés szempontjából megfelelő (gyakorlatilag rövidzárlatmentes) áramlási viszonyok létrehozására. A rövidzárlat helyét, áramlásviszonyait, kedvezőtlen szerepét az *52. ábra* (Dixon, 1985 nyomán) érzékelteti. A lassan forgó iszapkaparó a sűrített iszapot az iszapzsompba mozgatja. Az iszapkaparó forgási sebessége nem lehet akkora, amely a már sűrűsödött, kompakt iszapot újra szuszpenzióállapotba hozza és ezáltal felúszását elősegíti. A sűrítő fenékfelülete az iszap könnyebb mozgatása céljából az iszapzsomp irányába lejt. A fenék lejtése az ülepítőmedencék fenéklejtésénél nagyobb, 2:12–3:12. Az üzemeltetési tapasztalatok szerint a nagyobb lejtés

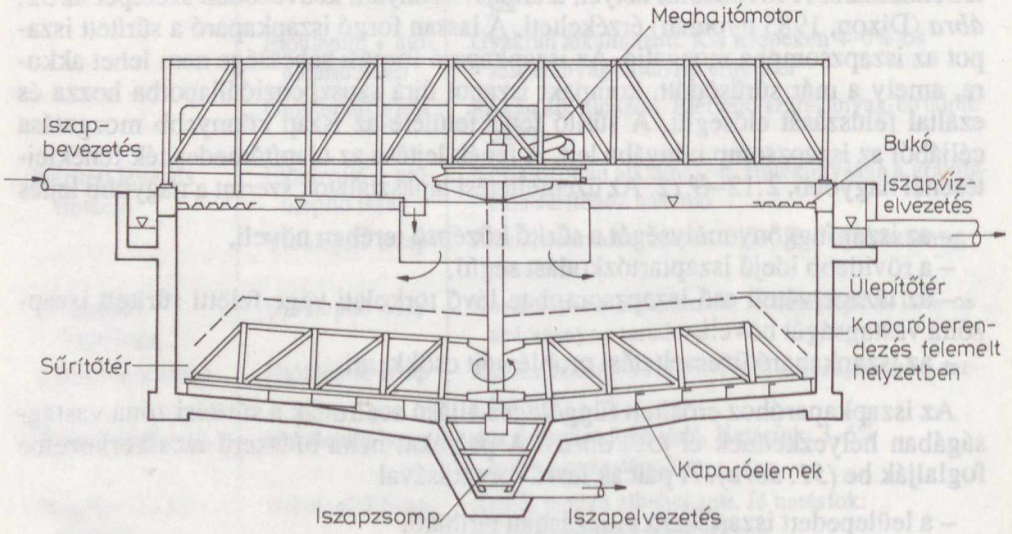
– az iszapfüggöny mélységét a sűrítő középső terében növeli,
– a rövidebb idejű iszaptartózkodást segíti,
– az iszapelvételi cső iszapzsompban lévő torkolati vége feletti sűrített iszapzóna vastagságát növeli,
– az iszapkaparó üzemeltetési problémáit csökkenti.

Az iszapkaparóhoz erősített függőleges állású acélrudak a sűrítési zóna vastagságában helyezkednek el *(50. ábra)*. A pálcákat néha hídszerű rácsszerkezetbe foglalják be *(51. ábra)*. A pálcák lassú forgatásával

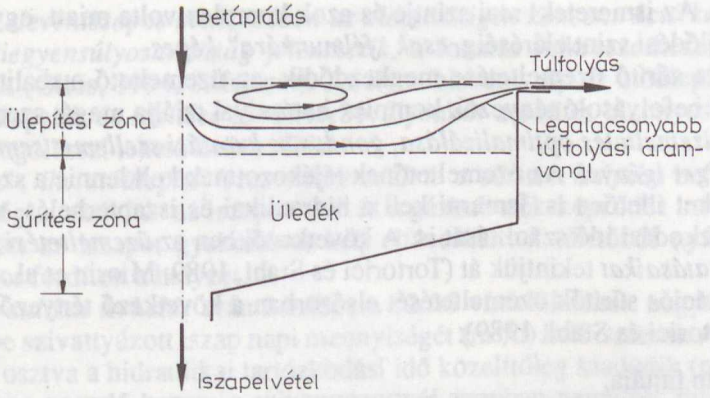
– a leülepedett iszap lassú mozgásban tartható,
– az iszapszemcsék hídszerű (boltozatos) pelyhesedése akadályozható,



50. ábra. Kör alapú gravitációs sűrítő



51. ábra. Kör alapú gravitációs sűrítő



52. ábra. Hidraulikai rövidzárlat a hibás kialakítású, kör alapú sűrítő ülepítőterében

– a leülepedett iszap terébe záródott, vagy az ott képződő gázbuborékok a keverés által képződő helyi, kisebb hidraulikai ellenállású járatokon keresztül történő kiszabadulása elősegíthető. Ezáltal a rendszerint denitrifikáció által keletkező gázbuborékok okozta iszapfelúszás veszélye mérsékelhető, az iszap sűrítésének mértéke pedig növelhető,

– az ülepítőtér felszínén a nagymértékű iszapfelhalmozódás csökkenthető. Ezáltal a környezeti ártalmak és a szaghatás szabályozható,

– az iszap rétegeződése elkerülhető (Eckenfelder és Ford, 1970).

Az iszapvíz a sűrítő felső részéből a kerület mentén lévő túlfolyó bukón keresztül távozik. A felúszott anyagok iszapvízzel való együttes eltávozásának megakadályozása céljából a bukó elé merülőfalat kell beépíteni. A felúszott anyagokat forgó gyűjtőberendezés továbbítja az elvezetőcsőbe.

Az uszadékot, nagy zsírtartalma miatt, nagyon nehéz szivattyúzni, mert bedermed a szivattyúban és a nyomócsőben.

Az iszapzsompból kivett iszapot rothasztóba, vagy közvetlenül a víztelenítő rendszerbe kell szivattyúzni.

Az üzemeltetési tapasztalatok szerint, mivel *nagy koncentrációjú iszapot kell az iszapzsompból elszívni, ezért az elfolyócső a sűrítés kritikus eleme.* Az elfolyócsőben *nagy a nyomásveszteség*, ezért az elfolyócső hossza a lehető legrövidebb legyen. Ha nagymértékű eldugulás veszélye áll fenn, különösen mésziszapok esetében, két iszapelvételi cső létesítendő. Az egyik a normál üzemeltetést teszi lehetővé, míg a másik, eldugult csövet tisztítják.

4.2.1.1. A GRAVITÁCIÓS SŰRÍTÉST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A tervező a gravitációs sűrítő méreteit a *fő paraméterek alapján* határozza meg. Ez a meghatározás a sűrítés folyamatai szempontjából eleve bizonyos fokú közelítés. De – és ezt ma már egyértelműen érzékelnünk kell – a tervező nem is

tehet mást. Az ismeretek mai szintje és azok komplex volta miatt, egy bizonyos további fejlődési szint eléréséig, *csak „félmunkára" képes.*

Miután a sűrítő üzemeltetése megkezdődik, az üzemeltető a realitásokkal, a különböző befolyásoló tényezők komplex hatásaival találja magát szemben. *Feladata, az üzemeltetés optimalizálása, gondos, a kutatási szellemet sem nélkülöző tevékenységet igényel.* Az üzemeltetőnek tájékozottnak kell lennie a szabályozási lehetőségeket illetően is. Ismerni kell a hidraulikai és iszapterhelés, továbbá az iszap-tartózkodási idő számítását is. A következőkben az *üzemeltetési paramétereket, ill. hatásaikat* tekintjük át (Tortorici és Stahl, 1989; Miorin et al., 1977).

A gravitációs sűrítők üzemeltetését elsősorban a következő tényezők befolyásolják (Tortorici és Stahl, 1989):

– az iszap fajtája,
– az iszaptérfogati index (SVI; Öllős, 1994, 8. fejezet),
– a betáplált iszap kora,
– a betáplált iszap hőmérséklete,
– az iszap- és a hidraulikai tartózkodási időtartam,
– az iszap- és a hidraulikai terhelés.

Mind az iszap fajtája, mind annak kora egyaránt jelentősen befolyásolja a sűrítő hatékonyságát.

1. Az üzemeltetési tapasztalatok szerint *az előülepített iszap* sűríthető a legnagyobb mértékben. De ha az előülepített iszap szeptikus (berothadt), vagy a rothadásra hajlamos, akkor a biológiai lebontódás során a sűrítőben H_2S-, CH_4-, CO_2-gázok termelődnek, melyek az iszaprészecskék felúszását idézhetik elő. Emiatt

a sűrítés mértéke, s így
a sűrítő hatékonysága

gyengébb.

A normál üzemű sűrítő felszíne viszonylag *tiszta,* iszaptól, buborékoktól mentes.

2. *Az utóülepített iszap* sűríthetősége az előülepített iszapéhoz hasonlítva, eleve kedvezőtlenebb. Az utóülepített iszapot zömmel sejtanyagok alkotják. A sejtekben lévő és a részecskék felületéhez szorosan kötődő víz a kötött víz. Ezért az utóülepített iszap sűrűsége az előülepített iszapénál kisebb. A biológiai iszapok (sejtek) belsejének kb. 85–90 súly%-a víz. A biológiai iszapok

– nagy térfogatú víztartalmuk, valamint
– az előülepített iszapoknál gyakran finomabb, kisebb részecskeméretük miatt *nehezebben sűríthetők.*

3. Az *utóülepített iszap kora* is befolyásolja a sűrítést. Az utóülepítőben leülepedett iszap zónájában az oldott oxigén egyes esetekben elfogyhat. Ha tehát az iszap az utóülepítőben vagy a sűrítőben túl hosszú ideig tartózkodik és az oldott oxigén koncentráció zérusra csökken, az eleveniszapos folyamat közben keletkező nitrát nitrogéngázzá formálódik (denitrifikáció). A felszálló nitrogénbuborékok az utóülepítő és a sűrítő hatásfokát egyaránt csökkentik.

4. *Ha az eleveniszapos medencében az oldott oxigén koncentráció kevés, vagy tápanyag-kiegyensúlyozatlanság jelentkezik,* a fonalas mikroszerkezetek elszaporodhatnak (Öllős, 1994, 8. fejezet). Az ilyen eleveniszap az utóülepítőben nehezebben ülepszik és *sűrítése is nehezebb.* Ilyenkor a sűrítés bizonyos mértékig vegyszeradagolással tehető kedvezőbbé.

5. Az *elő-, ill. utóülepítő iszap hőmérséklete* a sűrítést szintén befolyásolja, mert a biológiai aktivitás az iszapban nő és a gázbuborék-képződés intenzívebbé válik. Emiatt az iszapot gyakrabban kell eltávolítani a sűrítőből nyáron, mint télen, amikor fordított a helyzet.

6. *A hidraulikai terhelés* számításához a sűrítő vízfelületének nagyságát (m^2) és a sűrítőbe szivattyúzott iszap napi mennyiségét (m^3/d) kell ismerni. A hozamot a felülettel osztva a hidraulikai tartózkodási idő közelítőleg kiadódik ($m^3/m^2 \cdot d$). A figyelembe veendő hozam a szivattyúzottnál azonban nagyobb, mert az üzemeltetési tapasztalatok szerint, a sűrített iszap minél nagyobb koncentrációjának eléréséhez és a sűrítőben képződő szeptikus (anaerob) állapotot illetőleg a szagképződés elkerülése miatt jelentős mennyiségű friss vizet (rendszerint utóülepített szennyvizet) kell a sűrítőbe vezetni, és azt az iszappal össze kell keverni. Az üzemeltetési tapasztalatok szerint a sűrítőbe táplált előülepítő iszap és az utóülepítő iszap keverékének koncentrációja az 5000 mg/l-t nem lépheti át, általában 3500 mg/l koncentráció az elfogadott.

Olyan tapasztalat is ismert, amely szerint a sűrítő iszapjának frissen (szagmentesen) tartása érdekében a sűrítőbe táplált, utóülepített iszap térfogata az előülepített iszap térfogatának legalább nyolcszorosa legyen (Torpey, 1954). Ez a koncentráció gyakorlatilag nem mindig alkalmazható; különösen a kis telepeken nem célszerű alkalmazni, ezért a 4:1 arány és az ennél nagyobb arányok vezetnek kielégítő sűrítéshez. Ilyen feltételek betartásával a sűrítő túlfolyóján távozó iszapvíz BOI_5- és lebegőanyag-koncentrációja a telepre befolyó nyers szennyvíz BOI_5- és lebegőanyag-koncentrációjánál kisebb marad.

Hangsúlyozni kell azonban, hogy az egyes telepek szennyvizei, ill. szennyvíziszapjai egyedi tulajdonságai miatt az üzemeltetőnek *a hidraulikai terhelést is magának kell beszabályoznia.*

A sűrítők jellemző hidraulikai terheléstartománya 16–32 $m^3/m^2 \cdot d$. Ha az utóülepített szennyvíz és az iszap keveréke túl híg, vagy fölös eleveniszap esetében, a hidraulikai terhelés tartománya 4–8 $m^3/m^2 \cdot d$.

7. *Az iszapterhelés* a sűrítő egységnyi felületére (m^2) eső adagolt napi iszapsúly (kg). A számításhoz először a sűrítő vízszintes felületét kell ismerni. Majd az iszaphozam és az iszapkoncentráció szorzataként a napi iszapsúly kiadódik. Az iszapterhelés ($kg/m^2 \cdot d$), az iszapsúly (kg/d) és a sűrítőfelület (m^2) hányadosaként számítható. Az iszapterhelés optimális értékét *az iszap fajtája jelentősen befolyásolhatja.* Közelítő iszapterhelések és a hozzájuk tartozó, a sűrítőből kivett iszap százalékos szárazanyag-tartalom tartományok a 27. *táblázat*ban adottak.

8. Sűrítés esetében az üzemeltető különösen fontos feladata, hogy a sűrítőbe vezetett iszap szilárd- (száraz-) anyag-tartalmából minél többet szeparáljon, hiszen a sűrítő elfolyó iszapvizét a tisztítótelep elejére kell *visszavezetni.* Ha a recir-

kuláltatott iszap szilárdanyag-koncentrációja nagy, akkor a tisztítótelepen egyre több és több iszapot kell tisztítani.

9. A sűrítő hatásfoka az iszapkoncentrációt illetően a *koncentrációtényezővel* fejezhető ki:

$$\text{Koncentrációtényező} = \frac{\text{Sűrített iszap koncentrációja, \%}}{\text{Sűrítendő iszap koncentrációja, \%}} . \qquad (22)$$

Az üzemeltetőnek arra kell törekedni, hogy a koncentrációtényező előülepítő iszap esetében

$$\geq 2{,}0,$$

utóülepítő esetében

$$\geq 3{,}0$$

legyen.

10. *Az iszap tartózkodási ideje* azt fejezi ki, hogy az iszap milyen hosszú ideig van a sűrítőben. Befolyásoló tényezői:

– a sűrítőbe adagolt iszap mennyisége,
– az iszapfüggöny vastagsága és átlagos koncentrációja,
– a sűrítő fenékzónájából elvett iszap mennyisége.

Az iszap tartózkodási idejének bizonyos mértékű befolyásolására *ez esetben is az üzemeltető képes* azáltal, hogy az iszapfüggöny vastagságát és sűrítőbeli helyzetét szabályozza. Az iszapfüggöny normál vastagsága 1,5–2,4 m. Az iszapelvétel mértéke megfelelő legyen, hiszen az iszapfüggöny szintje ez úton is szabályozható.

Ha

– az iszapfüggöny túl magas szintű és
– az iszap tartózkodási ideje túl hosszú, akkor
– gázképződés léphet fel, majd ezt követheti
– az iszapfelúszás, ill. ennek következtében az elfolyó iszapvíz minőségének romlása.

Amint az előzőkben is szóba került, az üzemeltető arra is gondoljon, hogy a sűrítő üzemeltetését egyes iszapok esetében már a tisztítótelepi folyamatok eleve befolyásolják. Ezért az üzemeltető a sűrítési (és rendszerint egyéb tisztítási és kezelési) folyamatokat csak *a folyamatos közelítés elvének szem előtt tartásával tudja optimalizálni, ill. optimális tartományban beszabályozni és ott relatív egyensúlyban tartani.*

Az iszap tartózkodási idejének szabályozására az *iszaptérfogati arány* alkalmazható, amely az iszapfüggöny-térfogat és a sűrítőből kivett iszap napi térfogata. Az iszaptérfogati arány kedvező tartománya 0,5–2,0 d. A nagyobb iszaptérfogati arány a maximális iszapkoncentráció elérését segíti. Meleg időszakban a gázképződés elleni védekezésként a kisebb iszaptérfogati tartomány beszabályozása kívánatos.

4.2.1.2. A SŰRÍTŐ BEINDÍTÁSA

A sűrítő *üzembe helyezésének menete* a következő (Tortorici és Stahl, 1989):

1. A sűrítőt friss vízzel vagy tisztítótelepi elfolyó szennyvízzel fel kell tölteni.

2. Az iszapkaparó- és a felúszott iszapot gyűjtő berendezést be kell kapcsolni. Hosszabb idejű üzemeltetésük után, meggyőződve megbízható működésükről, meg lehet kezdeni az iszapbevezetést.

3. Kondicionálószer-adagolás, ha szükséges.

4. Minden bevezető tolózárat ki kell nyitni.

5. Az iszapbevezető tolózár kinyitása után, ha lehetséges, annak beszabályozása következik.

6. Az iszapfüggöny mélységét ellenőrizni kell.

7. Minden iszapelvételi tolózárat ki kell nyitni.

8. Az iszapszivattyút automatikus működési helyzetbe kell hozni.

9. Ezt követően az iszapfüggöny mélységét és a sűrített iszap koncentrációját rutinszerűen kell ellenőrizni; ezáltal az iszapelvétel mértéke beszabályozható.

A sűrítés optimális folyamata folyamatos üzemeltetést igényel. Ha a folyamatos üzemeltetés nem lehetséges és napi vagy gyakori leállítás szükséges, akkor a sűrítő *leállítási rendje* a következő:

1. A befolyási iszapszivattyút le kell állítani és a megfelelő tolózárakat el kell zárni.

2. A vegyszeradagolókat le kell állítani (ha szükség volt rájuk).

3. Ami nagyon fontos, az iszapkaparót és a felúszott iszapot terelő berendezést tovább kell üzemeltetni mindaddig, amíg az iszapvíz felszíne a felúszott anyagoktól mentessé válik, ill. a sűrített iszap a fenékzónából eltávozott. A sűrítőbe friss vizet vagy utóülepített szennyvizet kell még vezetni, ezáltal biztosítható a sűrítő iszapvízfelszínén lévő felúszott iszap teljes eltávolítása.

4. Ezután a felúszott iszapot gyűjtő és a sűrített iszapot kaparó berendezés leállítható, és az iszapelvételi berendezés is üzemen kívül helyezhető.

4.2.1.3. VEGYSZERADAGOLÁS A GRAVITÁCIÓS SŰRÍTÉSHEZ

Számos telepről szerzett gyakorlati tapasztalatok szerint az alumínium-szulfát és vasklorid adagolásakor keletkező iszapok a mészadagolású iszapoknál nehezebben víztelenithetők. Az adagolt vegyszer mennyisége azonban jelentős hatást gyakorol a sűrített iszap tulajdonságaira. A vegyszerdózist laboratóriumi körülmények között célszerű meghatározni. A jellemző vegyszeradag-tartományokat a *28. táblázat* mutatja.

28. táblázat. Jellemző $FeCl_2$ és CaO vegyszeradag-tartományok gravitációs sűrítés esetében

Iszapfajta	Iszap eredete			
	friss (előülepített)		rothasztott	
	vegyszeradag, mg/l			
	$FeCl_2$	CaO	$FeCl_2$	CaO
Előülepített	1–2	6–8	1,5–3,5	6–10
Előülepített + csepegtetőtestes	2–3	6–8	1,5–3,5	6–10
Előülepített + eleveniszapos	1,5–2,5	7–9	1,5–4,0	6–12
Utóülepített	4–6	–	–	–

A táblázatbeli vegyszereken túlmenően a sűrítés fokozása céljából polimerek is adagolhatók. Adagjuk lombikvizsgálattal (jar test) határozható meg. A polimeradagolás ajánlott helyei:

– az iszapot sűrítőbe tápláló szivattyú szívócsövébe,
– közvetlenül a betápláló szivattyú után,
– a sűrítőbe vezetés helyén (EPA, 1979).

Ez utóbbi adagolással kapcsolatban az üzemeltetési tapasztalatok azt bizonyítják, hogy *a vegyszer sűrítőben való homogén eloszlású bekeverése, a viszonylag nagy iszapsűrűség miatt, nehezebb feladat.*

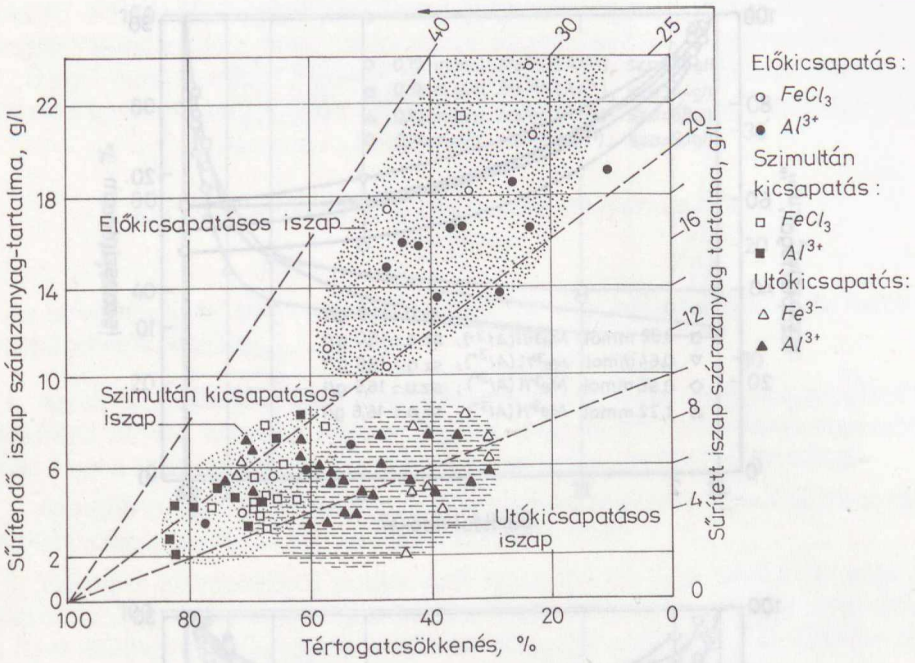
A sűrítő iszapterhelése, a polimeradagolás révén, az adagolás nélküli sűrítő iszapterhelésének két-négyszerese lehet (EPA, 1979).

Jellemző polimeradagok: 1–5 mg/l (Ettlich et al., 1978).

4.2.1.4. AZ ELŐ-, SZIMULTÁN ÉS UTÓKICSAPATÁSI LÉPCSŐBŐL SZÁRMAZÓ ISZAPOK SŰRÍTHETŐSÉGE

A szennyvíztisztítás intenzívebbé tétele céljából a mechanikai és a biológiai lépcsőbe *adagolt vegyszer(ek) az iszapok sűríthetőségi tulajdonságait is megváltoztatják.* Ennek következtében a sűrítés folyamatai, ill. a sűríthetőség mértéke is bizonyos mértékig módosul (*53. ábra;* Weyrauch nyomán, 1972). Az ábra érzékelteti, hogy

– a különböző kicsapatásos lépcsőből származó, sűrítendő iszapok szárazanyag-tartalma eltérő,
– az előkicsapatásos iszap (Primärschlamm) szárazanyag-tartalma a másik két iszapénál lényegesen nagyobb,
– a legnagyobb mértékű térfogatcsökkenés a szimultán kicsapatásos iszap (Secundärschlamm) sűrítésekor érhető el,
– a sűrített iszap szárazanyag-tartalma az előkicsapatás esetén a legnagyobb,



53. ábra. Az elő-, szimultán és utókicsapatásból származó iszap sűríthetőségének összehasonlítása alumínium- és vassó adagolásakor

– a sűrített iszap szárazanyag-tartalma a szimultán és az utókicsapatásos iszapok esetében kismértékű,

– az utóülepítőből származó utókicsapatásos iszap (Tertiärschlamm) szárazanyag-tartalma nagyon kicsi, ezért sűríthetősége eleve kedvezőtlen,

– a nagy szárazanyag-tartalmú, előkicsapatásos iszap sűrítése általában kisebb mértékű iszaptérfogat-csökkenéssel jár együtt, vagyis ez esetben a kicsapószer

– sem az iszaptérfogat csökkenését,

– sem a sűrített iszap szárazanyag-tartalmát alapvetően nem befolyásolja.

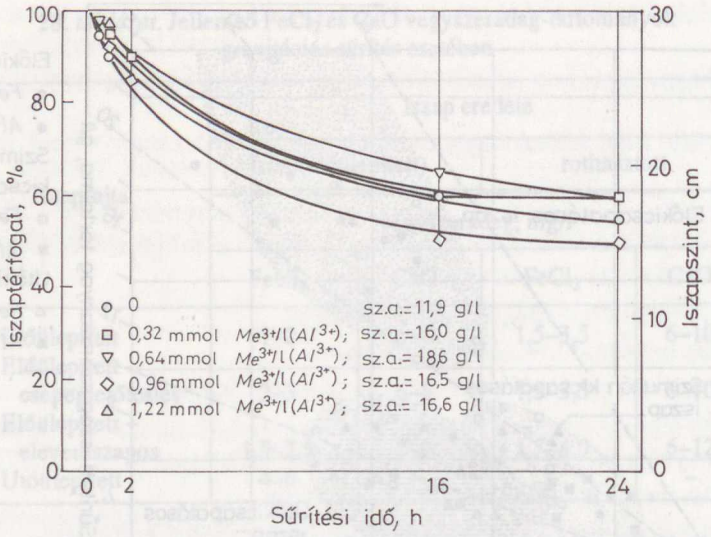
Az üzemeltetőnek ezen üzemeltetési tapasztalatokat illetően is tájékozottnak kell lennie, hiszen ezen ismeretek a sűrítést alapvetően befolyásolják.

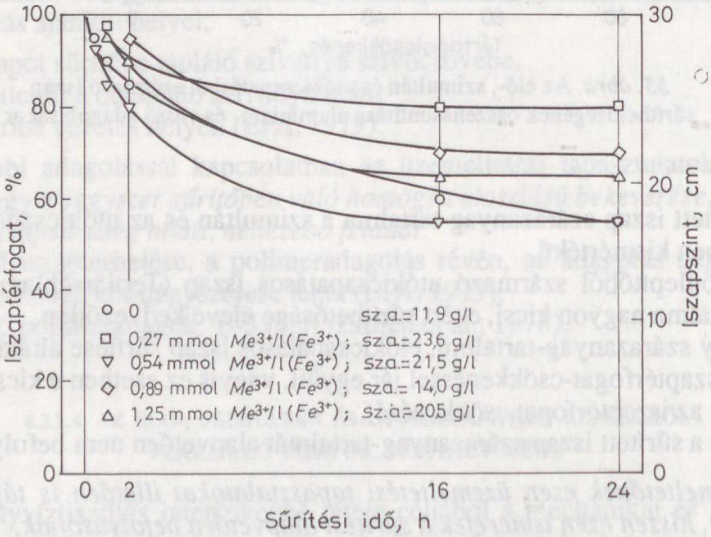
Az iszaptérfogat idő szerinti változásának módja és mértéke közelítőleg az *54.* és *55. ábrán* követhető (Mertsch nyomán, 1987). Az ábrák alapján az üzemeltető a következőket állapíthatja meg:

– Előkicsapatásos iszap sűrítésekor az iszapszintváltozás tartománya (ingadozása) vassó-adagolás hatására nagyobb mértékű, mint alumíniumsó hatására *(54. ábra)*. Ez a megállapítás az utókicsapatásos iszapra is érvényes *(56. ábra)*.

– Alumíniumsóval történő utókicsapatást követő iszapsűrítés viszonylag gyors lefolyású *(56. ábra)*.

– Általános tapasztalat, hogy a sűrítési gradiens 24 óra elteltével számottevően nem változik.

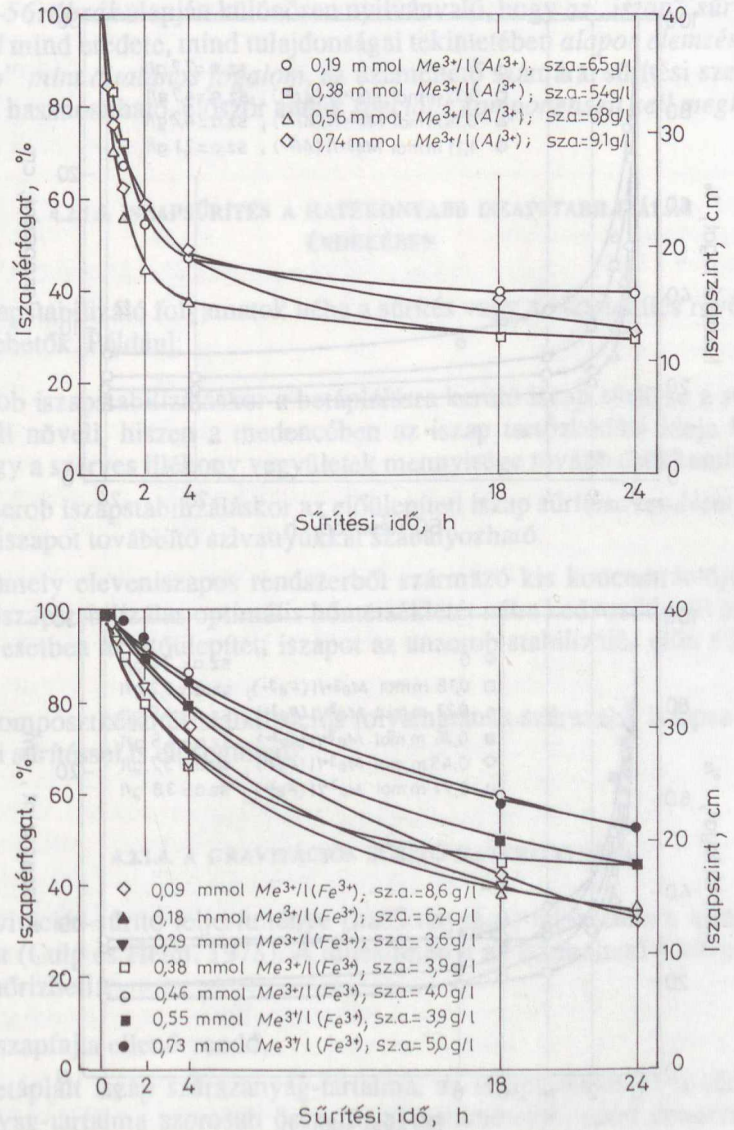




54. ábra. Az előkicsapatásos iszap térfogatának időbeli változása a sűrítés folyamán, alumínium- és vassó adagolásakor

– A szimultán kicsapatásos iszap sűrítésekor az iszaptérfogat-csökkenés az idő függvényében alumínium- és vassó esetében gyakorlatilag azonos módon alakul *(55. ábra).*

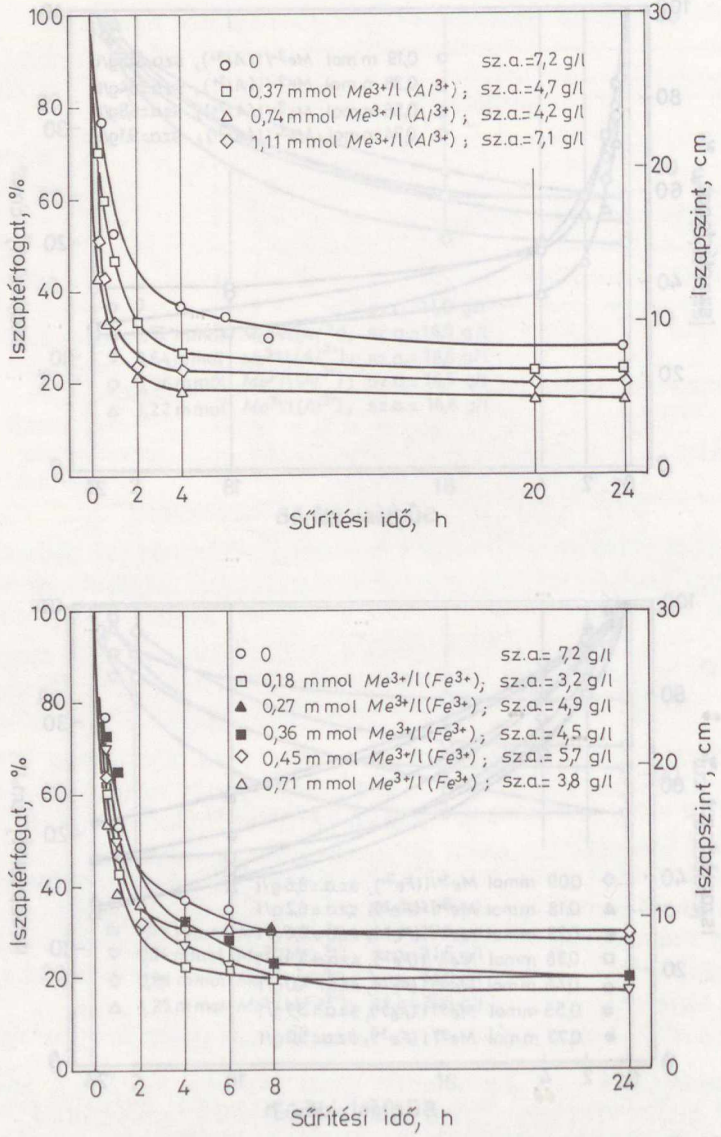
Az *54.* és *56. ábra* arra utal, hogy *a kicsapatásos iszapok térfogatának időbeli változását elsősorban a kicsapatási eljárás módja, nem pedig az alkalmazott vegyszerfajta befolyásolja.*



55. ábra. A szimultán kicsapatásos iszap térfogatának időbeli változása a sűrítés folyamán, alumínium- és vassó adagolásakor

Az üzemeltetőnek a sűrítéssel kapcsolatban a következő kutatási eredményeket is célszerű betartani (Mertsch, 1987):

– a zömmel szemcsés anyagokat tartalmazó iszapok, mint amilyen az előkicsapatásos előülepítő iszap, sűrítéskor a pelyhes szerkezetű eleveniszapoknál és a hidroxidiszapoknál nagyobb mértékben tömörödnek. Emiatt az elő-, a szimultán és az utókicsapatásos iszapok *sűríthetősége eleve eltérő*,



56. ábra. Az utókicsapatásos iszap térfogatának időbeli változása a sűrítés folyamán, alumínium- és vassó adagolásakor

– az utókicsapatásos iszapok esetében a kompressziós nyomás például az előkicsapatásos iszapokénál kisebb. Ezért az utókicsapatásos iszapok szárazanyagtartalma a szimultán és különösen az előkicsapatásos iszapokénál kisebb *(53. ábra)*,

– a vegyszerdózis növelése, mind a három iszapfajta esetében, viszonylag kis sűrítésnövelést eredményez.

Az *53–56. ábrák* alapján különösen nyilvánvaló, hogy *az „iszap" sűrítés szempontjából* mind eredete, mind tulajdonságai tekintetében *alapos elemzésre szorul. Az „iszap" mint általános fogalom,* az üzemeltető számára, sűrítési szempontból még nem hasznosítható, először annak *speciális komponenseit kell meghatározni.*

4.2.1.5. ISZAPSŰRÍTÉS A HATÉKONYABB ISZAPSTABILIZÁLÁS ÉRDEKÉBEN

Az iszapstabilizáló folyamatok néha a sűrítés vagy a víztelenítés révén hatékonyabbá tehetők. Például:

1. Aerob iszapstabilizáláskor a betáplálásra kerülő iszap sűrítése a stabilizálás hatásfokát növeli, hiszen a medencében az iszap tartózkodási ideje hosszabbá válik, s így a szerves illékony vegyületek mennyisége tovább csökkenthető.

2. Anaerob iszapstabilizáláskor az előülepített iszap sűrítése rendszerint az előülepített iszapot továbbító szivattyúkkal szabályozható.

3. Valamely eleveniszapos rendszerből származó kis koncentrációjú iszap az anaerob iszapstabilizálás optimális hőmérsékletét néha kedvezőtlenül befolyásolja. Ilyen esetben az utóülepített iszapot az anaerob stabilizálás előtt sűríteni célszerű.

4. A komposztkészítés stabilizációs folyamatának szárazabb iszapra van szüksége, ami sűrítéssel is elősegíthető.

4.2.1.6. A GRAVITÁCIÓS SŰRÍTŐ HATÉKONYSÁGA

A gravitációs sűrítő teljesítménye (hatékonysága) tekintetében a *29. táblázat* tájékoztat (Culp és Heim, 1978). A teljesítményt az üzemeltető a következő módon ellenőrizheti:

1. az iszapfajta ellenőrzendő,

2. a betáplált iszap szárazanyag-tartalma, az iszapterhelés és a sűrített iszap szárazanyag-tartalma szorosan összefüggő paraméterek, ezért ismeretük nélkülözhetetlen,

3. a 2. pontbeli paramétereket a *29. táblázat*ban lévő megfelelő teljesítményadattal kapcsolatba kell hozni,

4. ha a sűrítő nem a táblázatban adott értéken vagy annak közelében üzemel, akkor az üzemeltetés nem optimális, az üzemzavart ki kell küszöbölni (lásd *30. táblázat*).

29. táblázat. Gravitációs sűrítő iszapterhelési és teljesítményadatai

Iszapfajta	Betáplált iszap szárazanyag-tartalma, %	Jellemző terhelési tartomány, $kg/m^2 \cdot d$	Sűrített iszap szárazanyag-tartalma, %
Előülepített	4,0	98–146	7,0–8,0
Csepegtetőtestes humusziszap	1,0	39–49	7,0–9,0
Előülepített + $FeCl_3$	2,0	29	4,0
Előülepített + kis mészadag	5,0	98	7,0
Előülepített + nagy mészadag	7,5	122	12,0
Előülepített + utóülepített	2,0	29–49	4,0
Utóülepített	1,0	24–29	2–3
Előülepített + (utóülepített + $FeCl_3$)	1,5	29	3,0
(Előülepített + $FeCl_3$) + utóülepített	1,8	29	3,6
Rothasztott előülepített	8,0	122	12,0
Rothasztott előülepített + utóülepített	4,0	73	8,0
Rothasztott előülepített + (utóülepített + $FeCl_3$)	4,0	73	6,0
Utótisztításból, két helyen nagy mészadagolás	4,5	292	15,0
Utótisztításból, kis mészadag	3,5	292	12,0

4.2.1.7. GRAVITÁCIÓS ELŐSŰRÍTÉS

Az üzemeltető számára nagyon tanulságos a *rothasztást megelőző* elő- és utóülepített iszap keverékének *gravitációs elősűrítése* (Torpey, 1954b; Torpey és Melbinger, 1967) is. *A gravitációs elősűrítés révén a rothasztó térfogata 1/4-ére csökkenthető. További előny, hogy a rothasztó iszapvize az elősűrítőbe vezethető vissza.* Az elősűrítő elfolyó iszapvize a rothasztó elfolyó iszapvizénél jóval kedvezőbb minőségű. Ezért az elősűrítő iszapvizét a szennyvíztisztító rendszer elejére vezetve vissza, annak terhelésnövelő hatása kisebb mértékű. Az elősűrítés révén a rothasztóba vezetendő iszap hőcserélő rendszere sokkal gazdaságosabban létesíthető és üzemeltethető, hiszen az iszaptérfogat csökkent.

A gravitációs elősűrítés alkalmazhatóságát természetesen a gazdasági megfontolások alapján is célszerű megítélni.

Gondolni kell azonban arra is, hogy *az iszap bizonyos határon túli sűrítése* a rothasztó üzemeltetését már károsan befolyásolhatja:

1. *A rothasztóban a megfelelő keverés fenntartása nehézzé válik.* Ez akkor következik be, ha az iszap szárazanyag-tartalma a rothasztóban 6% fölé emelkedik (Sawyer és Corumbling, 1960). Tekintettel az illékony anyagok rothasztás közbeni keletkezésére, a szárazanyag-koncentráció a rothasztóba táplált iszap szárazanyag-koncentrációjánál kisebb. Ezért a rothasztóba táplált iszap szárazanyag-

tartalma 8–9% is lehet, mielőtt a rothasztóbeli keverésre gyakorolt káros hatása jelentkezne.

2. A rothasztóba táplált *nagy koncentrációjú iszap* a rothasztóbeli iszap koncentrációját fokozatosan, egyre inkább növeli. Ennek következtében a rothasztóba kerülő komponensek, mint

– a sók és
– nehézfémek,

valamint a rothasztás közben termelődő termékek, mint

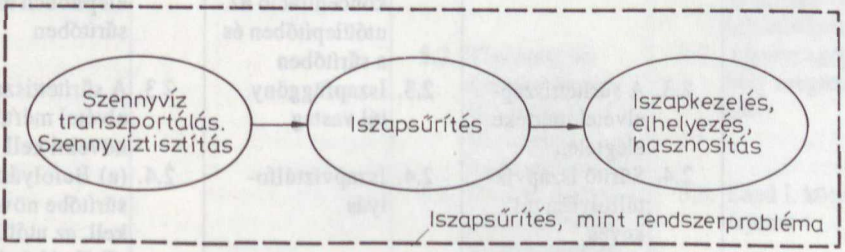
– az illékony savak és
– ammóniumsók

koncentrációja is olyan szintet érhet el, amely a baktériumokra már toxikus hatású (Clark és Orr, 1972). Példa: a rothasztót három hónapos időszakon keresztül, 8,2–9,0%-os szárazanyag-tartalmú, sűrített iszappal táplálva, az ammónium lúgosságú termékek a toxikus koncentrációküszöböt átlépték (Zablatzky és Peterson, 1968). A sűrítés hasznos, de mértékét optimalizálni kell.

Az üzemeltetőnek, érzékelve a gravitációs sűrítéssel kapcsolatos, előzőkben tárgyalt folyamatokat, azok rendkívül komplex voltát, rá kell jönnie, hogy *a sűrítés is rendszerprobléma (57. ábra)*, hiszen azt

1. a szennyvíztisztító telepre érkező szennyvíz minősége (például annak szeptikus – anaerob – állapota) befolyásolja,
2. a sűrítést a *megelőző szennyvíztisztítási folyamatok*, így az ülepítés, az eleveniszapos lebontási folyamatok is befolyásolják (például iszapfelúszás),
3. a sűrítés hatékonysága a sűrítést követő iszapkezelési (például rothasztás, iszapvíztelenítés, iszapégetés), elhelyezési (pl. az iszap feltöltésbe helyezése) és a hasznosítási (például mezőgazdasági területen) folyamatokat is befolyásolja (pl. nagyobb a szállítandó iszapvíz mennyisége).

Miközben a szennyvíztisztító rendszer technológiai-műszaki optimalizálására törekszünk, ezzel egyidejűleg, ezzel összhangban, a sűrítőrendszer technológiai-műszaki optimalizálása is szükséges.



57. ábra. Az iszapsűrítés mint rendszerprobléma

A gravitációs sűrítő lehetséges üzemeltetési hibáit, azok kiküszöbölési módjait a *30. táblázat* foglalja magába.

30. táblázat. A gravitációs sűrítő lehetséges üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük módjai (Culp és Heim, 1978; Szilágyi, 1994; Wagner, 1944; Karászi et al., 1994; Öllős, 1994)

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód
1. Sűrített iszap túl kis koncentrációjú	1a Túlfolyó iszapvíz mennyisége túl nagy	1a Túlfolyó iszapvíz mennyisége	1a Iszaptáplálás mértékét csökkenteni kell
	1b Iszapelvétel mértéke túl nagy	1b Minimálisan 90 cm iszapréteg jelenléte szükséges	1b A sűrítettiszap-elvétel mértékét csökkenteni kell
	1c Hidraulikai rövidzárlat	1c Az iszapvízfelszín vizuális megfigyelése: az iszap egyenlőtlen elfolyása a bukón át	1c Bukó helyzetváltoztatása: javítás vagy a merülőfalak beállítása
	1d Iszapterhelés túl nagy, sűrítési hajlam hiánya	1d Iszapfajta (előülepített iszap + utóülepített iszap keveréke); iszapterhelés	1d Kondicionálószer-adagolás; iszapterhelés beszabályozása
2. Iszapfelúszás	2.1. Az iszapkaparó helytelen, túlzott forgási sebessége	2.1. Iszapkaparó forgási sebessége	2.1. Forgási sebesség beszabályozása
	2.2. Denitrifikáció: felszálló nitrogéngáz-buborékok a sűrítőben	2.2. Iszaptartózkodási idő az utóülepítőben és/vagy a sűrítőben. O_2-koncentráció az utóülepítőben és a sűrítőben	2.2. Iszaptartózkodási idő és az O_2-koncentráció beszabályozása az utóülepítőben és a sűrítőben
	2.3. A sűrítettiszap-elvétel mértéke elégtelen	2.3. Iszapfüggöny túl vastag	2.3. A sűrítettiszap-elvétel mértékét növelni kell
	2.4. Sűrítő iszapvíztúlfolyása túl kevés	2.4. Iszapvíztúlfolyás	2.4. (a) Befolyást a sűrítőbe növelni kell, az utóülepítőből elfolyó szennyvíz egy részét a sűrítőbe kell szivattyúzni

30. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód
			(b) A sűrítőbe való befolyás klórozandó oly mértékig, hogy a sűrítőből elfolyó iszapvíz 1 mg/l maradék klórt tartalmazzon (c) A sűrítőbeli iszapvíz felszíne alatt 30–60 cm-re levegőt kell adagolni
	2.5. Sűrítő túlterhelése	2.5. Elfolyó iszapvíz lebegőanyag-tartalma	2.5. Terhelés csökkentése
3. Buborék- és iszapfelúszás a sűrítő felszínére	3. Iszaphőmérséklet, biológiai lebontás aktivitása	3. Iszaphőmérséklet	3. Nyáron (meleg időszakban) nagyobb mértékű iszapelvétel
4. Sűrítő hatékonysága elégtelen	4.1. Előülepített iszapban szeptikus vagy anaerob lebontódás jelentkezhet	4.1. Gázképződés (H_2S, CH_4, CO_2)	4.1. Hígítóvíz-adagolás. Időszakos klóradagolás
	4.2. Iszapkor	4.2. Iszapkor	4.2. Iszapkor beszabályozása az utóülepítőben és/vagy a gravitációs sűrítőben
5. Az iszap nem sűrűsödik a kívánt mértékben	5.1. Iszapfelúszás	5.1. O_2-koncentráció az eleveniszapos medencében	5.1. Eleveniszapos medence üzemének optimalizálása (kívánt O_2-szint beszabályozása)
		5.2. Tápanyag-kiegyensúlyozatlanság az eleveniszapos medencében	5.2. Tápanyagegyensúly megteremtése
		5.3. Fonalas szervezetek jelenléte, ill. mennyisége az eleveniszapos medencében, ill. az utóülepítőben	5.3. Lásd I. kötet, 8. fejezet

30. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód
6. Szag-emisszió	6.1. O_2-koncentráció elégtelen az utóülepítőben és a sűrítőben	6.1. O_2-koncentráció	6.1. O_2-koncentráció beszabályozása. Levegőadagolás a sűrítő felszíne alatt 30–60 cm-re
	6.2. Frissvíz- (pl. utóülepített szennyvíz-) betáplálás a sűrítőbe elégtelen	6.2. Frissvíz-mennyiség	6.2. Frissvíz-mennyiség beszabályozása
	6.3. Iszap átlagos tartózkodási ideje a sűrítőben a tervezettől eltérő	6.3. Az iszap átlagos tartózkodási ideje	6.3. Az iszap átlagos tartózkodási idejének beszabályozása
	6.4. Szeptikus (anaerob) állapot. Tervezettől eltérő üzemeltetés	6.4. Szeptikus állapot. Üzemeltetési paraméterek	6.4. Klóradagolás. Üzemeltetés-optimalizálás. A sűrítőből elfolyó iszapvíz 1 mg/l maradék klórt tartalmazzon
	6.5. A sűrítettiszap-elvétel mértéke kevés	6.5. Iszapfüggöny vastagsága nagy: >1,20 m	6.5. A sűrítettiszap-elvétel mértékét növelni kell
	6.6. Sűrítő-túlfolyás elégtelen	6.6. Sűrítő-túlfolyás	6.6. Sűrítőtúlfolyást be kell állítani
			6.7. Szükség esetén a sűrítő lefedése, a gázok elszívása, bioszűrős tisztításuk
			6.8. A sűrítőbeli anaerob folyamat jelentkezésekor a sűrített iszap néha szikkasztóágyra vezethető
7. Iszapkaparó egyenlőtlen igénybevétele	7.1. A kaparóberendezés leállása után nagy mennyiségű iszapakkumuláció a fenékzónában	7.1. A kaparó előtti térben az iszapmennyiség ellenőrzése	7.1. A kaparó előtti iszapfelhő mozgatása rúddal, vízsugárral

30. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód
	7.2. Idegen tárgy zavarja a kaparót		7.2. Idegen tárgy eltávolítása. Ha nem lehetséges, a sűrítő leürítése és a tárgy eltávolítása
8. Erős hártyabevonat képződése a bukókon	8.1. Iszapakkumulálódás, biológiai bevonat	8.1. Felületek vizuális megfigyelése	8.1. A felületek gyakori tisztítása
9. Iszapvezetékek és iszapszivattyúk eltömődése	9.1. Túl nagy iszapkoncentráció	9.1. Iszapkoncentráció	9.1. A vezetékek vízzel átöblítendők. Valamennyi tolózár nyitva legyen
10. Iszapkéreg a sűrítő felszínén		10.1. Vizuális	10.1. Laboratóriumi és üzemeltetési méréseken alapuló üzemeltetésoptimalizálás. A kéreg szétverése vízsugárral. A kéreg eltávolítása célszerszámmal
11. Iszapbetáplálás zavara	11.1. Elő- vagy utóülepítő zsomp és/vagy a betáplálócső dugulása	11.1. Iszapvízelfolyás mennyisége	11.1. Iszapzsomp és/vagy betáplálócső tisztítása
12. Iszapelvétel a sűrítőből nem lehetséges	12.1. Sűrítő iszapzsompjának és/vagy az iszapelvezető csőnek az elduguláса	12.1. Iszapzsomp és/vagy iszapelvezető cső működése	12.1. A sűrítőzsomp és/vagy iszapelvezető cső tisztítása
13. Úszóiszap-elvezető berendezés dugulása	13.1. Idegen anyag	13.1. Úszóiszap-elvezető berendezés üzeme	13.1. Úszóiszap-elvezető berendezés tisztítása
	13.2. Túlzottan zsíros anyag	13.2. Mint 13.1.	13.2. Mint 13.1.
14. Kotróhíd gépészeti meghibásodása	14.1. Királytengely meghibásodása	14.1. Kotróhíd üzeme	14.1. Királytengely javítása
	14.2. Hajtómű meghibásodása	14.2. Hajtómű üzeme	14.2. Hajtómű javítása
	14.3. Járókerekek meghibásodása	14.3. Járókerekek üzeme	14.3. Járókerekek javítása
	14.4. Meghajtókerék csúszása	14.4. Járófelület	14.4. Járófelület jégtelenítése, tisztítása

30. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód
15. Sűrített-iszap-átemelés üzemzavara	15.1. Vezetékekben gáz akkumulálódik	15.1. Vezetékek üzemének ellenőrzése	15.1. Kézi vagy automatikus légtelenítés
16. Az iszapvíz a beton műtárgyakat, vezetékeket tönkreteszi	16.1. Iszapvíz agresszív	16.1. Agresszivitás	16.1. Aknák feletti zárt fedlap rácsos fedlapra cserélése. Betoncsövek bélelése, aknafalak bevonása műgyantával
17. Iszapvíz felszíne tiszta, iszapfelúszás, az elfolyó iszapvíz iszapot szállít	17a Gázképződés	17a Iszapfüggöny, iszap tartózkodási ideje	17a Iszapelvétel mértékét növelni kell
	17b Szeptikus (anaerob) iszapbetáplálás	17b Betáplálás paraméterei	17b Ülepített iszap szivattyúzott mennyiségét növelni kell
	17c Iszapfüggöny-kiegyensúlyozatlanság	17c Iszapkaparó forgási sebessége	17c Iszapkaparó forgási sebessége csökkentendő. Ha a túlfolyásban az iszapeltávozást gázképződés okozza, a kaparó forgási sebességét növelni kell
	17d Vegyszeradagolás nem megfelelő	17d Vegyszeradagoló	17d Adagolt vegyszer mennyiségét növelni kell
	17e Túlzott terhelés	17e Hidraulikai terhelés	17e Ha lehetséges, a betáplálás hozamát csökkenteni kell
18. Sűrítőből elvett iszap híg, elfolyó iszapvíz tiszta	18a Mélyen lévő iszapfüggöny	18a Iszapfüggöny szintje	18a Iszapeltávolítás mértékét csökkenteni kell
	18b Iszapeltávolítás mértéke túl nagy		

30. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód
19. Sűrítő aljából elvett iszap híg, az iszapvíz felszínén úszó iszap van, az elfolyó iszapvíz iszapot tartalmaz	19a Hidraulikai terhelés túlzott mértékű 19b Vegyszeradagoló rendszer üzemének elégtelensége	19a Hidraulikai terhelés. Betáplált iszap 19b Vegyszeradagoló berendezés, ill. rendszer	19a Betáplált iszap hozamát csökkenteni kell 19b Vegyszeradagot növelni kell
20. Sűrítő aljából elvett iszap híg, iszapvíz felszíne tiszta, iszapvízelfolyás iszapot szállít	20a Iszapkaparó forgási sebessége túl kicsi, vagy a kaparás hatékonysága elégtelen 20b Iszapfüggöny inhomogén felépítésű	20a Iszapkaparó berendezés forgási sebessége 20b Iszapfüggöny szintje	20a Iszapkaparó forgási sebessége növelendő 20b Iszapkaparó forgási sebességét és az iszapelvétel mértékét növelni kell

4.2.1.9. KÉRDÉSEK

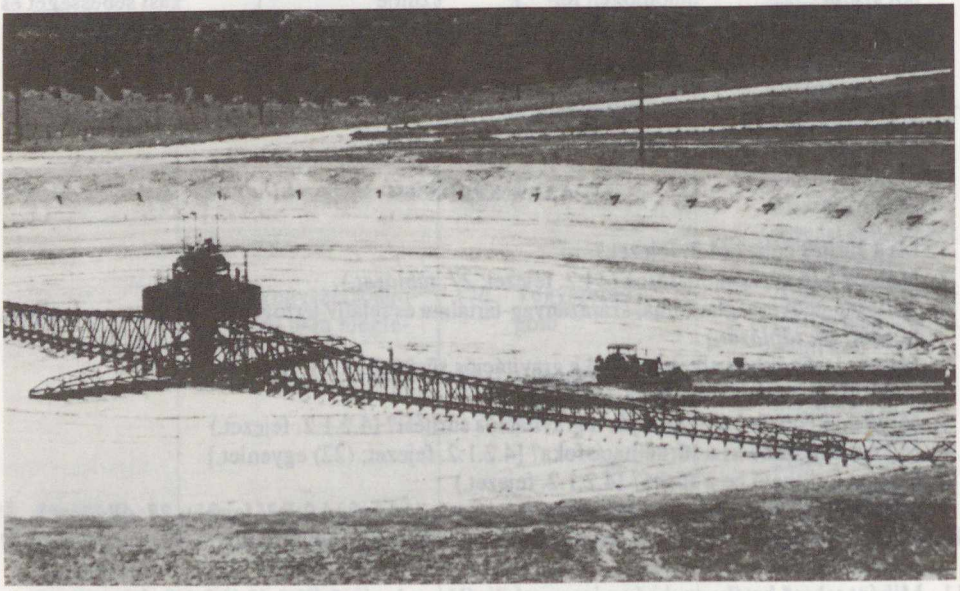
1. Mi a sűrítés célja? (4.2. fejezet.)
2. Melyek a fő sűrítési eljárások? (4.2. fejezet; *27. táblázat.*)
3. Az iszap nedvességtartalma, szárazanyag-tartalma és relatív térfogata közötti kapcsolat. (4.2. fejezet; *26. táblázat.*)
4. Milyen iszapokhoz alkalmazható a gravitációs sűrítés? (4.2.1. fejezet.)
5. Gravitációs sűrítés folyamata. (4.2.1. fejezet.)
6. Milyen tényezők befolyásolják a gravitációs sűrítést? (4.2.1.2. fejezet.)
7. Miként fejezhető ki a sűrítő hatásfoka? [4.2.1.2. fejezet; (22) egyenlet.]
8. Miként indítható be a sűrítő? (4.2.1.2. fejezet.)
9. Milyen vegyszerek adagolhatók a gravitációs sűrítéshez? (4.2.1.3. fejezet; *28. táblázat.*)
10. Miként sűríthetők az elő-, a szimultán és az utókicsapatási lépcsőből származó iszapok? (4.2.1.4. fejezet.)
11. Miként tehető hatékonyabbá az iszapstabilizálás az iszapsűrítéssel? (4.2.1.5. fejezet.)
12. A gravitációs sűrítő jellemző teljesítményei különböző iszapok esetében. (4.2.1.6. fejezet; *29. táblázat.*)
13. A rothasztást megelőző gravitációs elősűrítés haszna. (4.2.1.7. fejezet.)
14. A rothasztott iszap gravitációs sűrítőbe történő recirkuláltatásának kedvező hatásai. (4.2.1.7. fejezet; *30. táblázat.*)
15. Melyek a gravitációs sűrítő jellemző üzemeltetési hibái? (4.2.1.8. fejezet.)

4.2.2. OLDOTT LEVEGŐS FLOTÁCIÓS SŰRÍTÉS

A 4.2.1. fejezetben tárgyalt gravitációs sűrítés egyes települési és ipari szennyvíz (például *58. ábra*), ill. ezek keverékszennyvizének sűrítésére kevésbé alkalmas. Ezért fejlesztették ki a flotációs iszapsűrítési eljárást. *A flotációs sűrítés*

– a „könnyű" (light) iszapok, mint amilyen az eleveniszap,
– a nagyon finom lebegőanyagot tartalmazó egyes ipari szennyvíziszapok, ill.
– az ilyen ipari szennyvizek települési szennyvíziszapbeli nagyobb mennyiségének jelenlétekor,
– a nitrifikáló lépcsőből származó eleveniszapok, de
– az előülepített iszapok,
– a csepegtetőtestes rendszer humusziszapja,
– az aerob úton stabilizált iszapok,
– a kémiai szennyvíztisztításból származó, fémsókat is tartalmazó iszapok sűrítésére is alkalmazott.

A *flotációs sűrítés legsikeresebb az eleveniszapos és a biológiai nitrifikációs tisztítórendszerből származó iszapok esetében.*



58. ábra. A világ legnagyobb ipari iszapsűrítője. Foszfáttermelő telep. Bartow, Florida (EIMCO Envirotech. Company)

4.2.2.1. FLOTÁCIÓS ELJÁRÁSOK

A flotációs sűrítés fő eljárásai:

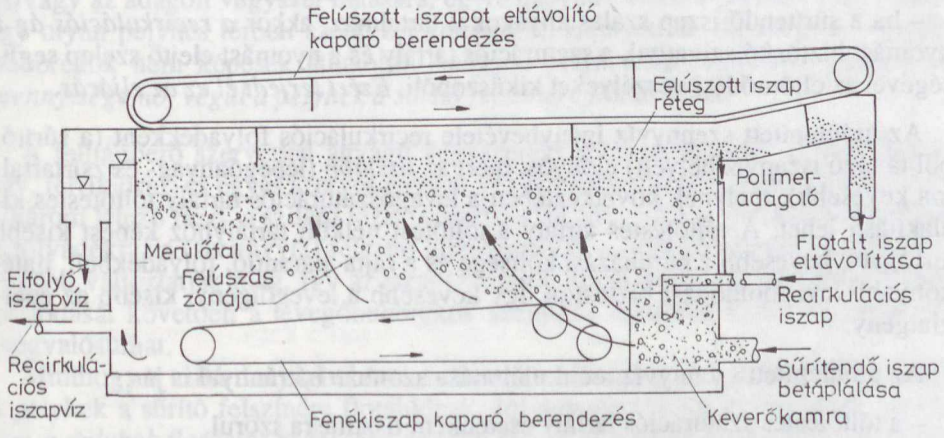
1. diszpergált levegőflotálás (keverők vagy diffúzorok közvetítésével),
2. biológiai flotálás (biológiai folyamatból származó gázok, ill. gázbuborékok segítségével),
3. oldott levegős (nyomás alatti) flotálás, amely esetben a levegő nyomás alatt jut oldott állapotba, és atmoszferikus nyomás alatt jut a flotációs folyadéktérbe,
4. oldott levegős (vákuumos) flotálás, amely esetben az elnyelt levegő flotációs folyadéktérbe engedése vákuum alatt valósul meg.

(További részletek találhatók pl.: Öllős, 1987, 4. fejezet; Metcalf and Eddy Inc., 1991.)

4.2.2.2. A FLOTÁCIÓS SŰRÍTÉS FOLYAMATA

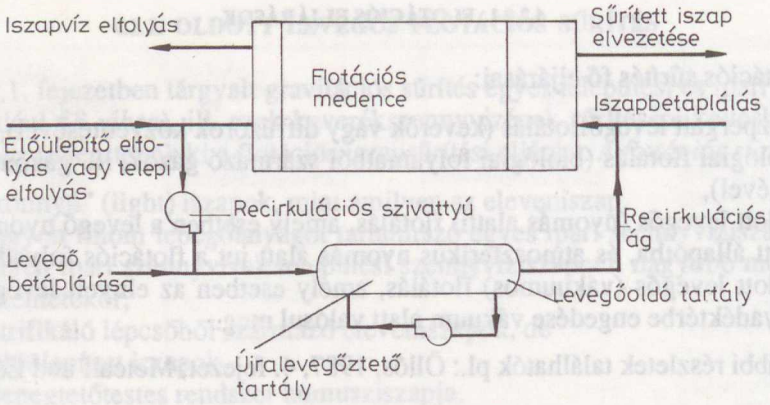
Az *59.* és *60. ábra* jellemző sűrített levegős flotációs rendszert szemléltet.

Az iszap az *59. ábrának* megfelelő négyszög alapú sűrítő fenekén, a keverőkamrán keresztül jut a flotáló zónába. Az ábrán vázolt eljárás esetében a kamrába



59. ábra. Oldott levegős flotációs berendezés működési elve

vezetett sűrítendő iszap és a recirkuláltatott *(60. ábra)* sűrítő iszapvízelfolyás bizonyos hányada nyomás alá kerül, majd a levegőbetáplálás utáni levegőszaturációs tartályon keresztül a keverőkamrába jut, ahol az a sűrítőiszappal és az adagolt polimerrel keveredik. A levegőt a szivattyú szívócsövébe nem célszerű beszívni, mert akkor a szivattyúkavitáció- és a szivattyúkapacitás-csökkenés veszélye eleve megteremtődik. Az ilyen rendszerben a hangsúly a sűrítőből távozó iszapvíz (szubnatant) *egy részének recirkulációján* van. (De lehet alternatív forrásból származó, viszonylag kis lebegőanyag-tartalmú, pl. az utóülepítő túlfolyó szennyvizét is recirkuláltatásra használni.) Ennek a recirkulációs eljárásnak, az



60. ábra. Oldott levegős flotációs rendszer

üzemeltetési tapasztalatok szerint, a sűrítendő iszap teljes vagy részleges mennyiségének nyomás alá helyezésével szemben az előnyei:

– a sűrítőben a nagy nyíróerők fellépte minimalizálható, ami különösen a pelyhesedésre eleve hajlamos iszapok esetében fontos szempont,

– ha a sűrítendő iszap szálas anyagokat tartalmaz, akkor *a recirkulációs ág* a nyomást biztosító szivattyú, a szaturációs tartály és a nyomást elejtő szelep segítségével az eltömődési veszélyeket kiküszöböli. *Ezért terjedt el ez az eljárás.*

Az utóülepített szennyvíz igénybevétele recirkulációs folyadékként (a sűrítőből távozó iszapvíz helyett) előnyös, mert az *tisztább* (lebegőanyag- és zsírtartalma kevesebb), melynek következtében a levegőszaturációs tartály töltőtestes kialakítású lehet. A töltőtestes tartály a töltőtest nélküli tartályhoz képest kisebb térfogatú, kevesebb a beruházási költsége és a rajta átáramló, folyadékbeli, hatékonyabb levegőoldódást biztosítja. Így kevesebb a levegőigény, kisebb az energiaigény.

Az utóülepített szennyvíz recirkuláltatása azonban hátránnyal is jár:

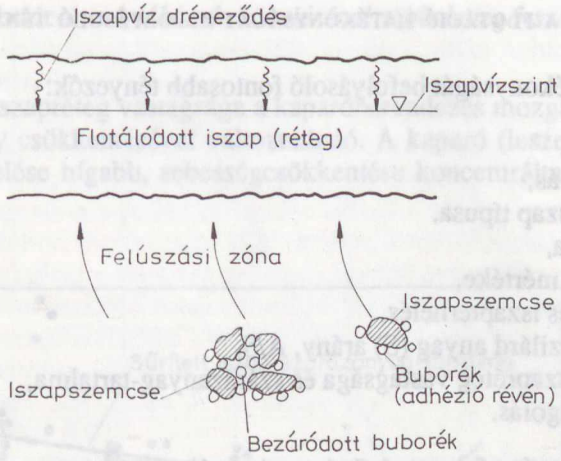
– a töltőtestes szaturációs tartály esetenként tisztításra szorul,

– a biológiai szennyvíztisztító rendszer hidraulikai terhelése jelentősen nő, ezáltal az utóülepítő hatékonysága csökkenhet.

Amikor a sűrítőbe jutó iszap a túlnyomás alól felszabadul, az atmoszferikus nyomás feletti oldott levegőhányad nagyon finom, 50–100 μm átmérőjű buborékok alakjában szabadul fel. A buborékok a szuszpendált szilárd szemcsékre ható felhajtóerőt kétféle módon növelik *(61. ábra):*

1. adhézió révén a szemcsék felületéhez kötődnek,
2. a pehelyszerű részecskehalmaz belső terébe záródnak.

Amint a nagyszámú buborék felfelé irányuló, görbe vonalú mozgása megkezdődik, a keltett (de szabályozott) turbulencia hatására a lebegő szilárd részecskék



61. ábra. A flotációs iszapsűrítés mechanizmusának értelmezése

egymással kontaktusba kerülnek. A szemcsék természetes pelyhesedési hajlama, és/vagy az adagolt vegyszer hatására, egyre nagyobb méretű pelyhek képződnek. Így olyan pelyhes térbeli szerkezet keletkezik, amelyen át, ill. körül a felszálló buborékok nem képesek áthatolni. *Ahogy a pelyhekhez csatlakozó buborékok mennyisége nő, végül a pelyhek a sűrítő felszínére flotálódnak.*

A felhajtóerő szervetlen anyagú vegyszerekkel (alumíniumsó, aktivált kovasav, ferriklorid) és egyes szerves anyagú vegyszerekkel is növelhető azáltal, hogy a három létező fázis, a szilárd fázis (szuszpendált anyagok), a gázfázis (levegő) és a folyadékfázis (szennyvíz) felszíni tulajdonságait a flotáció szempontjából kedvezően változtatják meg. Így az iszapszemcsék egymáshoz, ill. pelyhekhez kapcsolódását követően a levegőbuborékok szemcsés mátrixba való befogadása is megvalósulhat.

Minthogy a szilárdanyagbuborék-mátrixok sűrűsége a víz sűrűségénél kisebb, a pelyhek a sűrítő felszínére flotálódnak. Jól tervezett és jól üzemeltetett sűrítőben *a pelyhek flotációs sebessége és ezen keresztül a rájuk ható, felfelé irányuló impulzus olyan mértékű, aminek hatására a flotálódott iszapréteg részben a sűrítő iszapvíz szintje fölé tolódik fel* (*59.* és *61.* ábra). Az iszapréteg 15–20 cm vastagságú. Ez a flotációs iszapsűrítés alapfeltétele. Ha ez hatékonyan teljesül, akkor az iszapvíz a vízszint feletti iszaprétegből (sludge blanket) lefelé dréneződhet és *így a sűrítés mint cél, elérhető.*

A flotálódott iszapréteg várt szárazanyag-tartalma 5–6% nagyságrendű. A szárazanyag-tartalom vegyszeradagolás nélküli flotáció esetében 1%-kal kisebb, mint ami a vegyszeradagolásnál elérhető.

Megfelelő flotáció további alapfeltétele, hogy a szilárdanyag-buborék pehelysűrűsége 0,6–0,7 legyen.

A flotáció hatékonyságát befolyásoló fontosabb tényezők:

- iszap típusa,
- levegőnyomás,
- a betáplált iszap típusa,
- az iszap kora,
- recirkuláció mértéke,
- hidraulikai és iszapterhelés,
- levegő (A) szilárd anyag (S) arány, A/S,
- flotálódott iszapréteg vastagsága és szárazanyag-tartalma,
- vegyszeradagolás.

1. *Az iszap típusát* a fejezet első része tárgyalja.

2. A flotációban alkalmazott *levegőnyomás* szerepe fontos, mert ez a buborékok átmérőjét, a szárazanyag-koncentrációt és a sűrítőből távozó iszapvíz minőségét egyaránt befolyásolja. A szaturációs tartályban 3,2–4,9 kg/cm^2 nyomást kell biztosítani. A nyomás vagy a levegőmennyiség növelése a flotált iszap szárazanyag-tartalmát növeli, és az elfolyó iszapvíz szuszpendált lebegőanyag-tartalmát csökkenti. Létezik azonban bizonyos felső határ, mivel *a túl sok levegő az intenzívebb turbulenciaviszonyok miatt a pelyhek széttöredezését eredményezi.*

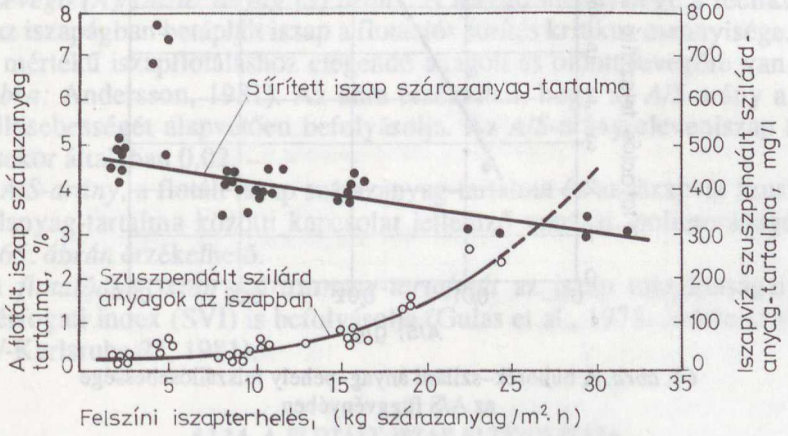
3. A gravitációs sűrítőhöz hasonlóan a levegős flotációt *a betáplált iszap típusa* is befolyásolja. Az előülepített iszapok az utóülepített iszapokénál általában súlyosabbak, ezért flotációs sűrítésük (koncentrálásuk) nehezebb. De ha *elegendő az elnyeletett levegő mennyisége,* akkor a legtöbb előülepített iszap is jól flotálható. A darabos és súlyos előülepített iszapszemcsék a sűrítő fenekére ülepszenek. Innen azokat iszapkaparóval az iszapzsompba kell juttatni, ahonnan időszakos eltávolításukról gondoskodni kell. A gond az üzemeltető számára akkor jelentkezik, ha az előülepített vagy az elő- és utóülepített iszap keverékének flotálásakor a fenékiszap eltávolításához a sűrítőben nincs kaparóberendezés, hiszen ez esetben az iszap a feneken akkumulálódik, így a sűrítő térfogata csökken. Ennek eredménye a sűrítő hatékonyságának csökkenése. Noha az utóülepített iszap flotálása kisebb sűrűsége miatt könnyebb feladat, iszapkaparó berendezés beépítése a sűrítőbe mégis ajánlatos, mert a szuszpendált lebegőanyagok kisebb hányada ez esetben is leülepszik, majd a feneken anaerob iszapstabilizálódás jön létre. Ennek eredményeként a termelődött gázok buborékok formájában a sűrítő felszínére emelkednek. Ily módon az elfolyó iszapvíz minősége romolhat.

4. *Az iszap kora* a flotáció hatékonyságát, a gravitációs sűrítőnél tapasztaltakkal ellentétben, csak kisebb mértékben befolyásolja. A magas korú iszapok gázképző tulajdonságaik miatt természetes flotálódásra hajlamosak.

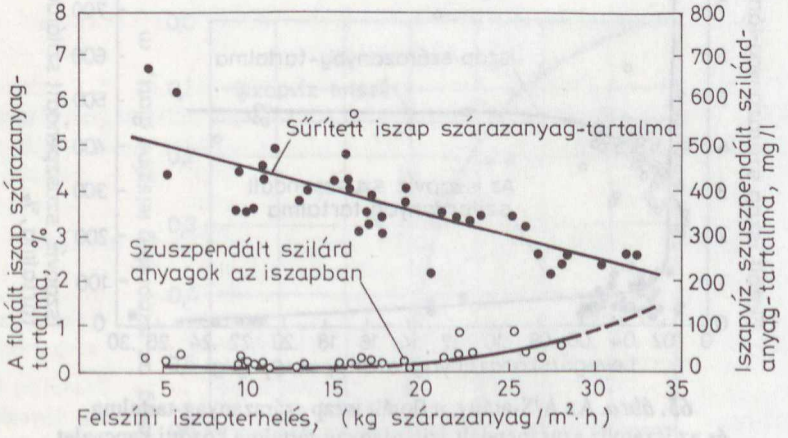
5. *A recirkuláció mértéke* 100–200%. A 100% azt jelenti, hogy minden liter sűrítőbe táplált iszaphoz 1 liter sűrítőből elfolyó, recirkuláltatott iszapvíz tartozik. A recirkuláció százalékos értéke = recirkuláltatott iszapvíz/sűrítőbe táplált iszap, l/min. A recirkuláció mértékét az üzemeltetés során kell beszabályozni. A lényeg, amire gondolni kell: *a recirkulációs folyadék szállítja a levegőt a sűrítőbe vezetés*

helyére. A recirkuláció mértékének növelésével több levegő szállításának valószínűsége is nő.

A flotálódott iszapréteg vastagsága a kaparóberendezés mozgási sebességének növelésével vagy csökkentésével változtatható. A kaparó (leszedő) mozgási sebességének növelése hígabb, sebességcsökkentése koncentráltabb iszapot eredményez.

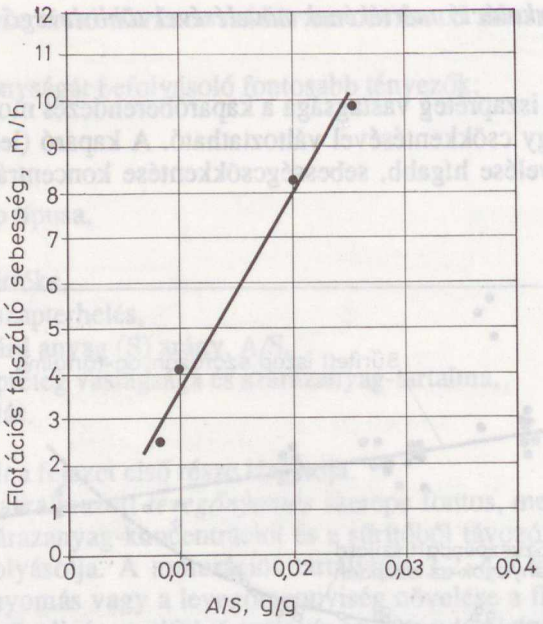


62. ábra

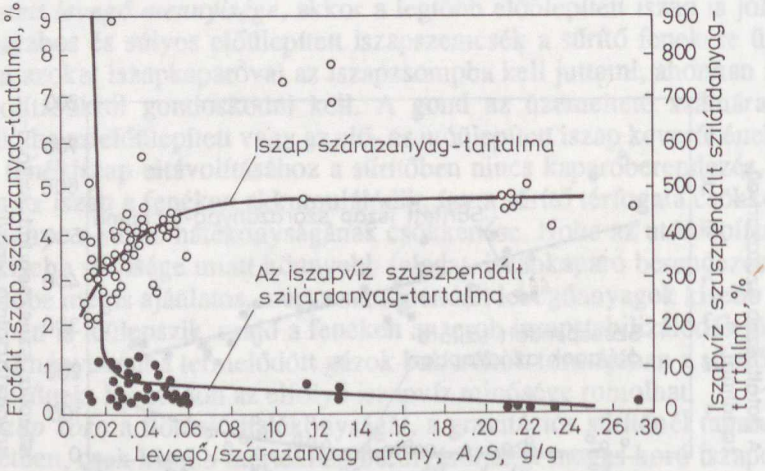


63. ábra

62–63. ábra. Az iszapterhelés, a flotált iszap szárazanyag-tartalma és a sűrítőből elfolyó iszapvíz szilárdanyag-tartalma közötti kapcsolat. (*62. ábra:* polimeradagolás nincs; *63. ábra:* polimeradagolás van)



64. ábra. A buborék–szilárd anyag–pehely felszállósebessége az A/S függvényében



65. ábra. Az A/S-arány, a flotált iszap szárazanyag-tartalma és az iszapvíz szuszpendált szilárdanyag-tartalma közötti kapcsolat (polimeradagolás nélkül)

6. A túlzott mértékű *hidraulikai terhelés* esetében az elfolyó iszapvíz minősége gyengébbé, a flotált iszap koncentrációja kisebbé válik. A hidraulikai terhelés, l/min · m^2 = a sűrítőbe táplált teljes hozam/sűrítő vízszintes keresztmetszete, m^2.

7. *Az iszapterhelés*, kg száraz anyag/m^2 · h = a sűrítőbe táplált teljes hozam, l/min · koncentráció, kg/l/sűrítő vízszintes keresztmetszete, m^2. Az iszapterhelést, a flotált iszap szárazanyag-tartalma és az iszapvíz szuszpendált szilárdanyag-tartalma közötti kapcsolatot polimeradagolás nélkül a *62. ábra*, polimeradagolással a *63. ábra* szemlélteti (Andersson, 1981 és EPA, 1989 nyomán).

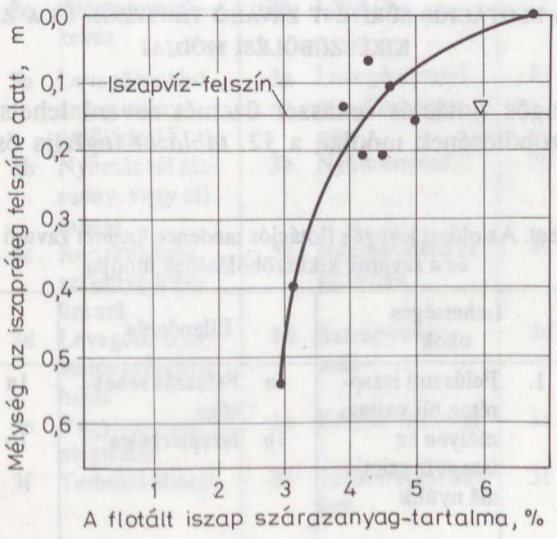
8. *Levegő (A)/száraz anyag (S) arány*. A levegő mennyisége a recirkuláltatott vagy az iszapágban betáplált iszap a flotációs sűrítés kritikus mennyisége. A megfelelő mértékű iszapflotáláshoz elegendő adagolt és oldott levegőre van szükség (*64. ábra;* Andersson, 1981). Az ábra érzékelteti, hogy az *A/S*-arány a flotáció felszállósebességét alapvetően befolyásolja. Az *A/S*-arány eleveniszap flotációs sűrítésekor általában 0,02.

Az *A/S-arány*, a flotált iszap szárazanyag-tartalma és az iszapvíz szuszpendált szilárdanyag-tartalma közötti kapcsolat jellemző vonásai, polimeradagolás nélkül, a *65. ábrán* érzékelhető.

9. *A flotálódott iszap szárazanyag-tartalmát* az iszap tulajdonságai, így az iszaptérfogati index (SVI) is befolyásolja (Gulas et al., 1978; Jedele et al., 1980; ISWW-Karlsruhe 25, 1981).

4.2.2.4. A FLOTÁLT ISZAP ELTÁVOLÍTÁSA

A flotált iszap eltávolításának elvi alapja a *61. ábrán* adott. Fontos az a tény, hogy *a flotált iszapréteg felső része az iszapvízfelszín fölé nyúlik*. Fontos az a tény is, hogy a szárazanyag-tartalom a flotált iszapréteg mélységében változik. *Maxi-*



66. ábra. A szárazanyag-tartalom változása a flotált iszapréteg mélységében

muma az iszapréteg vízfelszín fölé nyúló legfelső zónájában jelentkezik, és lefelé csökken (*66. ábra;* Bratby nyomán, 1978). Az ábráról egyértelmű, hogy *az iszapkaparó berendezésnek a flotált iszap nagy szárazanyag-tartalmú legfelső részét kell folyamatosan eltávolítani.*

4.2.2.5. A FLOTÁCIÓS SŰRÍTÉS HATÉKONYSÁGA

Az üzemeltető számára a flotációs sűrítő üzemeltetéséhez és várható hatékonysága megítéléséhez, az üzemeltetési tapasztalatok alapján, a *31. táblázat* adatai nyújtanak tájékoztatást (Tortorici és Stahl, 1989).

31. táblázat. Üzemeltetési és hatékonysági tájékoztató adatok flotációs sűrítő esetében

	Polimer-adagolás nélkül	Polimer-adagolással
Szárazanyag-terhelés, kg/h · m²	1,9–4,9	4,9–9,8
Hidraulikai terhelés, l/s · m²	0,3–1,0	0,3–1,3
Recirkuláció, %	100–200	100–200
Levegő/betáplált iszap szárazanyag-tartalma, kg/kg		
Betáplált iszap minimális lebegőanyag-tartalma, mg/l	5000	5000
Flotált (sűrített) iszap szárazanyag-tartalma, %	2–4	3–5
Szárazanyag-eltávolítás, %	50–90	90–98

4.2.2.6. A FLOTÁCIÓS SŰRÍTÉST ZAVARÓ TÉNYEZŐK ÉS A ZAVAROK KIKÜSZÖBÖLÉSI MÓDJAI

Az oldott levegős flotációs rendszer üzemét zavaró lehetséges tényezőket, a zavarok kiküszöbölésének módjait a *32. táblázat* foglalja össze (EPA, 1989; Öllős, 1994).

32. táblázat. Az oldott levegős flotációs medence üzemét zavaró tényezők és a zavarok kiküszöbölésének módjai

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
1. Szilárd anyagok az elfolyásban. A flotált iszap kedvező koncentrációjú	1. Felúszott iszapréteg túl vastag, mélyen az iszapvíz szintje alá nyúlik	1a Felúszás sebessége 1b Iszapterhelés	1a Felúszási sebesség növelése 1b Kisebb input iszaphozam, ha lehetséges

32. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
		1c Flotált iszapréteg vastagsága, mélysége az iszapvíz szintje alatt. Az iszapréteg aljából letöredezett pelyhek elúszása a merülőfal alatt	1c Iszapkaparó mozgási sebességét növelni kell
2. A flotált iszap túl híg	2a Kaparó mozgási sebessége túl gyors	2a Vizuális megfigyelés	2a Kaparó mozgási sebességének beszabályozása
	2b Túlterhelés	2b Felszállósebesség	2b Iszapbetáplálás leállítása és a sűrítőt hagyni kell tisztulni, vagy segédrecirkuláltatásra van szükség
	2c Polimerdózis túl kevés	2c Polimerszivattyúk kalibrálása, megfelelő üzem	2c Polimerszivattyúk üzemének beszabályozása
	2d Túlzott levegő/szárazanyag-arány *(A/S)*	2d A felúszott iszap nagyon habzónak tűnik	2d A levegőbetáplálást a levegőoldó nyomás alatti tartályban csökkenteni kell
	2e Oldott levegő kevés	2e Lásd 10.	
3. Elfolyás gyenge minőségű és híg felúszott iszap	3a Levegő/szilárdanyag-arány *(A/S)* kicsi	3a Levegőmennyiség. Kompresszor	3a Levegőbetáplálást növelni kell
	3b Nyomás túl alacsony, vagy túl magas	3b Nyomásmérő	3b Kompresszor javítása, nyitása vagy zárása
	3c Recirkulációs szivattyú hibás üzemű	3c Nyomásmérő és szivattyú	3c Recirkulációs szivattyú beindítása
	3d Levegőrecirkulációs szivattyú hibás	3d Szivattyúnyomás	3d Levegőrecirkulációs szivattyú beindítása
	3e Vegyszeradag elégtelen	3e Kémiai rendszer	3e Vegyszeradag növelése
	3f Terhelés túlzott	3f Terhelési mértékek	3f Iszaphozam (input)

32. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
4. A flotált iszap jól koncentrálódott, gomolyához hasonlít	4.1. Iszapkaparó mozgási sebessége	4.1. Iszapkaparó mozgása	4.1. Iszapkaparó mozgási sebességét növelni kell
5. A flotált iszapréteg alja az elfolyásnál a merülőfal alá nyúlik	5.1. A sűrítő iszapterhelése túlzott	5.1. Befolyási iszaphozam és iszapkoncentráció	5.1. Befolyási iszaphozamot csökkenteni kell, ha lehetséges
6. Levegőoldó tartálybeli nyomás nem megfelelő	6.1. Tervezettnél nagyobb nyomás	6.1. Recirkulációs hozam	6.1. Recirkulációs hozamot növelni kell. Nyomáscsökkentő szelepet kissé nyitni kell
	6.2. Tervezettnél kisebb nyomás	6.2. Recirkulációs hozam	6.2. Nyomáscsökkentő szelepet kissé zárni kell, így a recirkulációs hozam csökkenthető. Több idő lesz a levegő oldására a tartályban
7. A flotációs sűrítés hatékonyságának drasztikus csökkentése	7.1. Levegőoldó tartály folyadékszintmérője	7.1. Folyadékszintmérő	7.1. Javítások, tisztítások elvégzése
	7.2. Kompresszor hibás üzeme		7.2. Javítások elvégzése
8. Levegőrecirkuláltatás, levegőoldó tartály nyomása normális, elfolyás lebegőanyag-koncentrációja nagy, a flotált iszap koncentrációja kicsi	8.1. Levegőrecirkuláltató szivattyú hibája; vegyszer-adagolási terhelések	8.1. Levegőrecirkuláltató szivattyú; vegyszeradagolás; terhelések	8.1. Levegőrecirkuláltatás, vegyszeradagolás, terhelések beszabályozása

32. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
9. Flotált iszapkoncentráció ingadozik	9.1. *A/S*-arány nem megfelelő	9.1. *A/S*	9.1. 2–4 a megfelelő tartomány
	9.2. SVI-érték nem megfelelő	9.2. SVI	9.2. SVI<200 tartományban a pehelyképződés jobb (megfelelő polimeradagok). Nagy SVI-értékek esetében a flotált iszap koncentrációja csökken, így nagy polimeradagra van szükség
	9.3. Nagy iszapterhelés	9.3. Iszapterhelés	9.3. A flotált iszap koncentrációját 470 kg/m^2 · d feletti iszapterhelési tartományba kell csökkenteni
10. Oldott levegő mennyisége kevés	10a Újralevegőztető szivattyú leállt, eltömődött, vagy hibás üzemű	10a Szivattyúüzem	10a Tisztítás igény szerint
	10b Ejektor eltömődött	10b Vizuális megfigyelés	10b Ejektor tisztítása
	10c Levegőellátás	10c Kompresszor-vezetékek, vezérlőtábla	10c Javítás igény szerint
11. Elfolyás lebegőanyag-tartalma nagyon sok	11a Sűrítő túlterhelt	11a Felszállósebesség	
	11b Polimeradag túl kevés	11b Polimerszivatytyúk kalibrálása, üzeme	
	11c Kaparó leáll vagy túl lassú mozgású	11c Kaparó üzeme	11c Kaparó mozgási sebességének beállítása
	11d Kis levegő/szárazanyag-arány *(A/S)*	11d Gyenge felúszott iszapréteg-képződés, iszapülepedéssel	11d Levegőbetáplálást növelni kell a levegőelnyeletó tartályban

4.2.2.7. KÉRDÉSEK

1. Milyen iszapok esetében célszerű az oldott levegős flotációs sűrítést alkalmazni? (4.2.2. fejezet.)
2. Melyek a flotációs eljárások? (4.2.2.1. fejezet.)
3. Mi a szerepe a recirkulációnak? (4.2.2.2. fejezet.)
4. Az oldott levegős flotációs sűrítés mechanizmusai. (4.2.2.2. fejezet.)
5. Miként képződik a flotálódott iszapréteg? (4.2.2.2. fejezet.)
6. Milyen tényezők befolyásolják a flotáció hatékonyságát? (4.2.2.3. fejezet.)
7. Miként lehet és miként kell a flotált iszapot eltávolítani? (4.2.2.4. fejezet; *61.* és *66. ábra.*)
8. Mi a polimeradagolás szerepe a flotációs folyamatokban? (4.2.2.5. fejezet; *31. táblázat.*)
9. Mik lehetnek a flotációs sűrítés tipikus, üzemeltetést zavaró problémái? (4.2.2.6. fejezet; *32. táblázat.*)

4.2.3. CENTRIFUGÁS SŰRÍTÉS

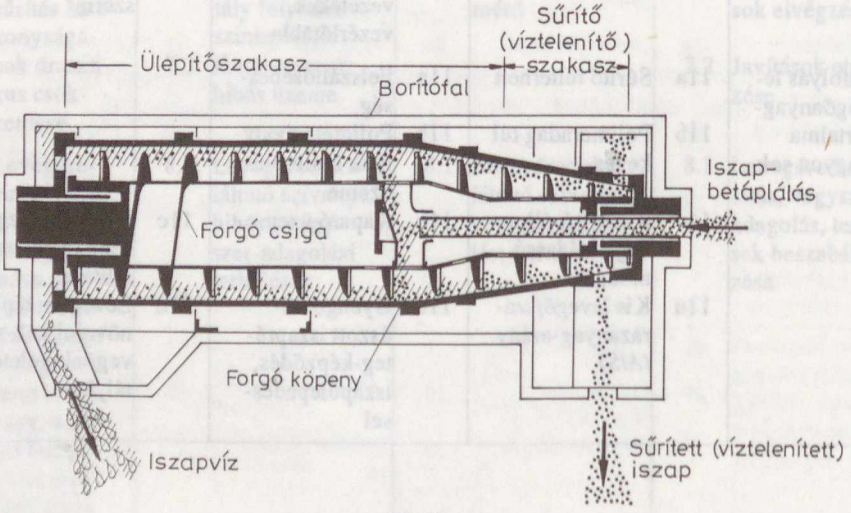
A centrifugákat az iszapok sűrítéséhez és víztelenítéséhez egyaránt alkalmazzák.

A jelenleg kifejlesztett centrifugafajták leginkább *az eleveniszapos rendszer fölös iszapjának sűrítéséhez* (ill. víztelenítéséhez) alkalmazhatók (Metcalf and Eddy, Inc., 1991; EPA, 1979).

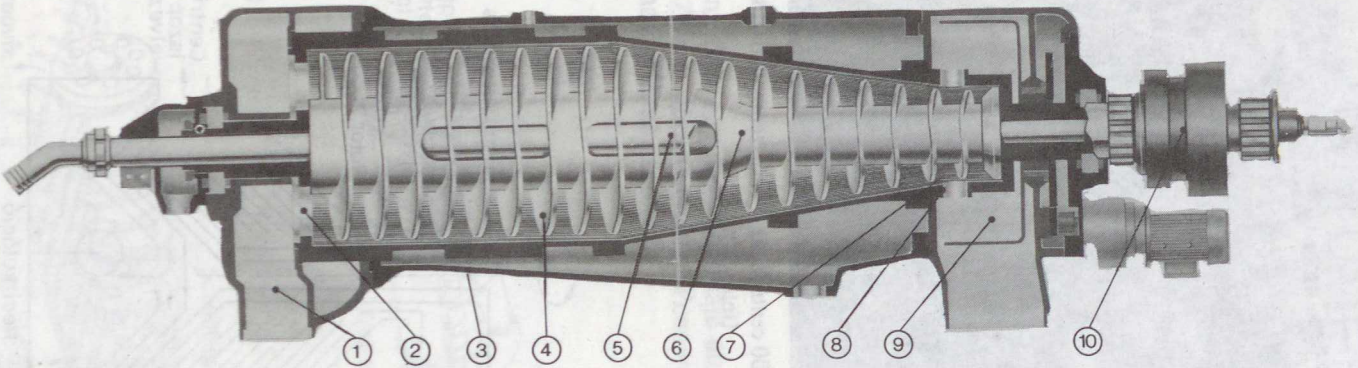
A centrifugás iszapkezelés elméleti alapjait, a szerkezeti kialakításokat és az iszapsűrítéssel kapcsolatos üzemeltetési sajátosságokat ezen fejezet tárgyalja.

A centrifugák elterjedését az 1960-as évektől kezdve a következő tényezők segítették: a tervezők, a korábbi *üzemeltetési tapasztalatok alapján, a szennyvíziszapok sűrítéséhez (és víztelenítéséhez) megfelelő gépi berendezéseket hoztak létre*. Három centrifugatípus terjedt el:

– dekantáló centrifuga (solid-bowl centrifuge, decanter-conveyor-scroll centrifuge) *(67–68., 68/a ábra)*,
– tálcás centrifuga (disk nozzle centrifuge) *(69. ábra)*,
– dobcentrifuga (basket centrifuge) *(70. ábra)*.

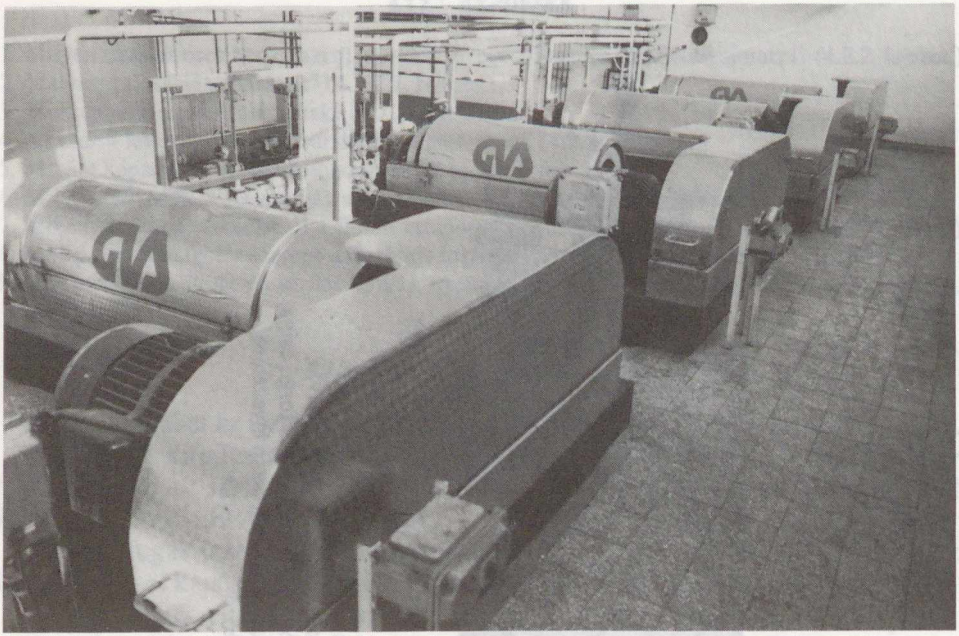


67. ábra

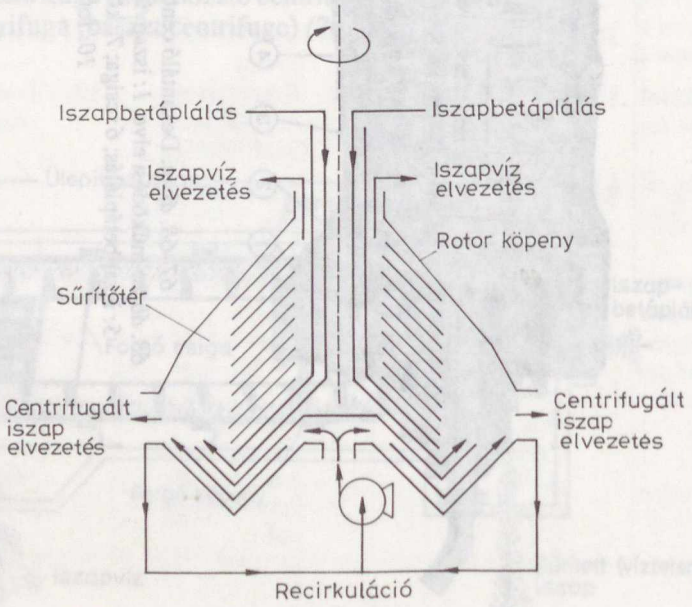


68. ábra

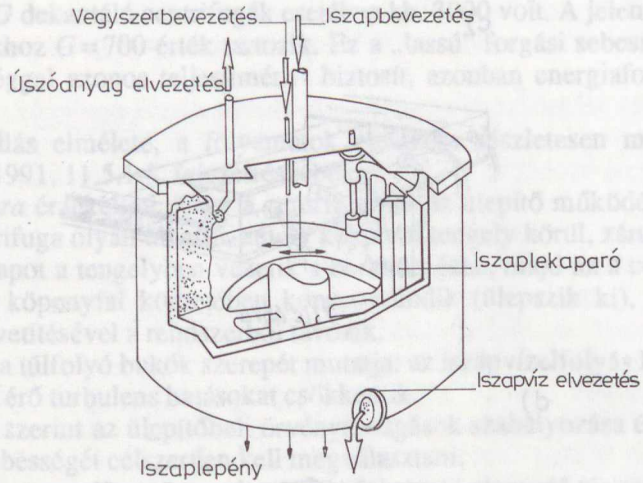
67–68. ábra. Dekantáló centrifuga. *67. ábra:* szerkezet és működési elv; *68. ábra:* működési elve: *1:* iszapvízelvezetés; *2:* túlfolyás; *3:* borítófal; *4:* forgó csiga; *5:* iszapbetáplálás; *6:* csiga; *7:* köpeny; *8:* kenőnyílás; *9:* sűrített iszap elvezetése; *10:* fordulatszám-szabályozó



68/a ábra. Krüger KL 500 centrifugák. Pécsi szennyvíztisztító telep (fotó: Solti)



69. ábra. Tálcás centrifuga



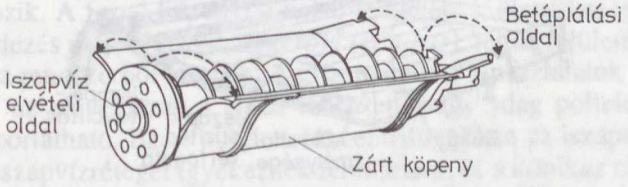
70. ábra. Dobcentrifuga

4.2.3.1. DEKANTÁLÓ CENTRIFUGA

(A) Működési elve

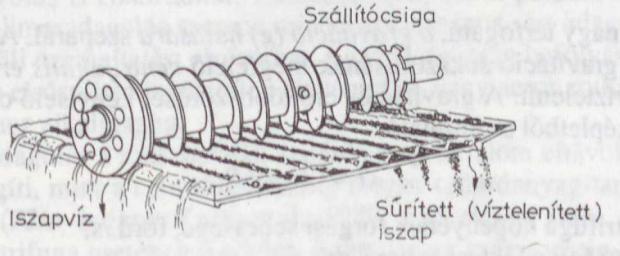
A dekantáló centrifuga egy nagy energiájú ülepítő. Az ülepítő és a centrifuga működési elve a *71/a–e ábra* (Courtesy Pennwalt Corp., Sharples-Stokes Div. nyomán) alapján hasonlítható össze.

a)



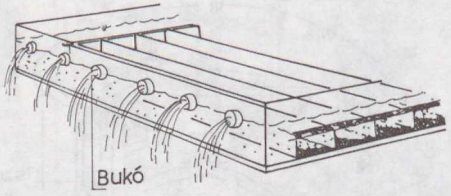
71/a ábra

b)



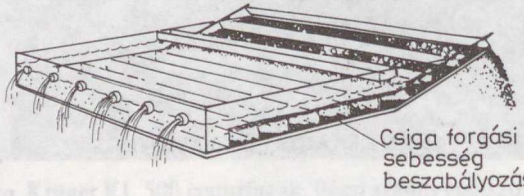
71/b ábra

c)



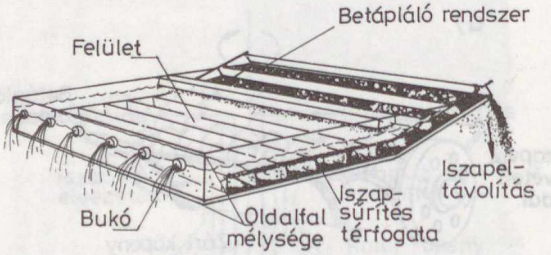
71/c ábra

d)



71/d ábra

e)



71/e ábra

71/a–e ábra. Az ülepítő és a dekantáló centrifuga működési elvének összehasonlítása

Az ülepítő nagy térfogatú, *a gravitáció (g) hatására* szeparál. A centrifuga ülepítő-sűrítő, a gravitáció sokszorosának megfelelő *centrifugális erő (G) hatására* ülepít, sűrít, víztelenít. A gravitációs erő többszörösét képviselő centrifugális erő a következő képletből számítható:

$$G = (2\pi n)^2 R, \tag{23}$$

ahol n a centrifuga köpenyének forgási sebessége, ford./s,
R a forgó folyadéktest sugara, m.

Régebben a *G* dekantáló centrifugák esetében kb. 3000 volt. A jelenlegi dekantáló centrifugákhoz $G = 700$ érték tartozik. Ez a „lassú" forgási sebesség a gyors forgású sebességgel azonos teljesítményt biztosít, azonban energiafogyasztásuk kisebb.

A centrifugálás elmélete, a folyamatok elemzése részletesen megtalálható például Öllős, 1991, 11.5.1.3. fejezetrészében.

A *71/a–b ábra* érzékelteti, hogy a centrifuga és az ülepítő működési alapelve azonos. A centrifuga olyan ülepítő, amely központi tengely körül, zárt köpennyel burkolt. Az iszapot a tengelyben vezetik a berendezésbe, majd az a centrifugális erő hatására a köpenyfal körzetében koncentrálódik (ülepszik ki), ahonnan a forgócsiga közvetítésével a rendszerből távozik.

A *71/c ábra* a túlfolyó bukók szerepét mutatja: az iszapvízelfolyás helyén a lebegőanyagokat érő turbulens hatásokat csökkentik.

A *71/d ábra* szerint az ülepítőbeli örvénymozgások szabályozása érdekében a csiga forgási sebességét célszerűen kell megválasztani.

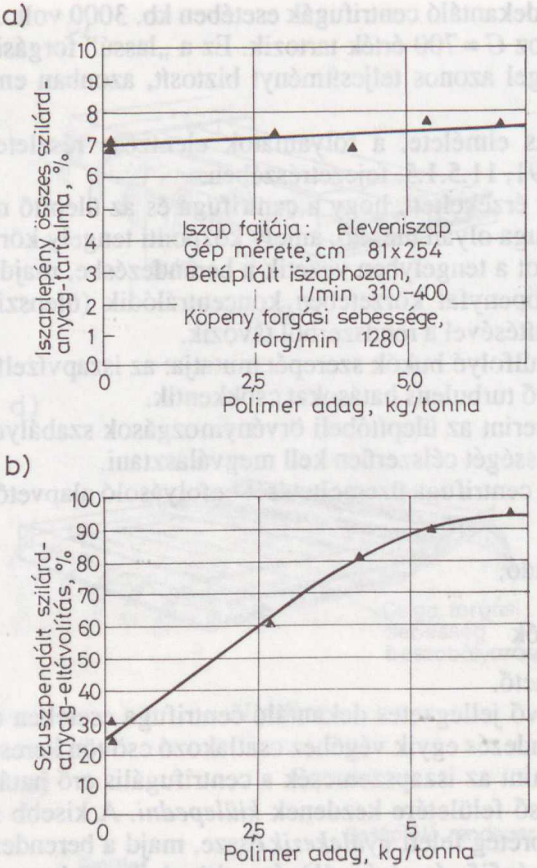
A *71/e ábrán* a centrifuga üzemeltetését befolyásoló alapvető tényezők,

– a felület,
– tartózkodási idő,
– bukó és
– egyéb tényezők

szerepe értelmezhető.

A *67. ábrán* lévő jellegzetes dekantáló centrifuga esetében az iszap a köpeny alatti térbe a berendezés egyik végéhez csatlakozó csövön keresztül folyamatosan táplálódik be. Amint az iszapszemcsék a centrifugális erő hatása alá kerülnek, a forgó köpeny belső felületére kezdenek *kiülepedni*. A kisebb sűrűségű iszapvíz (centrate) az iszapréteg felett *gyülekezik* össze, majd a berendezés iszapvíz-elvezető, *nagyobb átmérőjű vége irányába áramlik*, ahol az folyamatosan, az állítható bukón át távozik. A forgó köpenyfal belső felületére kiülepedett iszapot a forgócsiga a berendezés másik, *kisebb átmérőjű (kónikus)*, lejtős felületű *végéhez szállítja*, ahol az a rendszerből távozik. Az üzemeltetési tapasztalatok azonban bizonyítják, hogy az eleveniszap a lejtős felületen, nagy adag polielektrolit nélkül, aligha transzportálható. Ezért a fejlettebb centrifugákban az iszapréteg felett minél nagyobb iszapvízréteget igyekeznek fenntartani, és a kónikus rész kezdetének helyén speciális tervezésű merülőfalgyűrűt alakítanak ki. Ez a merülőfal, a vastag iszapvízréteggel együttesen, lehetővé teszi, hogy a hidrosztatikus erő a sűrített iszapot a berendezésből kihajtsa, a forgócsigától függetlenül. Ily módon a *polielektrolit-adagolás is elmaradhat*. Természetesen, amint például a *72/a ábra* érzékelteti, a polimeradagolás szerepe mindenkor hasznos. Az adagolásos vagy az adagolás nélküli üzemeltetést elsősorban a gazdaságosság befolyásolja. A dekantáló centrifuga elsősorban utóülepített eleveniszap, vagy aerob rothasztású eleveniszap sűrítéséhez alkalmazott.

A polimeradagolás a szuszpendált szilárdanyag-tartalom eltávolítását nagyobb mértékben segíti, mint a centrifugált iszap összes szilárdanyag-tartalmának koncentrálódását (*72/a–b ábra;* Kerri et al., 1989; Tortorici és Stahl, 1989). Például dekantáló centrifuga esetében a sűrített iszap összes szárazanyag-tartalma szinte



72/a–b ábra. Iszapsűrítés dekantáló centrifugával.
a: sűrített iszap szilárdanyag- (szárazanyag-) tartalma a polimeradag függvényében;
b: szuszpendált szilárdanyag-visszatartás a polimeradag függvényében

állandó, 7%, a polimeradagtól függetlenül. Ezzel szemben dekantáló centrifuga esetében a szuszpendált szilárdanyag-eltávolítás mértéke polimeradagolás nélkül 25% volt, adagoláskor jelentősen nőtt, de a szóban forgó vizsgálatok során nem lépte át a 90%-ot (5,5 mg/kg polimerdózisnál). *Az üzemeltetőnek a polimeradagot és az adagolás helyeit részletes vizsgálatokkal kell tisztáznia.* Ily módon az optimális technológiát és a vegyszerköltségeket viszonylag minimalizálni képes. Az üzemeltetőnek arra is gondolni kell, hogy a polimeradagolás révén ugyan több iszap sűríthető (víztelenítheto), de a sűrített iszap nedvességtartalma rendszerint nagyobb.

A polimer különböző pontokon adagolandó. Ez az igény

– a polimertöltés erősségének különböző voltából,
– a polimer és az iszap közötti reakcióidő hatásától és
– az iszaptulajdonságok eltérő, változó voltából ered.

A polimert az iszapbetáplálási csőbe (közvetlenül a cső és a táplálószivattyú csatlakozási helye előtt), vagy az iszapbetápláló szivattyú nyomócsövébe adagolják.

A dekantáló centrifuga forgócsigájának és köpenyének forgási sebessége eltérő. Amint a relatív forgási sebesség nő, a köpenyfalon lévő kompakt állapotú iszap a centrifugából növekvő mértékben távozik el, ami a távozó iszap koncentrációjának csökkenését eredményezi, hiszen a centrifugális erő a távozó iszapra rövidebb időre hat. Ha a relatív forgási sebesség csökken, az iszap a centrifugából lassabban távozik, kompaktabb, mert reá a centrifugális erő hosszabb ideig hat. Az iszapvízréteg vastagsága a köpenyfal belső felületén változtatható az elfolyást biztosító bukó beállításával és/vagy több bukó bekapcsolásával. Amint az iszapvízréteg vastagsága nő, az elfolyás minősége kedvezőbbé válik, hiszen a hidraulikai tartózkodási idő nő, ezáltal az iszap köpenyfal melletti befogása hatékonyabb. Fordítva, a vízréteg csökkentése a hidraulikai tartózkodási időt csökkenti, az elfolyás minősége romlik. Fordított a helyzet a centrifugából távozó iszap esetében. A vízréteg növelésekor az iszapvisszatartás nő, ugyanakkor az iszap nedvességtartalma nagyobb lesz. A vízrétegvastagság csökkentésekor az iszapvisszatartás csökken, a távozó iszap pedig szárazabb lesz. *Az üzemeltetőnek a köpenyfalnál az iszapvízréteg vastagságát az előzőek szem előtt tartásával szabályozni kell, hogy a kívánt iszapvisszatartás (hatékonyság) és a távozó iszap szilárdanyag-tartalma biztosítható legyen.* Gondoljunk azonban arra, hogy a dekantáló centrifuga esetében a magas iszapszeparálási hatékonyság nagy iszapnedvesség-tartalommal jár együtt. A kisebb mértékű iszapszeparálás rendszerint szárazabb centrifugált iszapnedvességgel párosul.

(B) Előnyei, hátrányai

Előnyei (Orris et al., 1987):

- könnyű létesíteni,
- csendes üzemű,
- tetszetős külsejű berendezés *(68/a ábra)*,
- folyamatosan 4–6%-os szárazanyag-tartalmú sűrített iszapot eredményez,
- beruházási költsége viszonylag kicsi.

Hátrányai:

- fenntartási költsége általában nagy,
- a betáplált iszap homokmentes legyen,
- egyes szennyvíziszapok esetében polimeradagolás válhat szükségessé,
- szakképzett üzemeltetőket igényel.

(C) A fő üzemeltetési paraméterek

Az üzemeltetőnek a következő fő üzemeltetési paramétereket kell megismerni, ill. értelmezni (Kerri et al., 1989.).

1. Az igényelt sűrítő (víztelenítő) centrifugák *száma* és *mérete* a becsült iszaptérfogatból és az iszap sűríthetőségi (vízteleníthetőségi) tulajdonságai alapján állapítható meg.

2. *Hidraulikai és iszapterhelés.* A gravitációs és a flotációs sűrítőktől eltérően, a centrifugák hidraulikai terhelését nem lehet az egységnyi felületre vonatkoztatni ($l/m^2 \cdot min$ vagy $l/m^2 \cdot d$). Valamely centrifuga terhelésére érvényes terhelési egység terminológia az l/h vagy kg/h. Ez a terminológia azért követendő, mert a gyártók különböző méretű és különböző tervezésű, ill. kialakítású centrifugákat bocsátanak az üzemeltetők rendelkezésére. Például, a hidraulikai terhelés, l/h = folyamatos iszaphozam, l/d/24 h/d. Ez a terhelésmeghatározás a tálcás centrifugára is érvényes, dobcentrifugára azonban nem, mert az utóbbi esetben a helyzet az előzőknél bonyolultabb. A dobcentrifuga nem folyamatos üzemű, hanem szakaszos (lombiküzemű). A centrifugából a sűrített iszapot szakaszosan el kell távolítani, és az ehhez szükséges időtartamot a terhelésszámításba be kell vonni. A dobcentrifuga iszappal való teljes feltöltéséhez például t_1 min, az iszap eltávolításához t_2 min szükséges. Ennek megfelelően a hidraulikai terhelés, l/h = betáplált iszaphozam, l/min/[üzemi (feltöltési) időtartam, min + iszapeltávolítási időtartam, min] $\frac{60 \text{ min}}{\text{h}}$.

(D) Az üzemeltetés menete

1. A motort be kell kapcsolni.

2. Amikor a köpeny teljes fordulatszámmal működik, a megfelelő iszap- és vegyszer-tolózárakat ki kell nyitni, és a megfelelő szivattyúkat be kell indítani.

3. A köpeny és a csavar relatív forgási sebességét be kell állítani.

4. A centrifugát *minden használat után vízsugárral ki kell mosni,* így a köpeny belső falán az iszapkéreg-képződés megakadályozható. Ezért az iszapbetápláló csőbe a mosóvíz-csatlakozást biztosítani kell. Mosatásra akkor kerül sor, ha a centrifuga néhány órára leáll. Fontos, hogy *az iszap a centrifugában ne tudjon kiszáradni.*

A dekantáló centrifuga jellemző hatékonysága a *33. táblázat* alapján érzékelhető.

A dekantáló centrifuga megválasztása és üzemeltetése körültekintő munkát igényel. Hiszen a centrifugák hatékonysága fajtájuktól, gyártási sajátosságaiktól, az iszap fajtájától, polimeradagolásos vagy a nélküli üzemeltetésük során jelentősen eltérő lehet. Az üzemeltető számos esetben – kompromisszumként – az eleveniszapos iszapot sem sűríti és polimert sem adagol, tehát eleve elfogadja a centrifuga kisebb hatékonyságát. Ezt a helyzetet a *33. táblázat* jól érzékelteti (EPA, 1979).

33. táblázat. Jellemző dekantáló centrifuga-hatékonyságok

Szennyvíziszap-típus	Szárazanyag, %	Szárazanyag-visszatartás, %	Polimer-adagolás
Rothasztott iszap	28–35	70–90	Nincs
Rothasztott iszap + csepegtető-testes humusziszap	20–30	80–95	2,5–7,5 kg/t iszap
		60–75	Nincs
Rothasztott iszap + eleveniszap	15–30	80–95	2,5–10 kg/t iszap
		50–65	Nincs
Eleveniszap	8–9	80–85	2,5–5 kg/t iszap
Tiszta oxigénes eleveniszap	8–10	80–85	1,5–2,5 kg/t iszap
Nagy mésztartalmú iszap	50–55	90	Nincs
Mészosztályozás	40	70	Nincs

4.2.3.2. TÁLCÁS CENTRIFUGA

(A) Működési elve

A tálcás centrifuga *(69. ábra)* zárt köpenye függőleges tengely körül forog és folyamatos üzemű. Az iszapot felül táplálják be, majd a kb. 50 kónikus tálca között áramlik. Ezáltal az iszap rétegekbe szeparálódik. A tálcák közel vannak egymáshoz. távolságuk egymástól csupán 11,27 mm, ezáltal *a centrifugális erő viszonylag vékony iszaprétegre hat.* Így az iszaprészecskéknek rövid utat kell megtenni ahhoz, hogy a tálcák felületére ülepedjenek. A centrifugális erő a sűrűbb anyagokat a köpenyhez szorítja (kiülepíti), ahol újabb centrifugális erő hatása alá kerülnek. Ezáltal koncentrációjuk nő, majd alul távoznak a rendszerből. A tiszta iszapvíz felül, bukón keresztül, folyamatosan távozik. A köpeny alul 12 nyílással ellátott, de számuk és méretük – a felül betáplált iszap minőségétől és a szeparálás hatékonyságától függően – változtatható. A centrifugált iszap koncentrációja, valamely betáplálási állapotra nézve, a nyílások számának és méretének változtatásával közvetlenül szabályozható. Az alul már koncentrált iszap egy részének recirkuláltatása is biztosított. A recirkuláció hasznos, mert

– a távozó iszap koncentrációját növeli,
– a rotoron belül a részecskék akkumulációját az „öblítő" hatása révén csökkenti,
– alul nagyobb elvezetőnyílások létezhetnek, így azok eltömődési valószínűsége csökken,
– a rendszer szeparálóképességének stabilitását növeli, így a szabályozás mértéke növelhető.

(B) Előtisztítási igénye

A tálcás centrifugák *csak a kisebb (<400 μm) átmérőjű szemcséket tartalmazó iszapok sűrítéséhez* (víztelenítéséhez) *alkalmazhatók* (Landis, 1969; EPA, 1979), a következő feltételekkel:

– az előülepített iszapot az eleveniszaptól szeparálni kell,
– csak eleveniszaphoz alkalmazható,
– *szálas anyagok az iszapban nem lehetnek,* különben a centrifuga eltömődésének veszélye eleve fennáll (Ettelt és Kennedy, 1966; Bradney és Bragstad, 1955; Keefer és Krotz, 1929).

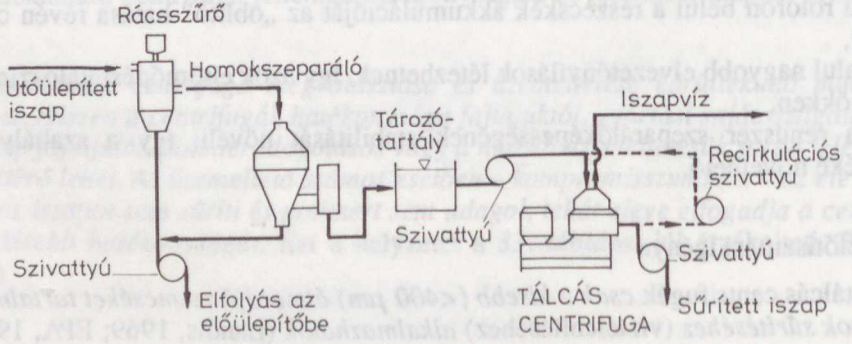
Az alkalmazás előnyei:

– vegyszeradagolás nélkül is nagyon jó minőségű iszapvizet produkál,
– nagyon kis térben nagy iszapszeparáló kapacitással rendelkezik,
– szagképződéssel nem jár.

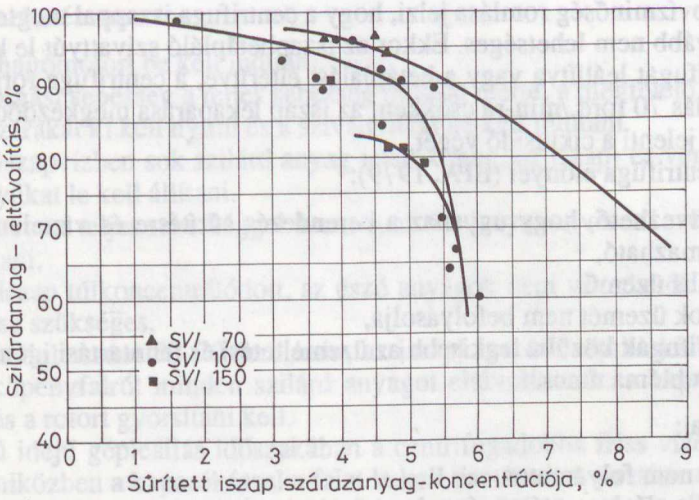
Hátrányai:

– csak a <400 μm átmérőjű szemcséket tartalmazó iszapok sűrítéséhez (víztelenítéséhez) alkalmazható,
– nagyfokú megelőző rácsszűrést és homokeltávolítást igényel,
– ha az előtisztító rendszer *(73. ábra),* nem hatékony, vagy eleve helytelenül tervezett, viszonylag igényes fenntartást igényel,
– képzett üzemeltető jelenléte szükséges.

A tálcás centrifuga üzemeltetési és fenntarási költsége csökkentése céljából a *73. ábra* jellemző *előtisztító rendszert* szemléltet (EPA, 1979 nyomán). Az utóülepített eleveniszap a nagy szilárd anyagok és a szálas anyagok eltávolítása céljából először rácsszűrőn halad át. A rácsszűrő acélanyagú, öntisztító, könnyen hozzáférhető legyen. A ráfolyás kb. 1%-a, recirkuláltatás révén, visszakerül az előülepítőbe. Az iszap a rácsszűrő után a homokszeparálóba kerül, mert a levegőztetett homokfogó és az előülepítés után bizonyos mennyiségű homok még az eleveniszapos medencébe kerül, ami azután a tálcás centrifugában a nagy mozgási sebességek miatt *koptató hatású,* a tálcákat tönkreteszi. A problémát a homokszeparáló sem oldja meg teljesen, de a berendezés üzemben tarthatóságot, a tálcák cseréjének időtartamát hosszabbítja. A homokszeparálóba táplált iszap kb. 10%-a kerül recirkuláltatásra és ezt a recirkuláltatott iszapot rendszerint a rácsszűrőből elfolyó iszappal összekeverve az előülepítőbe szivattyúzzák.



73. ábra. Tálcás centrifuga jellemző előtisztító rendszere



73/a ábra. SVI, a sűrített iszap szárazanyag-tartalma és a szuszpendált szilárdanyag-eltávolítás kapcsolata

A tálcás centrifuga sűrítő üzemét befolyásoló tényezők közül, mint másfajta centrifugák esetében is, *az üzemeltetőnek a legnagyobb gondot az iszaptérfogati index (SVI) hatására kell fordítani (73/a ábra;* Vaugh és Reifwiesner, 1972 nyomán).

4.2.3.3. DOBCENTRIFUGA

(A) Működési elve

A dobcentrifuga függőleges tengely körül forgó (kb. 1500 ford./min) zárt dobból áll *(70. ábra).* Az iszapot felül vezetik be, a szilárd anyag a köpenyfal körzetébe centrifugálódik. Miután a centrifugált (sűrített) iszap a centrifugában bizonyos vastagságot elér, az üzemet leállítják és az iszapot kaparóval eltávolítják. Kapacitása kb. 0,2 m^3 iszap/min. Az iszaplepényt (cake) és az iszapvizet (centrate) alul vezetik el. A dobcentrifuga szakaszos (batch) üzemű. Egy üzemi ciklus a következő műveleteket foglalja magába (EPA, 1979):

1. A ciklust gombnyomással kell indítani, s ezt követően a centrifuga gyorsulni kezd.
2. Kb. 30 sec után az iszapot betápláló szivattyút is be kell indítani.
3. A betáplálás mértékétől függően 1–3 perc szükséges az üzemelési forgási sebesség eléréséhez.
4. Ha az iszap a centrifugában bizonyos vastagságot elér, a rendszert le kell állítani.
5. Az iszapot kaparóval el kell távolítani.

A betáplálócső a fenékig ér, ott íves végződésű, miáltal a dobban tangenciális áramlás hozható létre. Az iszapvizet általában a biológiai szennyvíztisztító rendszer elejére vezetik vissza.

Az iszapvízminőség romlása jelzi, hogy a centrifuga iszappal megtelt, és a szeparálás tovább nem lehetséges. Ekkor az iszapbetápláló szivattyút le kell állítani.

A centrifugát leállítva vagy a betáplálást eltérítve, a centrifuga forgása lassul. Ha a lassulás 70 ford./min-ra csökken, az iszap lekaparása megkezdődhet. Ennek befejezése jelenti a ciklusidő végét.

A dobcentrifuga előnyei (EPA, 1979):

– úgy tervezhető, hogy ugyanaz a berendezés sűrítésre és víztelenítésre egyaránt alkalmazható,
– flexibilis üzemű,
– a homok üzemét nem befolyásolja,
– a centrifugák közül a legkisebb az üzemeltetési és fenntartási igénye,
– szagprobléma nincs.

Hátrányai:

– üzeme nem folyamatos,
– speciális alátámasztást igényel,
– beruházási/kapacitás aránya legnagyobb.

A dobcentrifuga elsősorban a kis szennyvíztisztító telepeken (40–90 l/s) alkalmazható.

A dobcentrifuga-sűrítő jellemző teljesítményadatai a *34. táblázat*ban adottak (EPA, 1979).

34. táblázat. A dobcentrifuga jellemző sűrítési teljesítményadatai

Iszapfajta	Betáplálás szilárdanyag-koncentrációja, % szilárd anyag	Sűrített iszap átlagos szilárdanyag-koncentrációja, % szilárdanyag	Polimer-adag, kg/t	Szilárdanyag-eltávolítás, %
Utóülepített eleveniszap	0,5–1,5	8–10	0,5 –1,5	85–90 90–95
Aerob rothasztású iszap	1–3	8–10	0,5 –1,5	80–90 90–95
Csepegtetőtestes humusziszap (kőtöltet és műanyag-töltet)	2–3	8– 9 9–11	0,75–1,5	90–95 95–97
Aerob rothasztású iszap (előülepített és kőtöltetű csepegtetőtestes iszap, 70:30)	2–3	8–10 7– 9	0,5–1,5	95–97 94–97

(B) Az üzemeltetés menete

1. A meghajtómotort be kell indítani.
2. Ha a forgási sebesség a teljes sebesség 80%-át elérte, a megfelelő vegyszer- és iszaptolózárakat ki kell nyitni és a szivattyúkat be kell indítani.
3. Ha az iszapvízben sok szilárd anyag jelenik meg, az iszap- és vegyszeradagoló szivattyúkat le kell állítani.
4. Amíg a rotor teljes sebességgel üzemel, az úszóanyag-elvezető csövet üzemben kell tartani.
5. Ha az iszap túlkoncentrálódott, az úszó anyagok nem vezethetők el, ezért a rotor lassítása szükséges.
6. Ha a fordulatszám 50–70 ford./min, az iszapkaparót üzembe kell helyezni.
7. Ha a köpenyfalról minden szilárd anyagot eltávolítottak, a kaparót vissza kell húzni, és a rotort gyorsítani kell.
8. Hosszú idejű gépleállás időszakában a centrifugadobba friss vizet kell szivattyúzni, miközben a kaparókéssel a falat le kell tisztítani. A tisztítás után a kést vissza kell húzni, és a meghajtómotort be lehet kapcsolni.

4.2.3.4. CENTRIFUGÁK TELJESÍTMÉNYADATAI

Az iszapcentrifugák üzemeltetési és átlagos teljesítményadatai a *35. táblázat*-ban adottak (Kerri et al., 1989; Tortorici és Stahl, 1989).

35. táblázat. Iszapsűrítő centrifugák teljesítményadatai

Centrifugatípus	Kapacitás, l/s	Betáplálás szárazanyag-tartalma, %	Sűrített iszap szárazanyag-tartalma, %	Szilárdanyag-eltávolítás, %
Dekantáló centrifuga	4,7–6	0,4–0,7	5– 7	80–90
Tálcás centrifuga	1,9–9	0,7–1,0	5– 5,5	90+
Dobcentrifuga	2,0–4,4	0,7	9–10	70–90

A táblázatban lévő *szilárdanyag-eltávolítás* (recovery, %) kétféle módon számítható.

1. A szuszpendált szilárd anyag és a hozamadatok alapján:

$$\text{Szilárdanyag-eltávolítás} = \frac{\left(\frac{\text{nedves sűrített}}{\text{iszaphozam, kg/h}}\right)\left(\frac{\text{sűrített iszap száraz-}}{\text{anyag-tartalma, \%}}\right)(100)}{\left(\frac{\text{nedves betáplált}}{\text{iszaphozam, kg/h}}\right)\left(\frac{\text{betáplált iszap száraz-}}{\text{anyag-tartalma, \%}}\right)} \quad (24)$$

2. Csak a szuszpendált szilárd anyag szárazanyag-tartalom ismerete alapján:

Szilárdanyag-eltávolítás = (sűrített iszap szárazanyag-tartalma, %) × × (betáplált iszap szárazanyag-tartalma, % – iszapvíz szárazanyag-tartalma, %) × × (100) / (betáplált iszap szárazanyag-tartalma, %) × (25) × (sűrített iszap szárazanyag-tartalma, % – iszapvíz szárazanyag-tartalma, %).

Az iszapvíz a vegyszeradagolás miatt hígul. Ezért az iszapvízbeli mért szuszpendált szilárdanyag-koncentráció kisebb, mint amennyi a tényleges (vegyszeradagolás hígítóvize nélkül lenne). A vegyszeradagolás miatti korrekciós tényező:

Korrekciós tényező = (betáplált iszaphozam, l/min) + vegyszeradagolás hozama, l/min) + (hígítóvíz, l/min) / betáplált iszaphozam, l/min. (26)

Így:

A korrigált iszapvíz szilárdanyag-tartalom = = (iszapvíz mért szilárdanyag-tartalma) × (27) × (korrekciós tényező).

4.2.3.5. A CENTRIFUGÁK ÜZEMELTETÉSI HIBÁI, KIKÜSZÖBÖLÉSÜK LEHETSÉGES MÓDJAI

A centrifugák üzemeltetési hibáit, kiküszöbölésük lehetséges módjait a *36. táblázat* foglalja össze.

36. táblázat. A centrifugák üzemelési hibái, kiküszöbölésük lehetséges módjai

(Kerri et al., Tortorici et al., 1991; Culp et al., 1978; Mészáros, 1994; Szombati, 1994; Solti, 1994; Ferwagner, 1944)

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
Dekantáló centrifuga			
1. Elfolyó iszapvíz jó minőségű, az elfolyó iszap híg	1a Szállítócsiga forgási sebessége túl nagy 1b Szeparálódott iszapvízmélység túl nagy	1a Szállítócsiga forgási sebessége 1b Szeparálódott iszapvízmélység	1a Szállítócsiga sebességének csökkentése 1b Kisebb iszapvízmélység
2. Elfolyó iszapvíz minősége gyenge, elfolyó iszap minősége jó	2a Szállítócsiga forgási sebessége lassú 2b Hidraulikai terhelés túl nagy 2c A szeparálódott iszapvíz mélysége túl kicsi	2a Szállítócsiga forgási sebessége 2b Iszaphozam 2c Szeparálódott iszapvízmélység	2a Szállítócsiga forgási sebességének növelése 2b Iszaphozam csökkentése 2c Szeparálódott iszapvízmélység növelése

36. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
	2d Helytelen vegyszeradagolás	2d Vegyszeradagoló rendszer	2d Vegyszeradag növelése
3. Elfolyó iszapvíz minősége gyenge, elfolyó iszap minősége jó	3a Centrifugaköpeny forgási sebessége túl kicsi	3a Centrifugaköpeny forgási sebesség	3a Centrifugaköpeny forgási sebességének növelése
	3b Terhelés túl nagy	3b Iszaphozam	3b Iszaphozam csökkentése
	3c Vegyszeradag helytelen	3c Vegyszeradagoló rendszer	3c Vegyszeradag növelése
	3d Szállítócsiga forgási sebessége és a szeparálódott iszapvíz mélysége nem optimális	3d Szállítócsiga forgási sebessége és szeparálódott iszapvíz mélysége	3d Szállítócsiga forgási sebessége és a szeparálódott iszapvízmélység változtatása
4. Sűrített iszap nedvességtartalma túlzott	4a Betáplált iszap túl meleg	4a Betáplált iszap hőmérséklete	4a Betáplált iszap hőmérsékletének csökkentése
5. Sűrítés hatékonysága és a sűrített iszap koncentrációja csökken. Kapacitáscsökkenés is jelentkezhet	5a Iszaptérfogati index (SVI) nagy	5a Iszaptérfogati index (SVI)	5a Iszaptérfogati index (SVI) beállítása
6. Hidraulikai teljesítmény elégtelen	6a Dugulás az iszapbevezető csőben	6a Az iszapvezeték ellenőrzése	6a Az iszapvezeték kitisztítása
	6b Az iszapfeladó szivattyú szállítóképessége csökkent	6b Az iszapszivattyú beállításának ellenőrzése	6b Az iszapszivattyú fordulatszámának beállítása
		6c Az iszapszivattyú kopásának ellenőrzése	6c Az iszapszivattyú elhasználódott alkatrészeinek cseréje
7. A sűrített (vagy víztelenített) iszap szárazanyagtartalma kevés	7a Nagy hidraulikai terhelés	7a Az iszapszivattyú beállításának ellenőrzése	7a A megfelelő iszapterhelés beállítása

36. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
	7b Csiga-dob fordulatszám-különbsége	7b A fordulatszám-különbség ellenőrzése	7b A megfelelő fordulatszám-különbség beállítása
	7c Flokkulálószer-adag kevés	7c Flokkulálószer-adagoló üzeme	7c A flokkulálószer-adagoló beállítása
	7d Flokkulálószer elöregedett	7d Flokkulálószer-állapot	7d Új flokkulálószer-oldat készítése; alternatív megoldás: „in-line" adagolórendszerre való áttérés (6.1.3.1. fejezet)
	7e Flokkulálószer nem megfelelő minőségű	7e A flokkuláló-szer minősége	7e Megfelelő minőségű flokkuláló-szer alkalmazása
8. Iszapvíz szuszpendált lebegőanyag-tartalma nagy	8a Mint 7a, 7c	8a Mint 7a, 7c	8a Mint 7a, 7c
	8b Kicsi a csiga-dob fordulat-szám-különbsége	8b Mint 7b	8b Mint 7b
9. Iszaplepény nedvességtartalma túl nagy	9a Polielektrolit-adag kevés	9a Adag	9a Adag beállítása
	9b Polielektrolit-túladagolás	9b Adag	9b Adag beállítása
	9c Polielektrolit-oldat régi	9c Bekeverési időpont ellenőrzése	9c Új oldat készítése. Alternatív megoldás: „in-line" adagolórendszerre való áttérés
	9d Iszap minősége megváltozott	9d Iszapminőség	9d Kondicionálószer-adag optimalizálása; kondicionálószer-módosítás; relatív fordulatszám-különbség csökkentése
	9e Gátmagasság szintje alacsony	9e Gátlapok szintjének ellenőrzése	9e Gátmagasság emelése
10. Szűrlet (iszapvíz) fekete, zavaros	10a Polielektrolit-adag kevés	10a Adag	10a Adag beállítása
	10b Polielektrolit-adag sok	10b Adag	10b Adag beállítása

36. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
	10c Polielektrolit elöregedett	10c Bekeverési időpont ellenőrzése	10c Új oldat készítése. Alternatív megoldás: „in-line" adagolórendszerre való áttérés
	10d Iszap minősége megváltozott	10d Iszapminőség	10d Kondicionálószer-adag optimalizálása; kondicionálószer-módosítás; relatív fordulatszám-különbség csökkentése
	10e Gátmagasság szintje magas	10e Gátlapok szintjének ellenőrzése	10e Gátmagasság szintjét csökkenteni kell
11. Iszaplepény száraz-anyag-tartalma normális, de víz is távozik az iszaplepénnyel	11a Vízelvezetés eltömődött	11a Vízelvezetési oldal	11a Vízelvezetési út szabaddá tétele, ill. tolózár nyitása
	11b Belső tér (edényzet) elszennyeződött	11b Szemrevételezés	11b Belső tér tisztítása
12. Az iszapvíz átfolyik a centrifugán (nincs víztelenítés)	12a Polielektrolit-adagolás nincs	12a Polielektrolit-adag és szivattyú ellenőrzése	12a Kondicionálás és polielektrolit szivattyú indítása
	12b Iszavíz-visszavezető csövek eldugultak	12b Iszapvíz-visszavezető csövek üzeme	12b Iszapvíz-visszavezető csőrendszer tisztítása
	12c Relatív fordulatszám-különbség túl kicsi	12c Relatív fordulatszám-különbség	12c Relatív fordulatszám-különbség növelése
13. Erős szivárgás a betáplálóoldalon a beömlőfejnél	13a Túlterhelés	13a Betáplált iszapmennyiség	13a Betáplált iszapmennyiség csökkentése
	13b Részleges eltömődés	13b Mosatás, mosóvíztisztítás ellenőrzése	13b Mosatás, ill. szétszerelés
	13c Relatív fordulatszám-különbség túl kicsi	13c Relatív fordulatszám-különbség	13c Relatív fordulatszám-különbség növelése
14. Iszaplepény nincs	14a Nincs iszapbetáplálás	14a Táplálószivattyúk üzeme	14a Táplálószivattyúk bekapcsolása
	14b Centrifuga eltömődött	14b Vízoldalon távozik minden (ellenőrzés)	14b Leállítás, mosatás, ill. teljes szétszerelés

36. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok		Ellenőrzés		Lehetséges megoldás	
	14c	Iszaplepény nem távozik (CYCLO-ékszíj elszakadt)	14c	Csigameghajtás ellenőrzése. HYDRO-hidraulika ellenőrzése	14c	CYCLO-ékszíjcsere; HYDRO-hidraulika beállítása
15. Erős vibráció üzem közben, indításkor és leálláskor	15a	Részleges eltömődés	15a	Mosatás, mosóvíz tisztasága	15a	Mosatás, ill. teljes szétszerelés
	15b	Erős kopás	15b	Szétszerelés után méréssel	15b	Felújítás
16. Főcsapágyak túlmelegszenek	16a	Túl sok vagy túl kevés kenőanyag	16a	Kenőanyag-ellenőrzés	16a	Ha kevés, utánzsírozni. Ha túl sok, várni kell
	16b	Hibás csapágyazás	16b	Zajos csapágy	16b	Csapágycsere
	16c	Túl feszes ékszíj	16c	Ékszíjfeszesség	16c	Ékszíjbeállítás
17. Centrifuga süvít felpörgéskor	17.	Laza ékszíj	17.	Ékszíj	17.	Ékszíjbeállítás
18. Centrifugameghajtólánc szabályozója meghibásodik	18a	Iszapbetáplálás mértéke túl sok	18a	Hozam	18a	Betáplálás csökkentése
	18b	Betáplált szilárdanyag-mennyiség túl sok	18b	Térfogatszázalék	18b	Betáplált iszap hígítása
	18c	Idegen anyag a gépben	18c	Belső rész átvizsgálása	18c	Szállítócsiga kiszerelése, idegen anyag eltávolítása
	18d	Hajtóműbeállítás hibás (egytengelyűséghiba)	18d	Vibráció	18d	Egytengelyűség biztosítása
	18e	Hajtóműben fogaskerék- vagy tengelyhiba	18e	Hajtómű átvizsgálása	18e	Hibás alkatrész(ek) cseréje
19. Nagymértékű vibráció	19a	Helytelen kenés (olajozás)	19a	Kenési (olajozó-) rendszer átvizsgálása	19a	Korrekt kenés (olajozás)
	19b	Rezgéscsillapítás helytelen beállítása	19b	Rezgéscsillapítók	19b	Rezgéscsillapítás (rezgéscsillapítók) beszabályozása
	19c	Ürítő- (elvezető-) tölcsér hozzáér a centrifugához	19c	Ürítőtölcsér helyzete	19c	Tölcsérillesztés módosítása

36. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
	19d Ürítőcsiga-lapátok egy része eltömődött száraz anyaggal és kiegyensúlyozatlanságot okoz	19d Gép belső része	19d Centrifuga átöblítése vízzel
	19e Hajtóműegység egytengelyűségének beállítása hibás	19e Hajtóműegység	19e Egytengelyűség beállítása
	19f Alátámasztó egység csapágyai sérültek	19f Csapágyak vizsgálata	19f Csapágyak cseréje
	19g Centrifuga kiegyensúlyozatlan	19g Kiegyensúlyozatlanság	19g Forgórészek kiegyensúlyozása a gyártóműben
	19h Alkatrészek illesztése (tömítése) nem folyadékzáró	19h Illesztések	19h Alkatrészek megfelelő illesztése, ill. tömítése
	19i Ürítőcsiga egyenetlen kopása	19i Ürítőcsiga vizsgálata	19i Csigafelület szabályozása (megmunkálása) és újbóli kiegyensúlyozása
20. Teljesítményfelvétel gyors (hirtelen) növekedése	20a Centrifugadob érintkezik a centrifuga köpenyében akkumulálódott száraz anyaggal	20a Száraz anyagban barázdák, a centrifugadobon kifényesedett (polírozódott) felületek láthatók	20a Kopások helyén kemény felületet kell létrehozni
	20b Iszapvízelvezető cső eltömődött	20b Öblítés az anyag eltávolításához	20b Iszapvízelvezető cső tisztítása
21. Teljesítményfelvétel fokozatos növekedése	21a Ürítőcsiga lapátjai kopottak	21a Ürítőcsiga állapota	21a Lapátfelületek helyreállítása (esztergálás, élezés)
22. Száraz-anyag-eloszlás ingadozik	22a Iszapmedence mélysége túl nagy	22a Duzzasztás helyzete (mértéke)	22a Iszapmedencében az iszapmélység növelése
	22b Szállítócsiga érdes	22b Felület keménysége nem megfelelő vagy korrózió	22b Szállítócsiga-lapátok felületének megmunkálása

36. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
	22c Adagolócső (ha állítható) túl közel van a drénező felülethez	22c Adagolócső helyének szemrevételezése	22c Adagolócső beállítása
	22d Gép belső vibrációja		
23. Centrifuga megáll, vagy el sem indul	23a Kiolvadt biztosíték	23a Biztosíték	23a Biztosítékcsere, a gép átöblítése
	23b Túláramvédelem kioldott	23b Túláramvédelem	23b Gép átöblítése, túláramvédelem visszakapcsolása
	23c Motor melegszik, termikus védelem kioldott	23c Termikus védelem	23c Gép átöblítése, termikus védelem visszakapcsolása
24. Adagolószivattyúk időnként eldugulnak	24a Iszaptározóban esetenként az iszap leülepszik	24a Iszaptározó vizsgálata	24a Iszaptározót háromhavonként tisztítani kell
25. Kétszintes ülepítő nagyobb szárazanyagtartalmú iszapjának centrifugálásához 2,5–3,5 g polielektrolit/kg szárazanyag-kondicionáló szer kell (Példa)	25a Szárazanyagtartalom a kondicionálószer-igényt alapvetően befolyásolja	25a Szárazanyagtartalom–kondicionálószer kapcsolata	25a Hígabb iszapok (felúszott iszap, részben rothadt humusziszap) esetében a 3-szoros polielektrolit-adag szükséges (Példa)
Tálcás centrifuga			
1. Elfolyó iszapvíz minősége jó, elfolyó iszap híg	1a Tálcák mérete és száma nagy, helyzetük nem megfelelő	1a Tálcák	1a Tálcák számának és/vagy méretének csökkentése, beállítása
2. Elfolyó iszapvíz minősége gyenge, elfolyó iszap híg	2a Tálcák mérete és száma kicsi	2a Tálcák	2a Tálcák méretének és/vagy számának növelése, beállítása
	2b Hidraulikai terhelés túl nagy	2b Iszaphozam	2b Iszaphozam beállítása

36. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
3. Nagy vibráció	3a Mechanikai hibás működés (csapágyazás, meghajtás, alátámasztás)	3a Mechanikai berendezések ellenőrzése	3a Mechanikai berendezések javítása
	3b Eltömődött tálca	3b Tálca	3b Eltömődés megszüntetése
	3c Elégtelen kenés	3c Kenőrendszer	3c Megfelelő kenés
	3d Vibrációizolátorok elégtelen beállítása	3d Vibrációizolátorok	3d Izolátorok beállítása
	3e Egyes gépészeti elemek nincsenek szorosan összeszerelve	3e Gépészeti elemek összeszerelése	3e Gépészeti elemek szoros összeszerelése
	3f Teherviselő alap meghibásodása	3f Teherviselés	3f Alapok javítása
	3g Vibrációs kapcsoló hibája	3g Vibrációs kapcsoló	3g Vibrációs kapcsoló javítása
	Dobcentrifuga		
1. Elfolyó iszapvízminőség jó, elfolyó iszap híg	1a Táplálási idő túl rövid	1a Iszapvízelvezetés megszakítása	1a Táplálási idő növelése
	1b Iszaphozam túl kicsi	1b Iszaphozam	1b Iszaphozam növelése
2. Elfolyó iszapvízminőség a ciklus végén gyenge, elfolyó iszap minősége megfelelő	2a Táplálási idő túl hosszú	2a Iszapvízelfolyás megszakítása	2a Táplálási idő csökkentése
	2b Iszaphozam túl nagy	2b Iszaphozam	2b Iszaphozam csökkentése
	2c Helytelen vegyszeradagolás	2c Kémiai rendszer	2c Vegyszeradag növelése
3. Elfolyó iszapvízminőség gyenge, elfolyó iszap híg	3a Nagy terhelések	3a Iszaphozam és megszakítási idő	3a Iszaphozam csökkentése
	3b Elégtelen vegyszeradag	3b Kémiai rendszer	3b Vegyszeradag növelése
4. Vibrációk	4a Mechanikai hibás működés (csapágyazás, meghajtás, alátámasztás)	4a Mechanikai berendezések ellenőrzése	4a Mechanikai berendezések javítása

36. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
	4b Betáplálási szelvény eltömődése	4b Eltömődés	4b Eltömődés megszüntetése
	4c Egyenlőtlen iszapeloszlás	4c Iszapeloszlás (elsősorban előülepített iszap víztelenítésekor fordul elő)	4c Egyenlőtlen iszapeloszlás megszüntetése
5. Sűrített iszap koncentrációja megfelelő, elfolyó iszapvíz minősége gyenge	5a Táplálási idő hosszú	5a Elfolyás vizsgálata teljes ciklusson át	5a Táplálási idő csökkentése
	5b Iszaphozam túl hosszú idejű (töltés)	5b Iszaphozam	5b Betáplált iszaphozam csökkentése
6. Sűrítés túlzottan nagy mértékű, a lefölöző nem működik a kívánt módon	6a Sűrített iszap szárazanyag-tartalma nagy	6a Szárazanyag-tartalom	6a Szárazanyag-tartalom kb. 6%-nál nem lehet nagyobb
	6b Polimeradagolás	6b Polimeradag	6b Polimeradag optimalizálása, hogy a sűrített iszap a lefölöző és tápláló csőrendszert ne tömje el

4.2.3.6. KÉRDÉSEK

1. Melyek a fő sűrítő centrifugatípusok? (4.2.3. fejezet.)
2. A sűrítő dekantáló centrifuga működési elve. [4.2.3.1. (A) fejezet; *68/a ábra.*]
3. Melyek a dekantáló centrifuga üzemét befolyásoló legfontosabb tényezők? [4.2.3.1. (A) fejezet.]
4. Melyek a dekantáló centrifuga alkalmazási előnyei, hátrányai? [4.2.3.1. (B) fejezet.]
5. Melyek a dekantáló centrifuga fő üzemeltetési paraméterei? [4.2.3.1. (C) fejezet.]
6. A sűrítő tálcás centrifuga működési elve. [4.2.3.2. (A) fejezet.]
7. A tálcás centrifuga előtisztítási igénye. [4.2.3.2. (B) fejezet.]
8. A sűrítő dobcentrifuga működési elve. [4.2.3.3. (A) fejezet.]
9. A dobcentrifuga előnyei, hátrányai. [4.2.3.3. (A) fejezet.]
10. Az iszapsűrítő centrifugák teljesítményei. (4.2.3.4. fejezet; *35. táblázat.*)
11. A centrifugák lehetséges fő üzemeltetési hibái. (4.2.3.5. fejezet.)

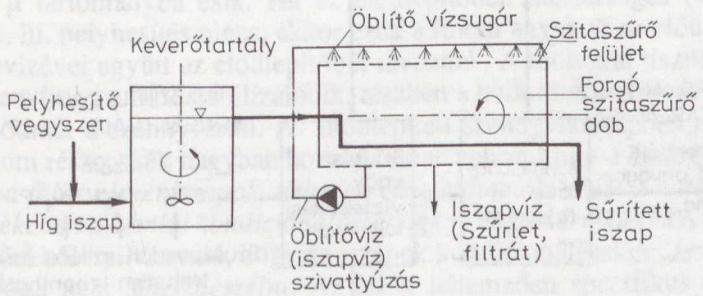
4.2.4. ISZAPSŰRÍTÉS MIKROSZITASZŰRÉSSEL

A biológiai szennyvíztisztító rendszerből származó fölösiszap (utóülepített iszap) gravitációs úton, közismert, hogy nehezen sűríthető. Egyes esetekben, amikor a *fölösiszap gyors sűrítése szükséges, a gravitációs sűrítés alkalmazása nem jöhet szóba.*

Ez a helyzet például a biológiai foszforeltávolítás esetében, amikor a *hosszú iszapkezelési időtartam alatt a foszfor visszaoldódik, és az iszapvíz recirkuláltatásával a foszfor a tisztítórendszerbe visszakerül.*

A gépi sűrítés a kis rothasztóterekhez is hasznos megoldás. *A gravitációs sűrítéssel szemben, a gépi sűrítés nagyobb szárazanyag-tartalmat eredményez,* így a rothasztóba kevesebb iszapot kell szivattyúzni, ezáltal a rothasztás időtartama hosszabbodik. Az iszaprothasztáshoz az iszap optimális szárazanyag-tartalma 6–8%.

A gyors, nagyobb szárazanyag-tartalmú sűrítés különböző fajta gépekkel valósítható meg. Ezen gépek közül *egyes esetekben* a mikroszitaszűrőt is alkalmazzák *(74. ábra;* Kroiss nyomán, 1994). Ez esetben pelyhesítő vegyszer adagolása szükséges.



74. ábra. Mikroszitaszűrő iszapsűrítéshez

A mikroszitaszűrő forgási sebessége 5–15 ford./min. A forgó dobszita felületét, annak tisztán tartása céljából, a mikroszitaszűrlettel folyamatosan öblíteni kell.

A szűrlet lebegőanyag-koncentrációja a gravitációs sűrítőéhez képest csekély.

4.3. ISZAPKONDICIONÁLÁS

A kondicionálás célja az iszap víztelenítési sajátosságainak kedvezővé tétele. A kondicionálás tehát az iszap víztelenítése, transzportja, elhelyezése, hasznosítása *előtti előkezelése.* Az iszapszemcsék kondicionálást igényelnek, mert

– kisméretűek,
– hidratáltak (vízzel kötődnek) és
– felületükön rendszerint elektrosztatikus töltést hordozhatnak.

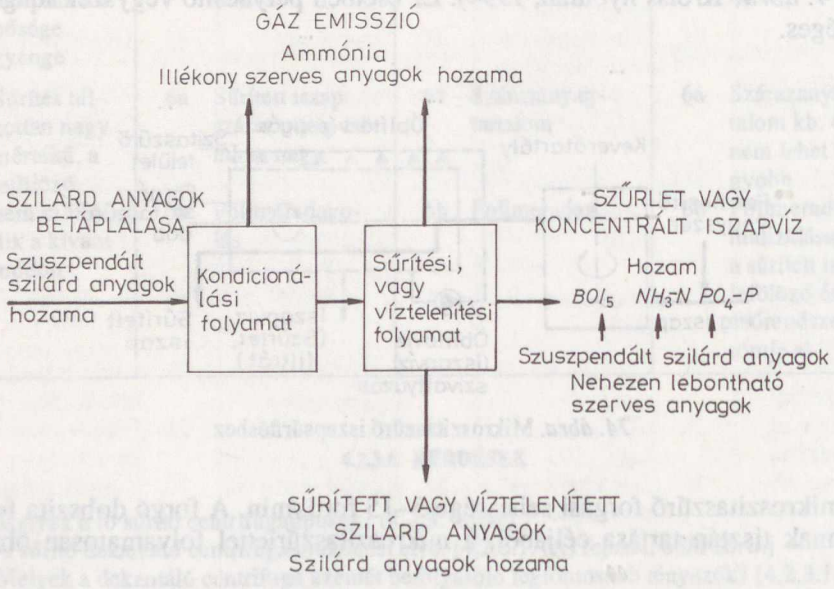
A kondicionálás révén a szemcsék felületén koaguláció játszódik le, miáltal az elektrosztatikus töltések csökkennek, ennek megfelelően a biológiai iszapok víztartó, illetőleg vízmegkötő képessége és hajlama csökken.

Iszapkondicionáló eljárások:

1. kémiai kezelés,
2. hőkezelés (termikus kondicionálás),
3. nedves oxidáció,
4. elutriáció és
5. egyéb, el nem terjedt eljárások (fagyasztás, elektromos és ultrahangos kezelés).

Az eljárások közül csak az 1–4. eljárás terjedt el. Közülük az elutriáció (fizikai iszapkimosás) ritkán alkalmazott. A következőkben ezen eljárások üzemeltetőt érintő kérdéseit tekintjük át.

Az iszapkezelés *alapparamétereit* a *75. ábra* tartalmazza (EPA, 1987).



75. ábra. Iszapkezelő rendszer alapparaméterei, kapcsolatuk

4.3.1. KÉMIAI KONDICIONÁLÁS

4.3.1.1. BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A szennyvíziszap kémiai kondicionálása a víztelenítés szempontjából *gazdaságos*. A kondicionálás hatására a víztelenítendő iszap 90–95%-os nedvességtartalma 65–85%-ra csökkenthető, az iszap sajátosságaitól (iszapforrás, szilárdanyag-koncentráció, kor, pH és lúgosság) függően (EPA, 1982). Így az iszap

szárazanyag-tartalma nő. Az üzemeltetési tapasztalatok szerint a polimerek ugyan a szárazanyag-tartalmat csak kisebb mértékben növelik, de a vassók és a mész a szárazanyag-tartalmat 20–30%-kal emelik.

A kondicionálás alapvető célja tulajdonképpen az, hogy az „iszapszemcsék mérete" növekedjék azáltal, hogy a kicsi részecskék, gyenge keverésük közben, nagyobb pelyhekbe tömörödjenek. Minthogy az iszapszemcsék felülete jellemzően negatív és inkább taszítják, mintsem vonzzák egymást, a kémiai kondicionálás során az elektrosztatikus taszítóerők neutralizálódnak (ill. megfelelő mértékig csökkennek), így a pehelyképződés feltételei megteremtődnek.

Az iszap víztelenítheősége szempontjából az iszaprészecske mérete a legfontosabb befolyásoló tényező. Ahogy *az iszapszemcse átlagos mérete* (átmérője) *csökken* (elsősorban a tisztítórendszerbeli nyíróerők és a keverés miatt), *a felület–térfogat-arány exponenciálisan nő* (EPA, 1982). A nagyobbá vált felület

– nagyobb mértékű hidratációt,
– nagyobb mennyiségű kondicionáló vegyszert és
– a víztelenítéssel szemben nagyobb ellenállást eredményez.

Az üzemeltetőnek tisztában kell lenni a következőkkel is. A nyers települési szennyvíz jelentős mennyiségű kolloidot és finom szemcsét tartalmaz. Ezek mérete 1–10 μ tartományba esik. Ha az előülepítőben mesterséges (vegyszeres) koaguláció, ill. pelyhesítés nincs, akkor ezek a finom anyagok az előülepítő elfolyó szennyvizével együtt az előülepítőből távoznak. A biológiai tisztítási lépcsőben, amellett, hogy a BOI stabilizálódik, részben a kolloidok és finom részecskék is szeparálódnak a szennyvíztől. Az utóülepített szennyvíziszapban maradt kolloid- és finom részecskék nagyban hozzájárulnak ahhoz, hogy *a biológiai iszapok, különösen a fölös eleveniszapok, nehezen víztelenithetők, ezért a hatékony víztelenítés érdekében a kémiai kondicionálószer-igény nagymértékű* (EPA, 1987).

Az előzőekből nyilvánvaló, hogy az iszapok kondicionálásakor *„iszap"-ról általánosságban nem lehet beszélni.* Az iszap jellemzően specifikus tulajdonságokkal rendelkezik. Ennek tudomásulvétele természetesen nagyobb szintű üzemeltetői tevékenységet és ehhez megfelelő feltételrendszer (például a megfelelő méréstechnika) megteremtését igényli.

Az üzemeltető azt is tartsa szem előtt, hogy a kémiai kondicionálás kívánt mértékét egyéb tényezők is befolyásolhatják (EPA, 1982). Így

– az iszap állapota és
– a rendelkezésre álló kondicionálómechanizmus is fontos szerepet játszhat.

A hidratáció és az iszapág finom szemcsetartalma jelentősen nőhet

– a nyíróerők jelenléte,
– a hő és
– a tározás

hatására is. Például *az iszap transzportálása* a központi iszapkezelő rendszerbe, *az iszap hétvégi tározása* a mechanikai víztelenítés előtt, *az iszap hosszú idejű tározása*, az üzemeltetési tapasztalatok szerint, *a kémiai kondicionáló vegyszer(ek)-igényt valamennyi víztelenítési mód esetében növeli.*

További befolyásoló tényezők:

– biopolimer-produkció,
– a fonalas szervezetek jelenlétének mértéke, a fonalas és a zooglea-mikroorganizmusok egyensúlya vagy hiánya,
– előülepített iszap–utóülepített iszap aránya,
– az iszap szervetlenanyag-tartalma,
– *az iszap forrása* (előülepített iszap, fölös eleveniszap – utóülepített iszap –, rothasztott iszap), ami a kondicionálószer-dózist eleve a legnagyobb mértékben befolyásolja.

A kondicionálószer-adag *növekvő sorrendje* az iszapfajtáktól függően a következő:

1. Előülepített iszap.
2. Előülepített iszap és csepegtetőtestes humusziszap keveréke.
3. Előülepített és fölös eleveniszap keveréke.
4. Anaerob rothasztású előülepített iszap.
5. Anaerob rothasztású kevert előülepített és fölös eleveniszap.
6. Eleveniszap (utóülepített iszap).
7. Aerob rothasztású iszap.

A *szilárdanyag-koncentráció* a kondicionálószer-dózist és annak diszperzióját befolyásolja.

A *pH* és *lúgosság* a kondicionálószer hatékonyságát befolyásolhatja, különösen igaz ez a szervetlen kondicionálószerek esetében.

Mészadagolás esetében (a víztelenítéshez magas pH fenntartása céljából) erős ammóniaszag és mészkéregproblémák jelentkezése várható.

A megválasztandó kondicionáló vegyszer fajtáját a *víztelenítés módja* is befolyásolhatja, hiszen a kapható keverőberendezések és a víztelenítés sajátos módszerei szintén fontos tényezők. Például a centrifugás és a szalagszűrő-préses víztelenítéshez általában polimereket alkalmaznak. De a polimereket a vákuumszűréses és a nyomószűréses víztelenítéshez ritkábban alkalmazzák (Metcalf and Eddy Inc., 1991).

Külön problémát jelent a *foszforeltávolítás*. (Ezért is igyekeznek tiltani a foszfortartalmú detergensek használatát és mérsékelni a foszfortartalmú anyagokat a háztartásokban.) A foszfort gyakran vegyszerek (ferriklorid, alumínium-szulfát, nátrium-aluminát vagy mész valamilyen fajta polielektrolittel együttesen) adagolásával távolítják el az iszapból. A probléma az, hogy a foszforkicsapatás 30–100%-nyi iszapszaporulattal jár, amit azután sokszor a szokásostól eltérő módon lehet sűríteni és vízteleníteni. Ezt jelzik a következő üzemeltetési tapasztalatok:

– a mésziszapok készségesen sűríthetők és víztelenít hetők,
– a hidroxidiszapok (ferriklorid, alumínium-szulfát, nátrium-aluminát adagolása esetén) rendszerint gyengén sűríthetők és víztelenít hetők, ezért jelentős polimerdózis-igény is jelentkezik. Az üzemeltetők úgy vélekednek, hogy az ilyen nehezen kezelhető hidroxidiszapok a gyenge minőségű eleveniszapok viselkedéséhez hasonlóak.

A legáltalánosabban alkalmazott szervetlen kondicionáló vegyszer a ferriklorid, önállóan vagy mésszel kombináltan.

Ferriklorid. A ferrikloridot a mésszel együtt adagolják az iszaphoz. *Először* a ferrikloridot adagolják, ami a vízben hidrolizál, így pozitív töltésű, oldható vaskomplexek képződnek, amelyek a negatív felületi töltésű iszapszemcsék felületét igyekeznek neutralizálni, ezáltal a pehelyképződés feltételei megteremtődnek. A ferriklorid ($FeCl_3$) az iszap bikarbonát-lúgosságával is reakcióba lép, és *flokkuláns tulajdonságú hidroxidok* [$Fe(OH)_3$] képződnek:

$$2\,FeCl_3 + 3\,Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2\,Fe(OH)_3 + 3\,CaCl_2 + 6\,CO_2 \qquad (28)$$

A ferriklorid-oldatok általában a kereskedelemtől beszerzett hígításban (30–40%-os) használatosak, mert további hígításuk már az adagolásuk előtt hidrolízisreakciókhoz vezetne, és ferrihidroxid-csapadék képződne.

A ferriklorid korrozív hatása miatt a vele érintkező anyagok (epoxi, gumi, kerámia, PVC és vinil) speciálisak kell hogy legyenek. Bőrrel, szemmel való érintkezése elkerülendő.

Mész. A hidratált mész rendszerint a ferrisóval együtt alkalmazott. A mész a kolloidokra némi dehidratáló hatású, kondicionáláshoz azonban elsősorban

– pH-szabályozó,
– szagcsökkentő és
– fertőtlenítő

hatásai miatt választják, kivéve, ha a mész az iszap mezőgazdasági hasznosítását zavarja, vagy lehetetlenné teszi.

A mész az iszap bikarbonáttartalmával reakcióba lépve $CaCO_3$ képződik, ami szemcsés szerkezetű csapadék lévén

– az iszap porozitását növeli és
– az iszap kompresszibilitását csökkenti.

A mész oltatlan formában (CaO) és hidratált formában [$Ca(OH)_2$] áll rendelkezésre. Az utóbbi formájú mész alkalmazása egyszerűbb, nem igényel oltást, könnyen keverhető vízzel (kismértékű hőképződéssel), és nincs szükség speciális tározási feltételekre sem. CaO formát az 1–2 tonna/d-nél nagyobb igényű telepeken alkalmazzák.

A szervetlen kondicionáló vegyszerek az iszaptömeget növelik. Minden kg adagolt mész és ferriklorid 1 kg többletiszapot eredményez (EPA, 1982). Így az elhelyezendő iszap mennyisége nagyobb, ugyanakkor a kondicionált iszap fűtőértéke az égetéskor kisebb. Az üzemeltetőnek mindezen tényektől függetlenül arra is kell gondolni, hogy a mész iszapstabilizáló hatása sok esetben nagyon is fontos szempont.

A fejlődés során egyéb szervetlen kondicionálószerek is megjelentek a látóhatáron.

– A **szénport** a centrifugáláshoz és a vákuumszűréshez próbálják alkalmazni (Hirota et al., 1974; Albertson és Kopper, 1983). Ezáltal az iszap szárazanyag-

tartalma nő, az iszap nedvességtartalma hatékonyabban csökkenthető, ami az iszap égetésekor a póttüzelési költség 60–90%-os csökkenését eredményezi.

– A különböző eredetű **hamu** is alkalmazott egyes esetekben (EPA, 1987); ezáltal az iszap

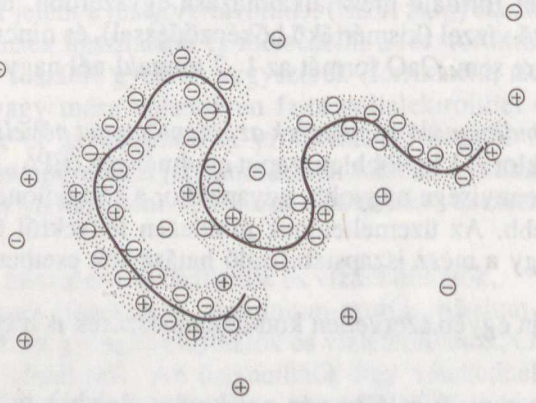
– víztelenítésének mértéke növelhető,
– segíti az iszaplepény leválását,
– az iszap szárazanyag-tartalma nő és
– csökkenti az egyidejűleg adagolandó (amennyiben szükséges) kondicionálószerek dózisát.

Az üzemeltető figyeljen az ilyen és nyilván a további kutatások során is felbukkanó kezdeményezésekre. A szennyvíztisztító telepen lévő iszap kondicionálásához, amennyiben ésszerű, *maga is kutatásokat kezdeményezhet.*

4.3.1.3. SZERVES KONDICIONÁLÓ VEGYSZEREK

A szennyvíziszapok kémiai kondicionálásához a szintetikus szerves *polielektrolitok* (gyakran a „polimer" elnevezés használatos) egy csoportja is széles körben terjedt el. A polielektrolit nagy molekulasúlyú anyag, amely természetes vagy szintetikus folyamatokból származik. A természetes polielektrolitok biológiai eredetűek lehetnek, például alginátok vagy keményítőtermékekből származnak, cellulózszármazékok, vagy alignates. A szintetikus polielektrolitokat egyszerű anyagok alkotják, melyek nagy molekulasúlyú anyagokká alakulnak.

A szerves polimerek a vízben oldódnak, és változó viszkozitású oldatokat alkotnak. Ennek a folyamatnak a során hosszú, láncszerű anionos polimer alakzat *(76. ábra)* képződik, mert a lánc mentén a szomszédos, töltéssel rendelkező helyek egymásra taszító hatásúak. Normál koncentrációk esetében a lánc véletlenszerűen csavarodott. Ez az egyszerűsített ábra nem tudja érzékeltetni a polimer hihetetlenül hosszú voltát, sem az aktív polimerláncok polimeroldatban lévő na-



76. ábra. Jellemző oldatban lévő anionos polimeralakzat

gyon nagy számát. A becslések szerint a 100 000 molekulasúlyú, *0,2 mg/l polimeradag iszap literenként 120 trillió aktív láncot eredményez.*

Az üzemeltetőnek ebben a mérhetetlenül bonyolult kondicionáló-rendszerben kell tevékenykednie, *és valóban optimális vegyszeradagokat kell beállítania* (Kollár, 1994). Nyilvánvaló, hogy ez a tevékenység csak közelítő lehet, a tudományos alap, az ebből eredő, a gyakorlatban elfogadható szintű szemlélet nem nélkülözhető. Annál is inkább, mert a víztelenítést az iszaprészecskék fizikai és kémiai sajátosságai tulajdonképpen *gátolják*. Az üzemeltetőt azonban az oldatban lévő polimerek *segítik*, hiszen

– az iszapszemcsék felületén lévő kötött iszapvizet deszorbeálják,
– a töltéseket neutralizálják, vagy legalábbis elfogadható mértékig csökkentik,
– a kis iszapszemcséket a közöttük lévő hídkötések révén pelyhekbe tömörítik.

(Ilyen irányú részleteket például Öllős, 1987, 6.3. fejezete tartalmaz.)

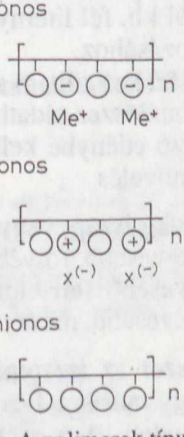
A *76. ábrával* kapcsolatos polimerszerkezeti tulajdonságok ismeretében érthető, hogy a polielektrolitok *valamennyi iszapkondicionálási feladat megoldásához sikeresen alkalmazottak*. A polimerek szervetlen kondicionálószerekkel szembeni térnyerését a következő tényezőknek köszönheti (EPA, 1987):

– kis mennyiségű (15–30%-nyi) többletiszap keletkezik,
– a víztelenített iszap fűtőértékét nem csökkenti,
– a kondicionálóanyag-kezelési műveletek tisztábbak,
– az üzemeltetési és fenntartási problémák csökkennek.

Az üzemeltetőnek ügyelni kell arra, hogy *a polielektrolit kondicionálószerek területén a fejlődés* (a jelen időszakban) *folyamatosan tart.*

A polimereket rendszerint három általános típusba csoportosítják *(77/a–c ábra)*:

– az *anionos polimerek* (*a* ábra) negatív töltésűek, és a pozitív töltésű alumínium-szulfáttal és ferrikloriddal együttesen alkalmazzák,



77/a–c ábra. A polimerek típusai

– a *kationos polimerek* (*b* ábra) pozitív töltésűek, és önálló kondicionálószerként, vagy alumínium-szulfáttal kombinálva alkalmazzák. *A szennyvíziszap víztelenítéséhez a legáltalánosabban a kationos polimerek terjedtek el,*

– a *nem ionos polimerek* (*c* ábra) normálisan azonos résznyi kationos és anionos polimert foglalnak magukba, töltésük az oldat pH-jától függően változhat.

Az üzemeltető figyeljen fel arra is, hogy a kémiai kondicionálás számos szennyvíztisztító telepen *csak akkor lehet folyamatosan hatékony, ha nyáron kationos, télen anionos polimereket alkalmaznak.*

4.3.1.4. KONDICIONÁLÓSZER-DÓZIS MEGHATÁROZÁSA

A kondicionálószer-fajta és -dózis megválasztásához fontos, hogy az üzemeltető a megválasztás eljárásmódjaival valóban tisztában legyen. Össze kell tudni hasonlítani az egyes szerek hatékonyságát és költségeit is.

A kondicionálószer-dózis két lépésben határozható meg:

1. először laboratóriumi körülmények között – közelítésként – a relatív kondicionálószer-mennyiség, ill. annak relatív hatékonysága meghatározásához lombikvizsgálatok (jar test), majd ezt követően
2. a már pontosabb meghatározást lehetővé tevő üzemi körülmények közötti fokozatos optimalizálásra kell áttérni.

Valamely iszapkondicionáló vegyszerrel való koaguláltatáshoz szükséges *vegyszeradag* meghatározásához kétféle út ismert. Az egyik egyszerű, ezért nyilvánvalóan közelítő, bármelyik szennyvíztisztító telepen elvégezhető. A másik út a gépi (mechanikai) keverésű.

Az *egyszerű*, gépi keverés nélküli lombikvizsgálatok végzésének menete (Kerri et al., 1989; Tortorici és Stahl, 1989):

1. Kb. 4 l reprezentatív iszapmintát kell gyűjteni.
2. A gyártó cég utasításának megfelelően, a kondicionálószerből oldatot kell készíteni.
3. A gyűjtött iszapmintából kb. fél liternyit el kell különíteni az iszap szárazanyag-tartalmának meghatározásához.
4. 1 l-es edényt az 1 l jelig fel kell tölteni a vizsgálandó iszappal.
5. Az előkészített kondicionálószer-oldatból pipettával egy adagot véve, azt a vizsgálandó iszapot tartalmazó edénybe kell juttatni. Az adagolt dózisokat *lépcsőnként kell növelni*, amely növelés

– polimer esetében 2,5 mg/kg iszap, vagy kevesebb, száraz polimer esetében,
– 12,5 mg/kg iszap, vagy kevesebb, folyékony polimer adagolásakor,
– 50 mg/kg iszap, vagy kevesebb, ferriklorid és
– 100 mg/kg iszap, vagy kevesebb, mész esetében.

6. Miután a kondicionálószer az iszapmintát tartalmazó edénybe került, az edény teljes iszaptartalmát egy másik 1 l-es edénybe kell *lassan* átönteni, majd *lassan* vissza kell önteni az eredeti 1 l-es edénybe. A *lassú* átöntések

– a kondicionálószer és az iszap megfelelő keveredését segítik, miközben
– a koaguláció, majd ezt követően
– az iszapszemcsék flokkulációja (pehelyképződése) is lejátszódik.

Ha a kondicionáló vegyszer hatékony,

– nagy pelyhek képződnek és
– felül tiszta iszapvízréteg figyelhető meg.

Ha számottevő pelyhek nem képződnek, újabb vegyszermennyiséget kell adagolni az iszaphoz, és az edénybe kell önteni, majd vissza. A lépcsős adagolást addig kell folytatni, amíg a kívánt pehelyképződés és a tiszta iszapvíz (supernatant) megjelenik.

7. A 6. pontban vázolt egyszerű módszerű kondicionálószer- és iszapöntögetés (majd vissza) helyett, ha rendelkezésre áll, gépi *keverőberendezés* alkalmazható. Ezen – az igényeket már jobban kielégítő – vizsgálatnál ügyelni kell arra, hogy a keverőedényekben is *a tényleges telepi szuszpendált szilárdanyag-koncentráció* legyen. Figyelembe kell venni a szennyvíztisztítás sajátosságait is. Ha például a szennyvíztisztításkor a foszforvegyületek eltávolítása céljából fémsókat adagolnak, a lombikvizsgálatoknál ezt is „modellezni" kell. *A lombikvizsgálatok az adagolandó vegyszerek relatív mennyiségét képesek megadni, ezért a ténylegesen igényelt vegyszerdózis meghatározása céljából, ezt követően, a helyszínen víztelenítési kísérleteket is kell végezni.*

A lombikvizsgálathoz (pl. Calgon Corp., 1980) 4–6 db 1 l-es üvegedényt kb. 600 ml-nyi iszappal kell feltölteni. Ezt követően mindegyik edénybeli iszaphoz a gyártó cég által javasolt, vagy az üzemeltető tapasztalatai által elgondolt kondicionálószeroldat-dózist kell belejuttatni. A keverés 75 ford./min lehet. Majd a pehelyképződést meg kell figyelni.

8. A megfelelő pehelyképződéshez tartozó vegyszeroldat-térfogatot fel kell jegyezni.
9. Ezt követően az üzemeltetőnek *számítással meg kell határozni* az előkészítendő, majd adagolandó kondicionálószer mennyiségét, ill. annak közelítő költségeit.

4.3.1.5. A VEGYSZEROLDAT ELŐKÉSZÍTÉSE

(A) Száraz polimerek

A kémiai kondicionálás sikerének egyik kulcsa a vegyszeroldat előkészítése. Az előkészítés menete (Kerri et al., 1989; Tortorici és Stahl, 1989):

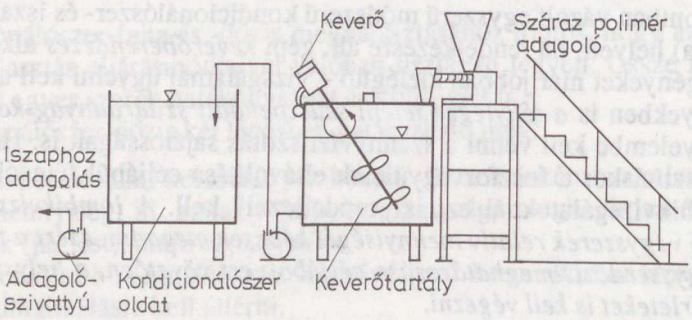
1. Az igényelt vegyszeroldat erősségétől függően megfelelő mennyiségű (kg) száraz polimert vagy meszet le kell mérni, majd azt az előzőleg meghatározott vízmennyiséghez kell adni.
2. Ezt követi az összekeverés, ill. az oldás.
3. A vegyszertároló tartály és a vegyszer súlyát mérő tartály száraz legyen, hogy a vegyszertárolás alatt nedvességet ne abszorbeálhasson. Ha a száraz kondi-

cionálószer nedvességet abszorbeál és nedvessé válik, csomósodik és lepényszerű képződmények keletkeznek, így a vegyszer szállítása és kezelése nehézzé válik.

4. *Kisebb szennyvíztisztító telepeken* (<11–22 kg kondicionálószer/d) a kézi adagolás (batching) jelent megoldást. Ennek menete:

– a száraz kondicionálószer súlyát egy száraz tartályban meg kell mérni, ezt követően

– a keverőtartályt részlegesen vízzel kell feltölteni addig, amíg a keverőberendezés víz alá kerül (*78. ábra;* Calgon Corp. nyomán, 1980),



78. ábra. Száraz polimeroldatot előkészítő rendszer

– a keverőberendezést be kell kapcsolni,

– az előzetesen megmért (kg) száraz kondicionálószert a keverőtartályba kell adagolni. [A mész (CaO) közvetlenül a keverőtartályba önthető.] A száraz polimerek *előzetes* nedvesítés céljából nedvesítőberendezésen (educator) keresztül adagolandók a keverőtartályba,

– a keverőtartályt a kívánt szintig fel kell tölteni,

– a keverőtartály tartalmát *teljes mértékben össze kell keverni.* A keverés *lassú* legyen. A keverési idő száraz polimer esetében 45–60 min, mész esetében 30 min. Ha a keverés nem megfelelő, a kondicionálószer kevésbé lesz hatékony, hiszen a feloldás tökéletlen, így a kondicionálási igény nő.

A fel nem oldódott polimer számos problémát okoz: a szivattyúkat és a vezetékeket eltömi, a szűrőszalagokat és szűrőszöveteket beszennyezi, szagemissziót eredményez.

A keverés a polimer „korosodását" (age) is lehetővé teszi. Erre azért van szükség, hogy *az iszap pelyhesítéséhez és víztelenítéséhez megfelelő,* a *76. ábrán* lévő, jellemző polimeralakzat kifejlődhessen.

A keverési követelmények a víztelenítési eljárástól függően eltérők:

a) Általában külön keverő- és pelyhesítőtartály szükséges a vákuumdobszűrő és szűrőprés előtt.

b) Külön pelyhesítőtartályra lehet szükség a szalagszűrőprés előtt, vagy a kondicionálószer közvetlenül az iszapbetápláló vezetékbe adagolandó.

c) Centrifugák esetében a kondicionálószer az iszapbetápláló vezetékbe adagolható (in-line mixing).

d) *Általában az a helyes megoldás, ha a kondicionálószer adagolására legalább két helyen van lehetőség.*

– Végül a kézi adagolás utolsó lépése: a keverőberendezést le kell állítani.

5. *Nagyobb szennyvíztisztító telepeken* (>11–22 kg kondicionáló vegyszer/d) már automatikus vegyszeradagoló rendszer birtoklása célszerű. Ez a rendszer tározó tölcséres tartályból áll, ahonnan a száraz polimert csavaros transzportálóberendezés továbbítja a keverőtartályba, amelyhez folyadékszintjelző csatlakozik. Az automatikus táplálórendszerrel kapcsolatos legáltalánosabb üzemelési probléma a csavaros transzportálóberendezés eltömődése és a vegyszer fennakadása a csavar elfolyási végén. *Ha a nedvesség a tölcséres adagolótartályt és a csavaros transzportálórendszert nem éri, akkor az üzemelés rendszerint zavarmentes.*

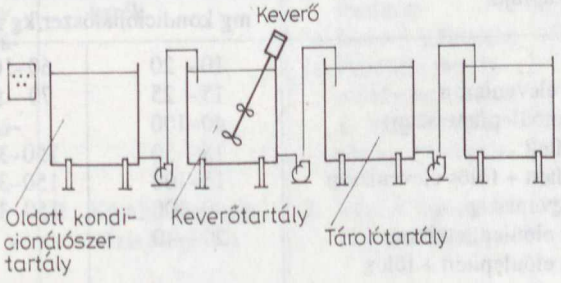
Az automatikus száraz polimerrendszer néha nedvesítőmechanizmussal ellátott, hogy a polimer előnedvesíthető legyen, mielőtt az a keverőtartályba hull. Ha az előnedvesítés nem megfelelő, akkor a keverés eredménye gyenge, és polimercsomók, „halszemek" keletkeznek.

(B) Folyékony kondicionálószerek

A folyékony kondicionálószerek (mész [$Ca(OH)_2$]), folyékony polimerek, folyékony ferriklorid kémiai oldása, a száraz polimerektől eltérően, egyszerűbb, mert

– ezek a folyadékok gyorsabban oldódnak és
– előnedvesítés nem szükséges.

Jellegzetes *folyékony polimer* előkészítő rendszert a *79. ábra* szemléltet (Calgon Corp. nyomán, 1980). Az üzemeltető jellemzően 0,1 százalékos polimeroldatot készít. A koncentrált polimer és a víz, annak érdekében, hogy homogén oldat keletkezzen, kb. 30 min-ig keverendő. Ha a polimeroldat létrejön, ez rendszerint *24 óráig stabil. Így csak ezen időtartamnak megfelelő mennyiségű oldat készítendő.*



79. ábra. Folyékony polimer előkészítő rendszer

4.3.1.6. KONDICIONÁLÓSZER ADAGOLÁSA

Miután a kondicionálószer-oldat elkészült, az vagy egy további tartályba, vagy közvetlenül az iszapágba szivattyúzható. A további tartályba szivattyúzás célja az lehet, hogy ez a tartály is *keverést biztosíthat,* ha időszakosan további vegyszert kell adagolni. A keverőtartályok (ha kettő van) lefedése szükséges

– a napsugárzás és
– a szélsőségesen nagy meleg ellen.

Polimeroldat esetében a lefedés feltétlenül szükséges, mert a nap ultraviola sugarai a polimermolekulákat tönkreteszik, így a kondicionálás hatékonysága gyorsan csökken. Hasonló a hatékonyság csökkenése, ha a hőmérséklet 49–54 °C tartományba esik, mert ekkor a polimermolekulák kondicionáló tulajdonságaikat elveszítik. Az ultraviola sugarak és a szélsőséges hőmérséklet káros hatásai ellen a vegyszeroldattartályokat

– le kell fedni,
– szigetelni kell vagy
– fehérre kell mázolni, hogy a hővisszaverődés biztosított lehessen.

A polimer az adagolószivattyú szívócsövébe nem adagolható, mert a képződő pelyhekre ható nyíróerők a szivattyúban gátolják a pehelyképződést. A célszerű adagolási helyeket üzemi vizsgálatokkal kell tisztázni.

Mész és ferriklorid számára általában keverőtartályt kell beiktatni, amiben a kondicionálószer víztelenítés előtt az iszappal keverhető.

4.3.1.7. JELLEMZŐ KONDICIONÁLÓSZER-ADAGOK

Az optimális kondicionálószer-adagok üzemi vizsgálatokkal határozhatók meg. Az adagokat elsősorban

– az iszap fajtája (*37. táblázat;* Los Angeles County, 1977) és
– a víztelenítési eljárás (*38. táblázat;* WPCF, 1983, 1988) befolyásolja.

37. táblázat. Jellemző kémiai kondicionálószeradag-tartományok és az iszapok fajtája közötti kapcsolat

Iszapfajta	Ferriklorid	Mész	Polimer
	mg kondicionálószer/kg iszap szárazanyag		
Előülepített	10– 20	60–100	2 –12
Előülepített + fölös eleveniszap	15– 25	70– 90	5 –10
Fölös eleveniszap (utóülepített iszap)	40–100	–	2 –15
Rothasztott előülepített	15– 50	150–300	2,5–20
Rothasztott előülepített + fölös eleveniszap	15–100	150–300	7,5–25
Rothasztott fölös eleveniszap	40–100	150–300	7,5–20
Rothasztott elutriált előülepített iszap	20– 40	–	5
Rothasztott elutriált előülepített + fölös eleveniszap	40– 62,5	–	7,5–15

38. táblázat. Jellemző polimeradag-tartományok különböző fajta iszapokra és víztelenítési eljárásokra*

Iszapfajta	Vákuumdobszűrő	Szalagszűrő	Dekantáló centrifuga
	kg adagolt polimer/10^3 kg iszap szárazanyag		
Előülepített	1– 5	1 – 4	0,5–2,5
Előülepített + fölös eleveniszap	5–10	2 – 8	2 –5
Előülepített + csepegtetőtestes humusziszap	1,2– 2,5	2 – 8	–
Fölös eleveniszap	7,5–15	4 –10	5 –8
Anaerob rothasztású előülepített	3,5– 7	2 – 5	3 –5
Anaerob rothasztású előülepített + fölös eleveniszap	1,5– 8,5	1,5– 8,5	2 –5

Megjegyzés:

* Az üzemeltető tartsa szem előtt, hogy a tényleges polimerdózisok, ill. -tartományok a táblázatban közöltektől állandóan vagy időszakosan jelentősen eltérhetnek. A polimerdózisokat egyébként is nagyon befolyásolja a molekulasúlyuk, ionerősségük és a polimerek aktivitási szintjei is. A dózis jelentős változása mész és ferriklorid kondicionálószer esetében is fennáll. Az üzemeltető tudatosítsa, hogy szerepe, felelőssége a dózismeghatározást illetően alapvető. *Ez a helyzet azonban a probléma sajátosságaiból ered.* Számos ilyen helyzet jelentkezik az üzemeltetés terén. Ilyenkor az üzemeltető nagyfokú önállósága, kutatói hajlamai is kell hogy érvényesüljenek.

4.3.1.8. A KÉMIAI KONDICIONÁLÁS ÜZEMELTETÉSI ZAVARAI, A ZAVAROK OKAI, AZ OKOK FELISMERÉSE ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSE

A kémiai kondicionálás lehetséges fő üzemeltetési zavarairól, azok kiküszöbölési módjairól a *39. táblázat* tájékoztat.

39. táblázat. A kémiai kondicionálás lehetséges üzemeltetési problémái (Kerri et al., 1989; Tortorici és Stahl, 1989; Öllős, 1994)

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
1. Elfolyó iszapvíz minősége és/vagy az iszapkoncentráció a sűrítő vagy víztelenítő berendezésekből romló	1a Gyenge oldatkeverék	1a Automata táplálórendszer 1b Keverő működése 1c Friss laboratóriumi kémiai oldattal az iszap lombik- (jar test) vizsgálata	1a Megfelelő oldási idő biztosítása 1b Lombikvizsgálatok (jar test) új vegyszeradagolás céljából
	2. Kémiai vegyszerdózis elégtelen	2. Kémiai táplálószivattyú működése	2. Szivattyú bekapcsolása, megfelelő tolózárak nyitása. Szivattyú kalibrá-

39. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
			lása. A vegyszermennyiség vagy az oldaterősség növelése
2. A por alakú polimer transzportálása a keverőtartályba zavarokkal jár	2a A polimer tárolása közben nedvességhez jutott	2a Polimer száraz vagy nedves volta	2a A tárolótartályban a polimer nedvességet ne abszorbeálhasson
3. Automatikus, száraz polimeradagolású rendszerben a keverés gyenge hatásfokú, polimercsomók, „halszemek" keletkeznek	3a A polimer nedvesítése, ahogy az a keverőbe hull, nem megfelelő	3a Polimercsomók, „halszemek"	3a A polimerpor megfelelő nedvesítése az adagolóból a keverőbe hullásakor
4. A polimeroldat hatékonysága gyorsan csökken	4a Nem megfelelő adagolás a keverőtartályban	4a Nedvesítés tökéletlen	4a Megfelelő nedvesítés
	4b A polimermolekulák hatékonyságukat elveszítik a nap UV-sugarai hatására	4b A keverő és a tartály fedett vagy fedetlen	4b A keverő-, tároló-, transzportálótartályokat le kell fedni, szigetelni vagy fehérre kell mázolni
	4c A hőmérséklet 49–54 °C tartományában a polimermolekulák széttöredeznek	4c Hőmérséklet	4c Hőmérséklet szabályozása. A tartályok lefedése, szigetelése vagy fehérre mázolása
5. A polimerpehelyképződés bizonytalan, gyenge	5a Pelyhek szétnyíródnak	5a Polimeradagolás helye	5a Polimert a tápláló iszapszivattyú szívócsövébe nem szabad adagolni, mert a képződő pelyhek a szivattyúban a nyíróerők hatására széttöredeznek
6. Kondicionálás (és a vízteleníté) hatékonysága csökken, dacára, hogy berendezései üzeme hibátlan	6a Kémiai vegyszerbekeverő és -adagoló berendezések üzeme, adagolás módja és helye(i) nem tökéletes(ek)	6a Kémiai vegyszerbekeverő és -adagoló berendezések üzeme, adagolás módja és helye(i)	6a Kémiai vegyszerbekeverő és -adagoló berendezések üzemének, adagolásának és helye(i)nek optimalizálása

39. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
7. Adagolószivattyú, csővezeték eltömődik, a szűrőprésszövet és szalagszűrőprés szitaszövet elszennyeződik, szaganyag jelentkezik	7a Polimer tökéletlenül oldódott	7a Polimeroldódás	7a Biztosítani kell a polimer tökéletes oldódását
8. A polimer hatékonysága (állandóan vagy időszakosan) a vártnál gyengébb	8a A keverés időtartama a szükségesnél rövidebb, a polimeroldat „kora" elégtelen; a *76. ábrá*nak megfelelő polimermolekula optimális alakzata nem képes kifejlődni (Kollár, 1994)	8a Polimeroldat „kora"; a *76. ábrá*nak megfelelő polimermolekula-alakzat jelenléte vagy hiánya	8a Megfelelő keverési időtartam beszabályozása

4.3.1.9. KÉRDÉSEK

1. Mi az iszapkondicionálás célja? (4.3. fejezet.)
2. Melyek az iszapkondicionáló eljárások? (4.3. fejezet.)
3. A kémiai kondicionálást befolyásoló tényezők. (4.3.1.1. fejezet.)
4. Melyek a szervetlen kondicionáló vegyszerek? (4.3.1.2. fejezet.)
5. Melyek a szerves kondicionáló vegyszerek? (4.3.1.3. fejezet.)
6. Melyek a polimerek típusai? (4.3.1.3. fejezet; *76.* és *77/a–c ábra.*)
7. Miként határozható meg a kondicionálószer-dózis? (4.3.1.4. fejezet.)
8. Száraz kondicionálószerek alkalmazása. (4.3.1.5. (A) fejezet; *78. ábra.*)
9. Folyékony kondicionálószerek alkalmazása. (4.3.1.5. (B) fejezet.)
10. Miként adagolható a kondicionálószer? (4.3.1.7. fejezet.)
11. Kémiai kondicionálás jellemző üzemeltetési zavarai. (4.3.1.8. fejezet; *39. táblázat.*)

4.3.2. TERMIKUS KONDICIONÁLÁS

4.3.2.1. ELJÁRÁSOK

Az iszap termikus kondicionálása, gazdasági okok miatt, nem a széles körben elterjedt eljárások közé tartozik. Szellemi exportra, ipari alkalmazására gondolva, részletes elemzése, bemutatása mégis indokolt.

A termikus kondicionálás a szennyvíziszap víztelenítési tulajdonságait

– a hő és
– a nyomás

egyidejű alkalmazása révén teszi kedvezőbbé. A termikus kondicionáló rendszer szakaszos vagy folyamatos működésű. Az iszaprendszer a reaktorban 177–204 °C-ra hevített. A nyomás a reaktorban 1720–2750 kPa. Az iszap tartózkodási ideje a reaktorban 15–40 min.

A termikus kondicionálásra kétféle eljárás ismert:

1. *Hőkezeléses* (heat treatment, HT) eljárás esetében a reaktorba *nincs levegőadagolás*. A reaktorbeli hőmérséklet az alacsony nyomású rendszer reaktorában lévőnél alacsonyabb.

2. Az *alacsony nyomású oxidáció* (low pressure oxidation, LPO, nedves oxidáció, wet oxidation) esetében a kondicionálószerbe *korlátozott mennyiségű levegőt adagolnak*. A nedves oxidáció azon az alapelven üzemel, hogy minden anyag, amely elégethető, akkor az *víz jelenlétében, magas hőmérsékleten* (149–160 °C) *is eloxidálható*.

A nedves oxidáció mértéke az iszap KOI-tartalmának csökkentési igényétől függően háromfokozatú lehet:

Oxidáció foka	*Iszap KOI-csökkentés, %*
Alacsony	5
Közepes	40
Magas	92–98

A hőmérsékletet és a nyomást is ennek megfelelően kell megválasztani.

A nedves oxidációnak három módozata ismert: alacsony, közepes és magas nyomású. Mindegyik eljárás

– biológiailag stabil iszapot eredményez, amely
– kitűnően víztelenít hető.

Amint a *82.* és *83. ábra* bizonyítja, a két eljárás berendezései szinte teljesen azonosak.

A termikus kondicionálás hátrányos tulajdonsága, hogy a kezelés az oxidálható szuszpendált szilárd anyagokat *oldott*, diszperz *anyagokká alakítja*, amelyek *a víztelenítéskor nagy szennyezettségű, a tisztítótelep elejére recirkuláltatandó iszapvizet eredményez*. Ha az iszap tartózkodási ideje a termikus reaktorban hosszabb, az iszapvíz KOI-koncentrációja nő.

Az üzemeltető gondoljon arra is, hogy

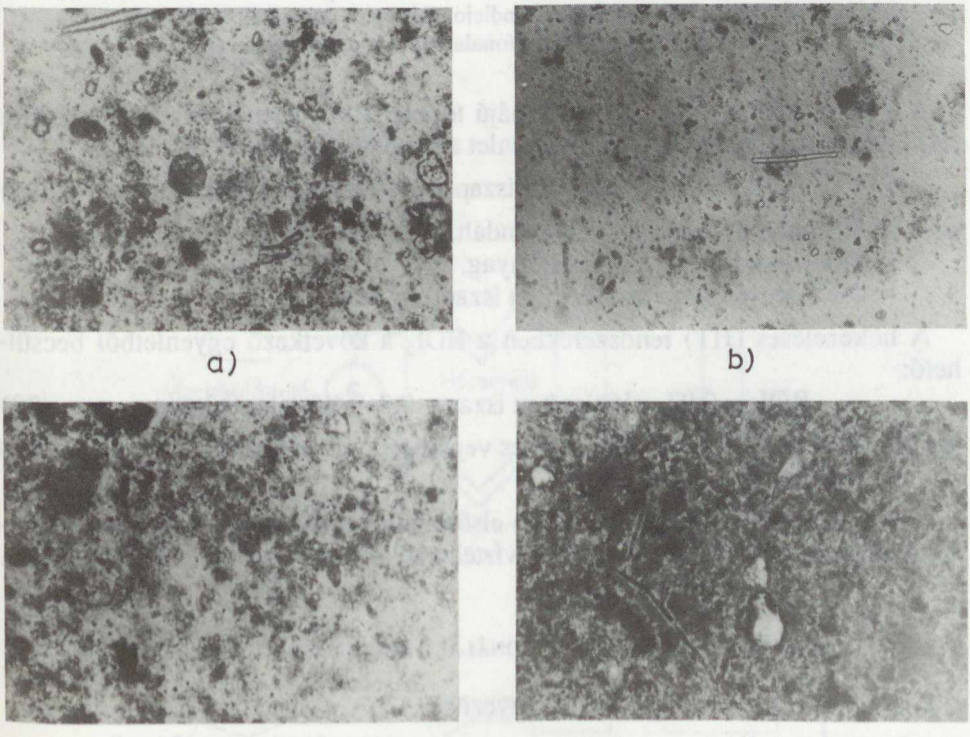
– *a termikus (hő) kondicionálású iszap víztelenítése sokkal könnyebb* (szárazanyag-tartalom 30–40%), *mint a kémiailag kondicionáltaké* (szárazanyag-tartalom 15–20%),
– a víztelenítő rendszer a termikus kezelésű iszappal nagyobb mértékben terhelhető,
– a termikus kondicionálás viszonylag hatékony fertőtlenítést biztosít.

A szennyvíziszapok – a biológiai iszapok különösen – nagyon eltérő tulajdonságúak és morfológiájúak lehetnek (*80/a–d ábra;* Siekmann nyomán, 1986), sok kötött vizet, valamint sejtmagot, inert szilárd anyagokat tartalmaznak, így szerkezetük gélszerű. A *kötött* víz egy része az iszapszemcsék felületét veszi körül, másik része, egyéb oldott anyagokkal együtt hidratált, vagy kolloidoldat formában a szilárd sejtanyagban van jelen. A sejtfal külső felületét, a kötött vízzel együtt, zselatinszerű, szerves proteineket, nitrogént tartalmazó vegyületek veszik körül. További alkotó vegyületek a poliszacharidok (szénhidrátok, mint a keményítő, cellulóz).

A termikus kondicionálás az iszap vízleadó képességét a magas hőmérsékletű és nyomású, zárt reaktormiliőben lényegesen javítja azáltal, hogy

– a szilárd iszapszemcsék proteinanyagai hidrolizálnak,

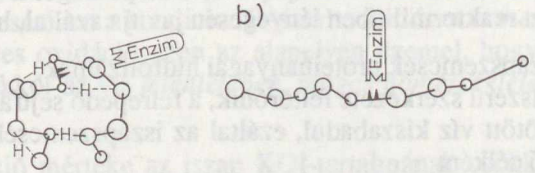
– az iszap gélszerű szerkezete feltöródik, a felrepedő sejtfalon át az iszapszemcséken belüli kötött víz kiszabadul, ezáltal az iszapszemcsék pelyhesednek. Ezt követően, végső célként



80/a–d ábra. Különböző morfológiájú iszapok.
a: nyers iszap; *b:* levegőztető medence iszap; *c:* utórothasztott iszap;
d: egylépcsős rothasztóiszap

– a kötött víz szeparálhatóvá válik. Az ily módon kondicionált iszap a legtöbb víztelenítő berendezésben könnyen víztelenítheto, rendszerint vegyszeradagolás nélkül. A hatékonyságra a víztelenített iszap 30–50%-os szárazanyag-tartalma jellemző.

Az iszap illékony szuszpendált szilárd anyagai (VSS) egy része, az iszapszerkezet, ill. a molekulaszerkezet drasztikus megváltozásával (*81/a–b ábra;* Siekmann, 1986) egyidejűleg oldódnak. Az illékony szuszpendált szilárd anyagok oldódása lebonthatóságukat serkenti. Az *oldódás* azonban az iszap összes szervesszén-tartalmát nem változtatja meg, *eredményeként nyomban a BOI_5-koncentráció nő,* ami a recirkulációt természetesen befolyásolja.



81/a–b ábra. A termikus kondicionálás hatása a molekulaszerkezetre.
a: fehérjelánc a termikus kondicionálás előtt. A támadáspont nehezen hozzáférhető;
b: fehérjelánc a termikus kondicionálás után: „megnyúlt fonál".
A hely, ahol az enzim a fonalat szétvágja, szabaddá vált

A VSS oldódása és az oldott formájú többlet BOI_5-termelődés a *hőkezeléses (HT) rendszerekben* a következő egyenlet alapján becsülhető (EPA, 1987):

$$VSS = 0{,}1 \cdot \text{előülepített iszap} + 0{,}4 \cdot \text{fölös eleveniszap}, \qquad (29)$$

ahol – VSS oldott, illékony, szuszpendált, szilárd anyagok, kg szárazanyag,
– előülepített iszap, kg szárazanyag,
– fölös eleveniszap (utóülepített iszap), kg szárazanyag.

A hőkezeléses (HT) rendszerekben a BOI_5 a következő egyenletből becsülhető:

$$BOI_5 = 0{,}07 \cdot \text{előülepített iszap} + 0{,}3 \cdot \text{fölös eleveniszap}, \qquad (30)$$

ahol – BOI_5 az illékony oldott szerves vegyületek oldódásából származó 5 napos biokémiai oxigénigény, kg.

A termikus úton kondicionált iszap elsősorban szűrőpréssel, vákuumdobszűrővel, szalagszűrőpréssel, centrifugával, víztelenítő ágyon víztelenítheto (EPA, 1987).

4.3.2.3. A TERMIKUS KONDICIONÁLÁST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A kondicionálást befolyásoló fő tényezők:

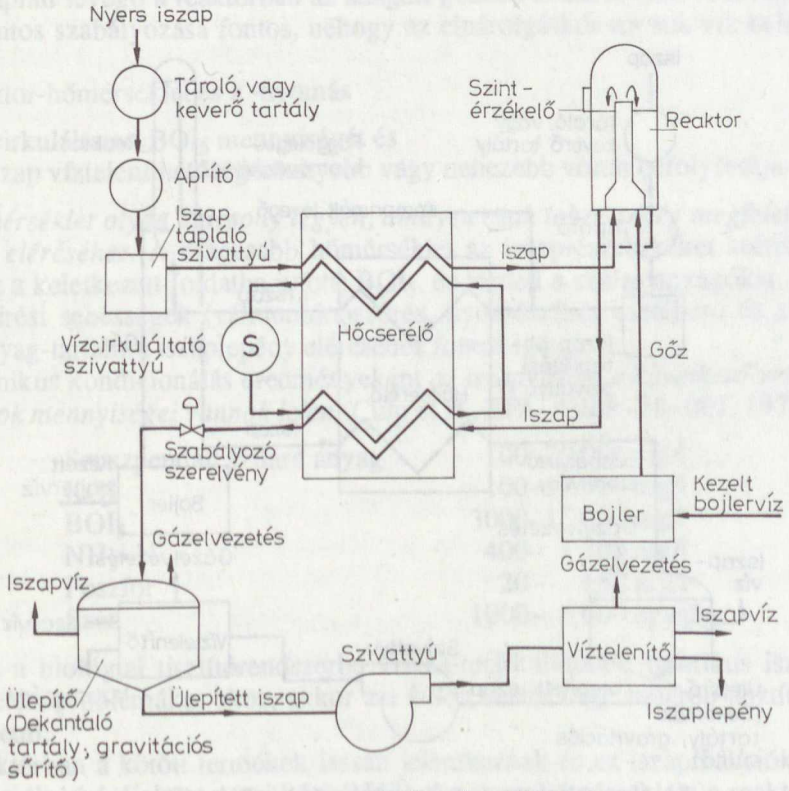
– a betáplált iszap koncentrációja és tulajdonságainak állandósága,
– az iszap tartózkodási ideje a reaktorban,
– hőmérséklet a reaktorban,
– nyomás a reaktorban.

A *kondicionálás szempontjából* az alacsony nyomású oxidálórendszerbe (LPO) bevezetett, viszonylag kis mennyiségű levegő (vagy hő) az iszap víztelenithetőségét kismértékben javítja. A levegőadagolásból származó előny rendszerint a fűtőanyagigények csökkenésében jelentkezik.

A termikus kondicionáló rendszer fizikai méretei a hidraulikai és szilárdanyagterhelésen alapulnak. Ha a betáplált iszap koncentrációja jelentősen csökken, a reaktorba szivattyúzandó iszapvíz térfogata nő. Emiatt a reaktorbeli iszap tartózkodási ideje csökken, és a nagyobb iszapvíztérfogat miatt a fűtési igény nő.

4.3.2.4. HŐKEZELÉSES KONDICIONÁLÁS

A hőkezeléses (HT) kondicionáló rendszer működési elve a *82. ábra* alapján követhető (EPA, 1987 nyomán). A *rendszerint folyamatos üzemű* (az energiatakarékosság miatt) rendszerbe táplált iszap szemcseméretét csökkenteni kell (<0,64 cm tartományba), majd a hőcserélőn keresztül reaktorba kell szivattyúzni. Normális nyomás az iszaptápláló szivattyútól kiindulva 1720 kPa. A hőmérséklet a hőcserélőben 149–170 °C. A felmelegített iszap a hőcserélőt elhagyva a reaktor



82. ábra. Hőkezeléses (HT) kondicionáló rendszer

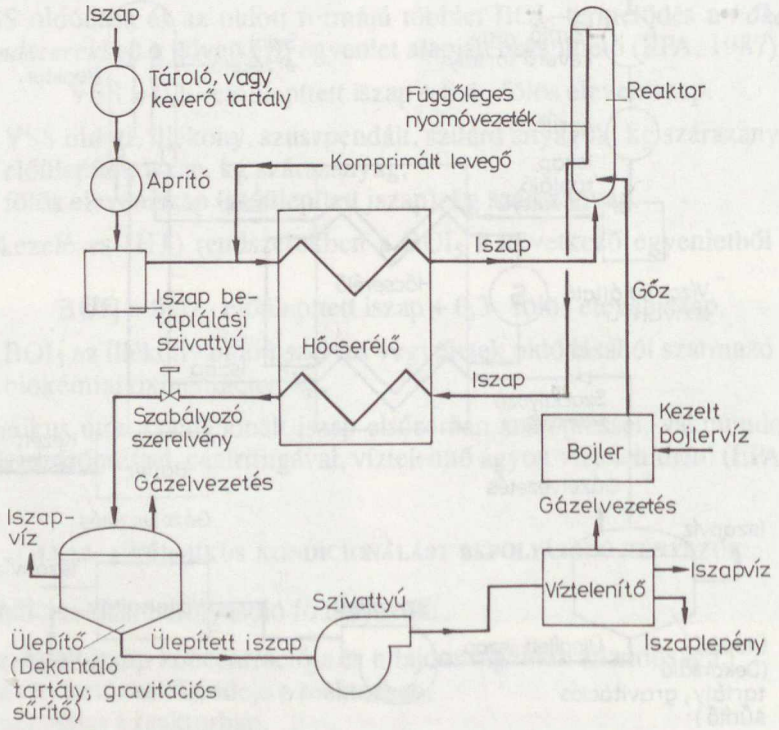
belsejében lévő túlfolyóval ellátott vezetékbe kerül. Ugyanebbe a vezetékbe gőzt is injektálnak, ami a felszállócsőben a turbulencia hatására az iszappal összekeveredik. A keverék a reaktor felső részébe áramlik be. *A forró iszap kondicionálás céljából bizonyos ideig a reaktorban tartózkodik,* majd visszajut a hőcserélőbe, ahol az a rendszerbe érkező iszap alacsony hőmérsékletének hatására kb. 40 °C-ra hűl le. A hőcserélő kifolyási helyéről *a már kondicionált iszap* szabályozószerelvényen át (amely a reaktorbeli iszapszintet és a nyomást szabályozza) a dekantáló (ülepítő, egyben sűrítő szerepet is játszó) tartályba jut. A dekantáló medence

– gyors ülepítést,
– az iszaprészecskék sűrítését és
– a gázok elvezetését

biztosítja. Ezt követően az ülepített iszap szivattyú közvetítésével *az iszapvíztelenítő rendszerbe kerül.* A folyamatokból származó gázemisszió különböző gáztisztító módszerekkel kezelhető (pl. Öllős, 1991, 14.1.3.11. fejezetrész).

4.3.2.5. ALACSONY NYOMÁSÚ OXIDÁCIÓS KONDICIONÁLÁS

Az alacsony nyomású oxidációs rendszer (LPO) működési elve a *83. ábrá*ról követhető (EPA, 1987 nyomán).



83. ábra. Alacsony nyomású oxidációs kondicionáló rendszer

Az iszap először őrlőberendezésen halad át, ahol az iszapszemcsék mérete a 0,64 cm tartományba csökken. Az iszapőrlés (grinding) egyes esetekben fontos. Például a 8% szárazanyag-tartalmú, tehát sűrű iszap viszkozitása csökken, így az iszap szivattyúzása könnyebb. (Például a Glen Cove, New York telepen.)

Az iszapot innen 2750 kPa nyomással, hőcserélőn át az alacsony nyomású oxidáló (LPO) reaktorba szivattyú továbbítja. Az iszapvezetékbe a hőcserélő előtti kompresszorból nagy nyomású levegőt (oxigént) juttatnak. *A levegőadagolás célja:*

– a hőátadást javítja és
– az iszapban lévő késztermékeket szulfáttá alakítja, így bizonyos mértékig csökkenti a szagemissziót,
– a levegő-bejuttatás a hagyományos iszapégetéshez hasonlóan, a szinte teljes oxidálás eléréséhez is szükséges.

A hőcserélőben az iszap és a gáz turbulens állapotú átáramlása közben az alacsony nyomású oxidáló reaktorból (LPO) visszavezetett iszap előhevítődik. Az iszap- és levegőkeverék reaktorba jutásakor 149–160 °C-os. A gőzt közvetlenül a reaktorba injektálják és ily módon az iszap–levegő-keverék hőmérséklete 166–177 °C közöttire szabályozható. A gőzt akkor injektálják a reaktorba, ha a rendszer termikus szempontból nem önellátó. A kezeletlen iszap termikus szempontból rendszerint önellátó.

A betáplált levegő a reaktorban az adagolt gőzben szaturálódik. A levegőadagolás pontos szabályozása fontos, nehogy az elpárolgáskor túl sok víz keletkezzék.

A reaktor-hőmérséklet és a -nyomás

– a recirkuláltatott BOI_5 mennyiségét és
– az iszap vízteleníthetőség könnyebb vagy nehezebb voltát befolyásolja.

A hőmérséklet olyan alacsony legyen, amilyen csak lehet a még megfelelő víztelenítés eléréséhez. A magasabb hőmérséklet az iszaprészecskéket széttördeli, több lesz a keletkezett (oldatba jutott) BOI_5, és törteli a szálas anyagokat, ami a nagy szűrési sebességek (vákuumdobszűrés, nyomószűrés esetében) és a nagy szárazanyag-tartalmú iszaplepény eléréséhez fontos igény.

A termikus kondicionálás eredményeként *az iszapvízben a következő vegyületek és azok mennyiségei vannak jelen* (Culp et al., EPA–430/9–78–001, 1978):

Szuszpendált szilárd anyag	100–20 000 mg/l
KOI	100–17 000 mg/l
BOI_5	3000–15 000 mg/l
NH_3–N	400– 1 700 mg/l
Foszfor	20– 150 mg/l
Szén	1000– 6 000 egység

Ha ez a biológiai tisztítórendszerbe vissza-recirkuláltatott termikus iszapvíz üzemeltetési problémákat okoz, akkor azt *külön* aerob vagy anaerob tisztításnak kell alávetni.

A reaktorban a kötött termékek lassan jelentkeznek és az iszapreakciók vagy az oxidációk kísérőjeként némi hő fejlődik. Az iszap hőmérséklete a reaktor kö-

zépső szintjétől az elfolyási (felső) szintjéig kb. 10 °C-kal nő, míg a reaktor befolyási és elfolyási szintje között 40 °C-kal emelkedik.

Miután az iszap a reaktort elhagyja, a részben oxidált termékek a hőcserélőbe visszajutva, a hőt a hőcserélőbe táplált iszap–levegő-keveréknek átadják. Amikor a részben oxidált termékek a szabályozószerelvényt elérik, a hőmérséklet már csak 43–54 °C. A szerelvény szabályozza a reaktorbeli nyomást. Az iszapvíz és a stabilizált szilárd anyagok a lehűlésük után

- lagúnában,
- ülepítőtartályban (amit a *83. ábra* szemléltet), vagy
- víztelenítő ágyon

szeparálhatók.

A termikusan már kondicionált iszap és a kimerült gázok az *ülepítőből* elvezethetők, szageliminálás céljából. Az iszap az ülepítőből a víztelenítő rendszerbe jut. A gázelvezetés lehetősége a dekantáló tartályból ugyan biztosított, megjegyzendő azonban, hogy a gázképződés a dekantáló tartályban általában nem jelent gondot, hiszen *a tartályban biológiai aktivitás gyakorlatilag már nincs.* A reaktorban fenntartott magas hőmérséklet a benne lévő iszapot sterilizálja, ezért a gázképződés sem a reaktorban, sem a dekantáló tartályban nem lesz számottevő.

Az iszapvíz az előülepítőbe jut vissza, és az iszap például feltöltésbe kerülhet. Az eljárás hátránya az, hogy *a recirkulációs iszapvíz nagyon szennyezett, így a tisztítórendszer számára jelentős szervesanyag-terhelést jelent.* Az iszapvíz BOI_5-koncentrációja a kezeletlen iszap BOI_5-koncentrációjának 40–50%-a lehet. A KOI jellemző tartománya pedig 10 000–15 000 mg/l (WPCF, 1988). A recirkuláltatott iszapvíz 12–18% többlet szervesanyag-szennyezést okoz a biológiai folyamatban, amit a méretezéskor figyelembe kell venni.

4.3.2.6. ÜZEMELTETÉSI VEZÉRFONAL

Az üzemeltető *napi* ellenőrzések, mérések alapján a következő tényezőkkel kell hogy szabályozza a kondicionáló rendszer üzemét (Tortorici és Stahl, 1989):

- a betáplált iszap hozama,
- reaktor-hőmérséklet,
- az iszap reaktorbeli tartózkodási ideje,
- iszapelvétel a dekantáló (ülepítő-) medencéből.

Az üzemeltetőnek tisztában kell lenni azzal, hogy

- a rendszerbe táplált iszaphozam és
- a reaktorbeli tartózkodási idő

elsősorban a sűrített betáplált iszap koncentrációjától és a szilárd anyag súlyától függ. Ha az üzemeltető *folyamatosan sűrű iszapot táplál a rendszerbe azáltal, hogy a sűrítőt gondosan ellenőrzi és üzemelteti,*

- az iszap betáplált térfogata minimalizálható, ugyanakkor
- a reaktorbeli tartózkodási idő maximalizálható és így
- a reaktorban optimális termikus miliő hozható létre és tartható fenn.

A reaktorban a normál tartózkodási idő és a hőmérséklet (177–204 °C) szabályozása attól függ, hogy az iszapot a kondicionálást követően miként víztelenítik. Ha az üzemeltető úgy találja, hogy *a 177 °C-os reaktor-hőmérséklet elegendő mértékű kondicionálást eredményez a víztelenítési követelmények kielégítéséhez, ne növelje a kondicionáló hőmérsékletet.*

Az üzemeltető a dekantáló tartályból (amely ülepítő és gravitációs sűrítő szerepkörű) elvett iszap koncentrációját az iszapelvétel mértékének szabályozásával változtathatja.

4.3.2.7. NORMÁL ÜZEMELTETÉSI LÉPÉSEK

A termikus iszapkondicionálás

– folyamatos vagy
– szakaszos (batch)

üzemeltetésű lehet.

A hőmérleg szempontjából a folyamatos üzemeltetést részesítik előnyben, mert így nem vész el enegia, amit – amikor szakaszos üzem esetében a reaktor és a hőcserélő iszaptartalma lehűl – majd újra fel kell hevíteni a kívánt hőmérsékletre. A szakaszost akkor használják, ha nagy nyomásra is szükség van.

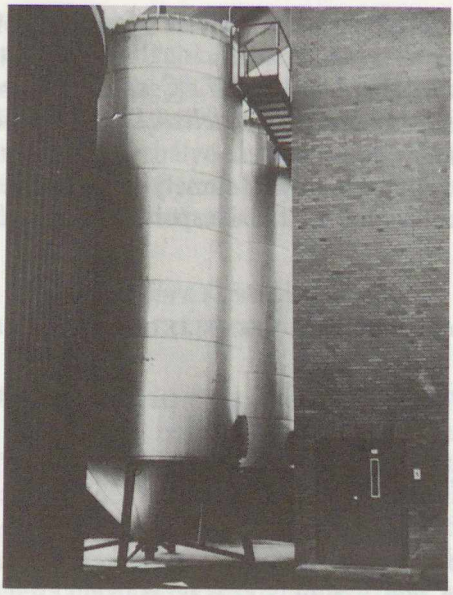
A *szakaszos üzemeltetés* menete (Tortorici és Stahl, 1989):

1. A reaktort és a hőcserélőt fel kell tölteni vízzel, ha a rendszert az előző leállás miatt víztelenítették.
2. Be kell kapcsolni a bojlerbe a vizet tápláló szivattyút és a gőzbojlerbe vezető tolózárat ki kell nyitni.
3. Ki kell nyitni a termikus reaktorba gőzt vezető tolózárakat és a bojlert be kell indítani.
4. Miután a reaktor elérte a kívánt üzemi hőmérsékletet, ki kell nyitni az iszaptápláló és -elvételi tolózárakat.
5. Az iszapőrlőt be kell kapcsolni, és a dekantáló tartályban (gravitációs sűrítőben) a keverést meg kell kezdeni.
6. A dekantáló tartály szagszabályozó berendezését be kell kapcsolni.
7. Az iszaptápláló szivattyút be kell kapcsolni. Az alacsony nyomású oxidációs (LPO, nedves oxidáció) rendszerben a légkompresszort be kell kapcsolni.

Az előbbi teendők sorrendje a rendszer leállításakor fordított.

A termikus kondicionáló rendszer *(83/a ábra) állandó felügyeletet igényel.* Az üzemeltető feladatai *óránként:*

1. Minden műszert le kell olvasni és az adatokat ábrázolni kell. Az adatokat az előző adatokkal össze kell hasonlítani, és *minden szokatlan változást ellenőrizni kell. A hőmérséklet és a nyomás hirtelen változása az üzemzavar első jele.*
2. A kívánt adagolandó iszaphozamot a szivattyúrendszerrel be kell szabályozni.



83/a ábra. Termikus iszapkondicionáló telep (Németország; fotó: Öllős)

3. Az oxidációhoz a megfelelő hőmérséklet beállításáról és fenntartásáról gondoskodni kell.

4. Minden üzemelő egységet, berendezést, műszert ellenőrizni kell.

5. *Ha az üzemeltető minden vélhető ok nélkül az üzemzavar folytatódását észleli vagy az rosszabbá válik, a kondicionáló rendszert le kell állítani.*

4.3.2.8. A TERMIKUS KONDICIONÁLÁS ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

Előnyök:

– A kondicionált iszap víztelenítésekor általában vegyszeradagolás nem szükséges.

– A kondicionáló rendszer az iszapot stabilizálja, és valamennyi élő szervezetet, a patogéneket is beleértve, elpusztítja.

– A folyamat 26 000–30 000 kJ/kg fűtőértékű illékony szilárd anyagot biztosít, ami iszapégetéskor vagy anaerob rothasztáskor az energia visszanyerését lehetővé teszi.

– *A folyamat alkalmas sokféle olyan iszap stabilizálására, amelyek a toxikus anyagok jelenléte miatt biológiailag nem stabilizálhatók.*

– Az eljárás viszonylag tolerálja az iszapok sokféle tulajdonságát.

Hátrányok:

– A beruházási költségigény nagy. Korrózió-ellenálló anyagok (rozsdamentes acél) szükségesek a hőcserélő berendezésekhez.

– Az eljárás *gondos felügyeletet, hozzáértő üzemeltetőket* és megfelelő preventív fenntartási programot igényel.
– A folyamatból kikerülő gázemisszió a szagártalom miatt tisztításra szorul.
– A folyamat sötét színű, nagy szervesanyag- és ammónia-nitrogén-koncentrációjú iszapvizet (side-stream) is eredményez.
– Kéregbevonat képződik a hőcserélőben, a csőrendszerben és a reaktorban, amit időszakonként el kell távolítani.
– A kondicionálást követő centrifugális víztelenítéshez a recirkuláltatott iszapvízbeli finom lebegőanyagok szabályozásához folyamatos vagy időszakos polimeradagolás válhat szükségessé.

4.3.2.9. A TERMIKUS KONDICIONÁLÁS ÜZEMELTETÉSI HIBÁI, KIKÜSZÖBÖLÉSÜK LEHETŐSÉGEI

A termikus kondicionálás üzemelési hibáit, kiküszöböléseik lehetőségeit a *40. táblázat* érzékelteti (Culp et al., 1978; Tortorici és Stahl, 1989; EPA, 1987; Öllős, 1994).

40. táblázat. A termikus kondicionálás üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük lehetőségei

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés módja	Lehetséges megoldás
1. Reaktor-hőmérséklet nem tartható fenn	1a Fűtőanyag kimerült	1a Fűtőanyag-ellátás és fűtőanyag-vezetékek	1a Feltöltés
	1b Hőmérséklet-érzékelő nem működik	1b Műszerek	1b Tisztítás, javítás vagy csere
	1c Vízellátás elégtelen	1c Vízellátás	1c Feltöltés
2. Reaktornyomás nem tartható fenn	2a Táplálószivattyú hatástalan	2a Őrlő, szivattyúszívás, elfolyás, szivattyú iszaptáplálás	2a Őrlőeldugulás megszüntetése. Szivattyúszívás megteremtése. Szívó- és nyomóvezetékek tolózárainak nyitása. Sűrített iszap produkálása
3. Δp nyomásesés a hőcserélőben bizonyos határt átlép	3a Kérgesedés a hőcserélőben	3a Nyomás a hőcserélő előtt és után	3a Savas átmosás az üzemeltetés szüneteltetése közben
4. Kondicionált iszap vízteleníthetősége romlik	4a Alacsony hőmérséklet a reaktorban	4a Reaktor-hőmérséklet	4a Hőmérséklet emelése, legalább 175 °C-ra

40. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés módja	Lehetséges megoldás
	4b Rövid tartózkodási idő	4b Iszapáramlás	4b Betáplált iszap sűrítése
	4c Ülepítő (dekantáló tartály) gyenge hatékonysága	4c Iszapfelhő sűrűsége és iszapkoncentráció	4c Elfolyó iszap mennyiségének szabályozása
	4d Kondicionált iszapot víztelenítő berendezés gyenge hatékonysága	4d Víztelenítő berendezés hatékonysága	4d Víztelenítés hatékonyságának optimalizálása, ha szükséges. Dekantáló tartály üzemének optimalizálása
	4e Termikus kondicionálás előtt anaerob rothasztás	4e Anaerob rothasztás	4e Anaerob rothasztás megszüntetése termikus kondicionálás előtt
5. A tartózkodási idő a reaktorban csökken. Fűtési igény nő. Reaktorba szivattyúzott víz térfogata nő	5a Betáplált iszap koncentrációja jelentősen csökken	5a Tartózkodási idő a reaktorban 5b Reaktorba szivattyúzott víz térfogatának alakulása	5a Betáplált iszap koncentrációjának növelése
6. Hígiszap betáplálás miatti hozamnövekedés. Víztelenítés valószínű gyengülése	6a Betáplált iszap koncentrációja	6a Betáplált iszap koncentrációja	6a Betáplált iszap koncentrációjának növelése
	6b Sűrítés kevésbé hatékony volta	6b Sűrítés a dekantáló medencében	6b Sűrítés beszabályozása az iszapelvétel révén
7. Szagproblémák	7a Szagemisszió (dekantáló tartályból), sűrítőből, vákuumszivattyú-légtelenítőből, víztelenítő rendszerből	7a A szóba jöhető szagemisszióhelyek ellenőrzése	7a Berendezések lefedése, a szaganyagokat tartalmazó gázok összegyűjtése, tisztítása égetéssel, adszorpcióval vagy gázmosással 7b A nyitott medencefelszín lefedése a szagemisszió gátlása céljából

40. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés módja	Lehetséges megoldás
8. A betáplált iszapot őrlő berendezés nagyon gyakori fenntartást igényel	8a Túlzottan sok a homok (grit) az iszapban	8a Őrlőberendezés üzeme	8a A nyers iszap és nyers szennyvíz homokeltávolító rendszere üzemének optimalizálása
		8b Nyers iszap homoktartalma	8b Homok szeparálása nyers iszapból
9. Kérgesedés a hőcserélőben	9a Kálcium-szulfátlerakódás	9a Hőátadás hatékonysága. Reaktor-hőmérséklet fenntartása nehézkes	9a Kimosatás savval 9b A reaktort 197 °C alatt kell üzemeltetni 9c Belső csövek hidraulikai tisztítása
10. Táplálószivattyúk túlmelegednek	10a Elégtelen olajozás 10b Hűtővízellátás elégtelen	10a Olajszintek 10b Hűtővíz	10a Szivattyúk olajozása 10b Hűtővízellátás megfelelő biztosítása
11. Gőzhasználat túl sok	11a Iszapkoncentráció a fűtéshez alacsony	11a Iszapkoncentráció	11a Sűrítettebb iszap biztosítandó. 6% szárazanyag legyen (ha lehetséges). 3% szárazanyag a minimális
12. Nagy nyomás a reaktorban	12a Elzáródás a reaktorban	12a 1. Ha a biztonsági szelep meghibásodott, a reaktort le kell állítani 2. Ha a biztonsági szelep nem hibásodott meg, az elzáródás időszakos volt	12a 1. Elzáródás megszüntetése 2. Nyomás és hőmérséklet ellenőrzése, minden feljegyzendő, ami a normálistól eltérő
13. Táplálószivattyú szállítása elégtelen	13a Alkalmatlan szabályozórendszer	13a Szabályozórendszer	13a Szabályozórendszer beállítása

40. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés módja	Lehetséges megoldás
	13b Tömítetlenség vagy elzáródás	13b Ellenőrzés	13b Javítások
	13c Bezárt levegő a szivattyúdobban	13c Levegőjelenlét	13c Légtelenítés
14. Oxidációs hőmérséklet a reaktorban nő	14a Betáplált hő túl magas	14a Reaktor-hőmérséklet	14a 1. A hőmérséklet 153 °C-nál ne legyen nagyobb 2. Hőmérséklet csökkentése a betáplált iszapvízzel való hígítással
	14b Iszapbetáplálás sebessége túl lassú	14b Iszapbetápláló szivattyúk és a táplálás mértéke	14b Iszapbetáplálás sebessége növelendő
	14c Alkalmatlan szabályozórendszer	14c Hőmérséklet szabályozása	14c Szabályozórendszer javítása
	14d Szivattyú leállt vagy lelassult	14d Szivattyú üzeme	14d Szivattyú indítása és/vagy a betáplálás mértékének növelése
	14e Illékony anyag, mint gáz vagy olaj, halad át a kondicionáló rendszeren	14e Anyagvizsgálatok	14e Iszapról vízbetáplálásra kell áttérni és a levegőkompresszort le kell állítani
	14f Pneumatikus gőzszelep működése nem megfelelő	14f Szelep üzeme	14f Hibás szelep javítása
15. Oxidációs hőmérséklet a reaktorban csökken	15a Hőcserélő szennyeződött	15a Hőcserélő hatékonysága	15a Savas kimosatás
	15b Hőmérséklet a reaktorban alacsony, az iszap túl kis sűrűsége miatt	15b Hőmérséklet a reaktorban	15b Betáplált iszap sűrűségének növelése. Hőmérséklet legalább 136 °C legyen
	15c Sok a rendszeren átszivattyúzott iszaphozam	15c Rendszer iszaphozama	15c Iszaphozam csökkentése nagy nyomású szivattyúval
	15d Alkalmatlan hőmérséklet-szabályozó rendszer	15d Hőmérséklet-szabályozó rendszer	15d Megfelelő beállítás

40. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés módja	Lehetséges megoldás
	15e Pneumatikus gőzszelep hibás működésű	15e Gőzszelep	15e Hibás szelep javítása
	15f Nincs levegőjelző berendezés a hőmérséklet-szabályozó szelephez	15f Jelzőberendezés	15f Levegőellátó berendezés javítása
	15g Bojler üzeme hibás	15g Bojler üzeme	15g Konzultáció a bojlergyártó céggel a javítás céljából
16. Skálaleolvasási nehézség a levegőkompresszor hengerfalain	16a Szén vagy egyéb anyag a kompresszorhengeren	16a Szemrevételezés	16a Kompresszorfenntartás, hogy szennyező anyagok ne jussanak bele
17. Szűrőlepényt nehéz az iszapégetőbe táplálni	17a Iszaplepény túl száraz	17a Iszaplepény nedvességtartalma	17a Hőmérséklet és nyomás csökkentése a kezelőrendszerben
18. Alacsony rendszernyomás	18a Nagy nyomású szivattyú és/vagy levegőkompresszor és/vagy a bojler leállt	18a Szivattyú, kompresszor, bojler	18a Javítások, esetleg csere
	18b Levegőt beeresztő szűrő eltömődött	18b Levegőt beeresztő szűrő eltömődése	18b Szűrő tisztítása vagy cseréje
	18c Nyomásszabályozó berendezés túl alacsonyan van	18c Nyomásszabályozó berendezés	18c Nyomásszabályozó elhelyezési szintjének növelése
	18d Hajtó gépszíj csúszik	18d Hajtó gépszíj csúszása	18d Gépszíjfeszesség beállítása
19. Magas hőmérséklet	19a Elégtelen vízáramlás	19a Vízáramlás	19a Vízáramlás beszabályozása
	19b Hengerszelep tömítetlensége	19b Hengerszelepek	19b Javítás és/vagy tisztítás, vagy csere
	19c Elégtelen kenés	19c 1. Alacsony olajszint	19c 1. Olajadagolás
		2. Olajozó hibás üzemű	2. Olajozó javítása
		3. Laza vagy kopott szíj	3. Laza szíj megfeszítése vagy cseréje

4.3.2.10. KÉRDÉSEK

1. Milyen termikus kondicionálási eljárások léteznek? (4.3.2.1. fejezet.)
2. A termikus kondicionálás előnyei, hátrányai. (4.3.2.8. fejezet.)
3. Melyek a termikus kondicionálás mechanizmusai? (4.3.2.2. fejezet.)
4. Melyek a befolyásoló tényezők? (4.3.2.3. fejezet.)
5. A hőkezeléses kondicionálás folyamata. (4.3.2.4. fejezet; *82. ábra.*)
6. Az alacsony nyomású oxidációs kondicionálás. (4.3.2.5. fejezet; *83. ábra.*)
7. A termikus kondicionálás jellegzetes üzemeltetési hibái. (4.3.2.9. fejezet; *40. táblázat.*)

4.3.3. ISZAPMOSATÁSOS (ELUTRIÁCIÓ) KONDICIONÁLÁS

4.3.3.1. CÉLJA

Az iszapmosatás (elutriation; Genter, 1941) olyan eljárás, amelyet az anaerob rothasztású iszap vákuumdobszűrés stb. előtti *mosatását* szolgálja (Burd, 1968). Az általa nyújtott előnyökhöz képest azonban drága eljárás.

A mosatás célja:

1. bikarbonát-lúgosság csökkentése az iszapban; ezáltal a savas fémsóigény mintegy 50%-kal csökkenthető (Burd, 1968),

2. a szilárd anyagokat vagy a szilárd–folyadék-keveréket friss vízzel vagy tisztított szennyvízzel kell alaposan keverni, hogy bizonyos komponenseket a folyadékba lehessen átvinni. Például a rothasztott iszap kémiai kondicionálás előtti mosatása egyes oldható szervetlen és szerves vegyületeket eltávolít, így nagymennyiségű kondicionáló vegyszer takarítható meg,

3. az iszaplúgosság csökkenése a pH-szabályozáshoz igényelt mészmennyiség csökkenését eredményezi,

4. a rothasztott iszap mosatása az iszapot hígítja és a lúgosságot csökkenti,

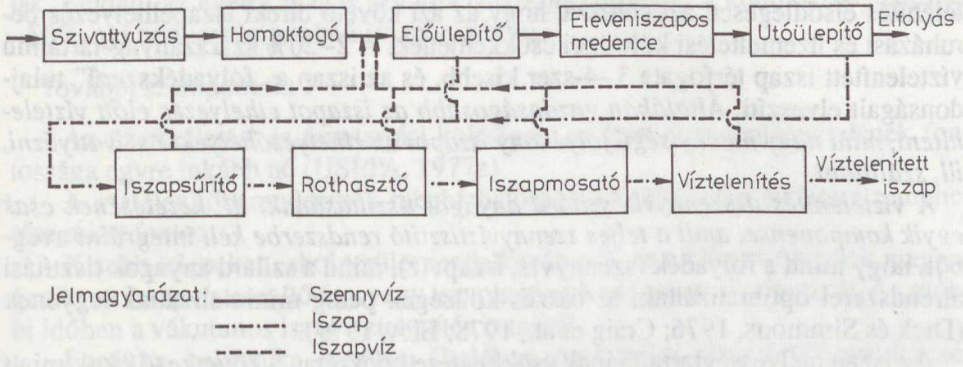
5. *az iszapmosatás legfontosabb eredménye, hogy a finom, nehezen víztelenít-hető iszapszemcsék 10–45%-a kimosódik* (Chasick és Dewling, 1962; Dahl et al., 1972), ezáltal az iszap víztelenítheősége kisebb-nagyobb mértékben javul.

4.3.3.2. AZ ALKALMAZHATÓSÁG PROBLÉMÁI

1. Az iszapmosatást *ritkábban alkalmazzák,* mert az iszap kimosott, finom szemcséit a szennyvíztisztító telep elejére visszavezetve, *a finom frakció* a tisztítórendszerben nehezen távolítható el (Metcalf and Eddy, Inc., 1991).
2. A rothasztott iszap finom szemcséinek *kb. 50%-a,* recirkuláltatásuk miatt, *a telepi elfolyásban a rendszerből távozik* (Sparr, 1954; Taylor, 1957).
3. A recirkuláció következtében a tisztítótelepen a finom szemcséjű iszaptömeg miatt *üzemeltetési problémák jelentkezhetnek.*
4. Az iszapmosatás, egyéb kondicionáló eljárásokkal összehasonlítva, *nem tekinthető versenyben lévő alternatív eljárásnak.*

4.3.3.3. ÜZEMELTETÉS

1. A mosatáshoz egy vagy két, esetleg tetszőleges számú medence alkalmazható *(84. ábra)*.



84. ábra. Iszapmosatást is tartalmazó eleveniszapos szennyvíztisztító rendszer

2. A mosatásra szánt iszap térfogatához viszonyítva, 2–6-szoros térfogatú mosóvíz szükséges.

3. A mosóvizet ellenáramlású rendszerben alkalmazzák.

4. Az iszapmosató medence sűrítőmedenceként tervezett, az iszapterhelés 39–48,8 kg/m^2 · d.

5. Keverési idő 30–60 s. Ezt követően kétféle üzemeltetés követhető:

a) 4–24 órás ülepítés [szakaszos (batch) üzem], vagy
b) folyamatos üzemeltetésű sűrítés következik.

6. Az 1960-as évektől kezdve az iszapmosatás ügyét a kutatások előbbre vitték (Dahl et al., 1972; Goodman, 1966; Goodman és Witcher, 1965): *polimerek adagolásával a finom iszapfrakció 90–92%-a eltávolítható*. Ennek megfelelően az üzemeltetési ajánlások:

– az iszapmosató medencék *hidraulikai terhelése* (összes iszap és a mosatóvíz) 69–104 l/m^2 · d, *szilárdanyag-terhelése* 39–75 kg/m^2 · d,
– a medence bevezető részét hidraulikailag megfelelően kell kialakítani,
– merülőfalak szükségesek,
– a medencét a felúszott iszapot eltávolító berendezéssel kell ellátni,
– polimer adagolása szükséges.

4.3.3.4. KÉRDÉSEK

1. Iszapmosatásos (elutriáció) kondicionálás célja. (4.3.3.1. fejezet.)
2. Miért nem terjedt el az iszapmosatásos kondicionálás? (4.3.3.2. fejezet.)
3. Érdemes-e polimereket adagolni? (4.3.3.3. fejezet.)
4. Iszapmosató medence üzemeltetése. (4.3.3.3. fejezet.)

4.4. ISZAPVÍZTENÍTÉS

4.4.1. A VÍZTELENÍTÉS CÉLJA

A szennyvíziszap-víztelenítés célja a víztartalom olyan mértékű eltávolítása, amely *a sűrítés után további nagyobb iszaptérfogat-csökkenést eredményez.* A víztelenítés elsődlegesen azt célozza, hogy az azt követő direkt iszapelhelyezés beruházási és üzemeltetési költségei csökkenjenek. A 2–20% szárazanyag-tartalmú víztelenített iszap térfogata 3–4-szer kisebb, és az iszap a „folyadékszerű" tulajdonságait elveszíti. *Általában gazdaságosabb az iszapot elhelyezés előtt víztelenníteni, mint nagy mennyiségű folyékony iszapot az elhelyezőhelyekre szivattyúzni, ill. szállítani.*

A víztelenítés a szennyvíz szilárd anyagai tisztításának, ill. kezelésének csak egyik komponense, amit a teljes szennyvíztisztító rendszerbe kell integrálni avégből, hogy mind a folyadék (szennyvíz, iszapvíz), mind a szilárd anyagok tisztítási alrendszerei optimalizáltak, az összes költségek pedig minimalizáltak legyenek (Dick és Simmons, 1976; Craig et al., 1978; EPA, 1979).

Az iszap nedvességtartalmának csökkentése konkrétan a következő okok miatt előnyös:

1. A víztelenedett iszapot általában könnyebb kezelni, mint a sűrített vagy folyékony iszapot.
2. Egyes esetekben az iszap víztelenítése az iszap szagtalanná tételét, rothadóképességének megszűnését is célozza.
3. A víztelenítés normálisan az iszap égetése előtt feltétlen igény, hiszen ezáltal az iszap energiatartalmának viszonylagos növelése elérhető.
4. A víztelenítés a komposztkészítés előtt is előnyös, hiszen azáltal az adalékanyagok mennyisége csökkenthető.
5. Az iszap végső helyre szállításának költségei lényegesen alacsonyabbak lesznek.
6. Az iszapvíztelenítés a feltöltésbe helyezés előtt, a feltöltésből való kilúgozódás (leachate) csökkentése érdekében követelmény.

4.4.2. A VÍZTELENÍTÉSI ELJÁRÁS MEGVÁLASZTÁSA

Az üzemeltetőnek (a tervezővel együtt) a víztelenítést befolyásoló tényezőkkel és a megfelelő eljárás megválasztásának szempontjaival tisztában kell lennie. A helyi hatósággal való aktív kapcsolattartás a tervezés és az üzemeltetés időszaka alatt egyaránt fontos.

A víztelenítési eljárást befolyásoló fontosabb tényezők:

– az iszap szilárdanyag-tartalma és térfogati hozama,
– vegyszerigény, költsége,
– a mellékáramlási ágon (iszapágon, iszapvízágon) a szilárdanyag-tartalom és a térfogati hozam,
– a víztelenített iszap szilárd anyaga (szárazanyag-tartalma) és térfogati hozama.

A víztelenítő berendezés megválasztását elsősorban

– az iszap fajtája,
– a víztelenített iszap tulajdonságai,
– a rendelkezésre álló terület,
– a víztelenítést követő iszapkezelési, ill. -elhelyezési folyamatok befolyásolják. Például az égetés magas szilárdanyag-koncentrációt, a komposztkészítés az ~50%-nyi nedvességtartalmú iszapot igényli.

További szempontok:

– Az üzemeltetési és fenntartási költségek, melyek figyelembevételének fontossága egyre inkább nő (USEPA, 1977a).
– A víztelenítőberendezések megbízhatósága a tisztítótelep sikeres üzemeltetése miatt fontos.
– Kisebb telepeken, ahol terület rendelkezésre áll és a klímaviszonyok megengedik, az iszapvíztelenítő ágy vagy iszaplagúna általánosan alkalmazott. Az utóbbi időben a vákuumos iszapvíztelenítés is terjed.
– Fordítva, helyszűke esetében általában mechanikai víztelenítőberendezéseket alkalmaznak.
– Egyes esetekben az időjárás, az évszakok hatását is célszerű a víztelenítési eljárás megválasztásához figyelembe venni. Például az iszapszikkasztó ágyak a meleg, ill. szárazabb időszakban valóban kis nedvességtartalmú iszapot eredményeznek. Ha alternatív, mechanikai víztelenítő berendezés rendelkezésre áll, akkor azt nedves, csapadékos időszakban célszerű alkalmazni.
– Az iszapfeltöltés üzemeltetése az iszapoktól függően egyre szelektívebbé válik. A nedves iszaplepények, melyekből szennyezett folyadék juthat a környezetbe, különösen nem kívánatosak. A korábbi 18%-os szárazanyag-tartalmat mint követelményt, egyes környezeti feltételek esetében, az USA-ban is emelni szándékoznak. Németországban az iszapfeltöltésbe csak 30–35%-os szárazanyag-tartalmú iszapok helyezhetők el.
– Valamely iszap mechanikai víztelenítéséhez az optimális víztelenítő berendezést *elővizsgálatokkal fontos tisztázni.*
– Fontos, hogy az üzemeltető gondoljon arra, hogy az „iszap" és „valamely víztelenítő berendezés"-hez tartozó folyamatok *az iszapkezelés-optimalizálás meghatározása alapján hozhatók egymással valóban ésszerű kapcsolatba.* Ezzel a szemlélettel, de csak ezzel a szemlélettel, sokféle üzemeltetési meglepetést, zavart és problémát eleve ki lehet küszöbölni.

4.4.3. A VÍZTELENÍTÉSI FOLYAMAT ÖSSZEHANGOLÁSA A TELEPNAGYSÁGGAL

Az üzemeltetőnek gondolni kell arra, hogy *az egyszerű iszapkezelő rendszerek növelik a sikeres üzemeltetés esélyeit.*

A bonyolult iszapkezelő berendezések különösen a kis telepeken okoznak gondokat:

– minél kisebb a telep, annál kevesebb az egyes beavatkozásokra fordítandó fajlagos időszükséglet,
– a kis telepek kevésbé rendelkeznek az üzemeltetéshez és fenntartáshoz igényelt jártas személyzettel,
– a kevésbé komplikált berendezések általában olcsóbban szerezhetők be,
– a kis telepeken gyakran kb. 100% tartalékkapacitás szükséges (rendszerint két berendezés léte előnyösebb az egyetlen nagy berendezésnél),
– gazdaságosabb a kevésbé komplikált, kevésbé drága rendszer alkalmazása, de ez nem mehet a hatékonyság rovására.

A telepnagyság és a különböző víztelenítési eljárások közötti kapcsolat iránymutatóként a *41. táblázat*ban adott (EPA, 1987). Hangsúlyozni kell, hogy *minden telepet egyedileg kell megvizsgálni, hiszen a helyi specifikus megfontolások a víztelenítési folyamatra nagy hatást gyakorolhatnak.* Például: az iszapvíztelenítő ágyak és az iszapszárító lagúna a >0,44 m^3/s tartományban is gazdaságosak lehetnek, ha

– az éghajlat kedvező és
– a terület rendelkezésre áll (erre jó példa Öllős, 1991, 1031. oldal, *42. kép*).

41. táblázat. A víztelenítés folyamata és a telepnagyság kapcsolata

Eljárás	Telepnagyság, m^3/s		
	<0,04	0,04–0,44	>0,44
Szalagszűrőprés	x[1]	x	x
Centrifuga		x	x
Forgó gravitációs iszapkoncentrátor[3]	x[2]	x	x
Vákuumdobszűrő[5]		x	x
Szűrőprés		x	x
Iszapvíztelenítő ágy[4]	x	x	
Iszapszárító lagúna	x	x	

Megjegyzések:

x Alkalmas eljárás.
[1] Talajfelszínen való szétszórásra vagy talajba injektálásra alkalmas.
[2] Csak a kis nyomású rendszer alkalmazott ezen telepnagyság esetében.
[3] Irodalom: Öllős, 1991, 1023. oldal, *572. ábra.*
[4] Az iszapszikkasztó ágy helyett célszerűbb az iszapvíztelenítő ágy kifejezés használata.
[5] A vákuumdobszűrő további terjedését viszonylag alacsony hatékonysága stb. akadályozza.

Üzemeltetési szempontból figyelembe kell venni azt is, hogy számos technikai megoldás képes kielégíteni a víztelenítési alap funkcionális definícióját, *tág, változó mértékben.* A különböző eljárások megválasztásakor, összehasonlítá-

sakor, üzemeltetéskor, a rendszer rekonstrukciójakor ezeket a körülményeket is tekintetbe kell venni. Például: az iszapvíztelenítő ágyak nemcsak az iszap szokásos gravitációs víztelenítésére alkalmazhatók, *de kedvező éghajlati és időjárási körülmények között* az 50–60%-os szárazanyag-tartalom is elérhető. És ezt az üzemeltetőnek érdemes is kihasználni. Másik példa: a körülményektől és a víztelenítő berendezés speciális voltából kifolyólag a mechanikai víztelenítő berendezésekből kikerülő iszap hatékonysága változó lehet:

– a nedves állapot,
– a szinte folyékony állapot,
– a kemény és morzsalékos iszapforma

egyaránt jelentkezhet. *A tényleges nedvességtartalom, transzportálás szempontjából, gyakorlatilag nagyon egyszerűen ellenőrizhető:* dömperbe rakva, ha az a dömperben próbaszállítás közben folyós állapotúvá válik, akkor az iszap nagy nedvességtartalmú. A nedvességtartalom az iszapégetéssel kapcsolatban is nagy üzemeltetési gondot jelenthet: az iszapok egyes esetekben, *ha nedvességtartalmuk nem a célnak megfelelő,* például az etázskemence legfelső emeletére lifttel felszállítva, a konténerből, annak billentésekor nehezen üríthetők ki.

4.4.4. AZ ALTERNATÍV ISZAPVÍZTELENÍTŐ ELJÁRÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Az alternatív iszapvíztelenítő eljárások ma már, elegendő üzemeltetési tapasztalat birtokában, *egyértelműen összehasonlíthatók* (*42. táblázat;* USEPA, 1979; WPCF, 1983).

42. táblázat. Alternatív iszapvíztelenítő eljárások összehasonlítása

Víztelenítő eljárás	Előnyök	Hátrányok
Természetes víztelenítési eljárások[1]		
Iszapvíztelenítő ágy	Legkisebb a beruházási igény, ahol a földterület rendelkezésre áll	Nagy a földterületigény
		Stabilizált iszapigény
	Kevés üzemeltetői felügyeletet és szakértelmet igényel	Klimatikus viszonyokat figyelembe kell venni
	Kis energiafelhasználás	Iszapeltávolítás munkaigényes
	Kevés vagy semmi vegyszerfelhasználás	
	Iszapminőség-változásra kevésbé érzékeny	
	Nagyobb a víztelenített iszap szárazanyag-tartalma, mint mechanikai eljárásoknál	

42. tábl. folyt.

Víztelenítő eljárás	Előnyök	Hátrányok
Iszaplagúna	Kevés energiafelhasználás Vegyszerigény nincs Szerves anyagok tovább stabilizálódnak Kis beruházási költség, ahol földterület áll rendelkezésre Legkisebb a szakértelemigény az üzemeltetéshez	Szag- és vírushordozó (vector) problémákat okozhat Lehetséges talajvíz-szennyeződés Több a területigény, mint a mechanikai eljárások esetében Külső megjelenése visszatetsző lehet Klimatikus viszonyok figyelembevételét igényli Nagy védőtávolsági igény
Gépi víztelenítési eljárások[2]		
Vákuumdobszűrő	Szakértelmmel rendelkező üzemeltetőt kevésbé igényel Folytonos üzemű berendezés, fenntartási követelménye kevés	Egységnyi mennyiségű víztelenített iszapra eső energiafogyasztása legnagyobb Folyamatos üzemeltetői felügyeletet igényel Vákuumszivattyúk Iszapvíz (filtrate) szuszpendált szilárdanyag-koncentrációja nagy lehet, a szűrőszövettől függően Nagy helyigény
Szűrőprés	Iszaplepény szárazanyag-tartalma valamennyi mechanikai eljárás közül a legnagyobb Iszapvíz (filtrate) szuszpendált szilárdanyag-tartalma kevés	Szakaszos (batch) üzemű Berendezés költsége magas Munkaigény nagy Speciális alátámasztási igény Nagy burkolt felület szükséges a berendezés elhelyezéséhez Gyakorlott, szakértelemmel rendelkező fenntartó személyzet szükséges Többletiszap keletkezik a jelentős vegyszeradag miatt

42. tábl. folyt.

Víztelenítő eljárás	Előnyök	Hátrányok
Dekantáló centrifuga	Megjelenése tetszetős, minimális szagprobléma, gyors indulási és leállási képesség	Fenntartási igénye nagy
	Könnyű elhelyezni	Előzetes homokeltávolítást és lehet, hogy a betáplált iszap őrlését igényli
	Viszonylag száraz iszaplepényt eredményez	Gyakorlott fenntartó személyzetet igényel
	Alacsony beruházási/kapacitás-arány	Az iszapvíz (centrate) szuszpendált szilárdanyag-koncentrációja mérsékelt
		A fordulatszámtól függően korlátozott a napi üzemidő (csapágymelegedés stb.)
Dobcentrifuga	Sűrítéshez és víztelenítéshez azonos berendezés alkalmazható	Korlátozott méretkapacitás
	Kémiai kondicionálás nem feltétlenül szükséges	A vákuumdobszűrő kivételével az egységnyi víztelenített iszapra vonatkoztatott energiafogyasztás nagyobb
	Tetszetős megjelenésű, minimális szagprobléma, gyors indítási és leállási képesség jellemzi	Recirkulációs terhelés jelentős lehet
	A folyamatkövetelményekhez nagyon rugalmas	Könnyen víztelenithető iszapokra nézve, beruházási költség/kapacitás arány a legnagyobb
	Homok nem befolyásolja	Legtöbb iszap esetében az iszaplepény szárazanyag-tartalma a legkisebb
	Kedvezőtlen tulajdonságú iszapok is kitűnően víztelenithetők	Vibráció
Szalagszűrőprés	Kis energiaigény	Hidraulikailag korlátozott átbocsátóképességű
	Viszonylag alacsony beruházási és üzemeltetési költség	Iszapőrlést igényel
	Mechanikai szempontból kevésbé komplex, fenntartása könnyebb	Betáplált iszap minőségére nagyon érzékeny
	Nagy nyomású gépek nagyon száraz iszaplepény produkálására képesek	Rövid médiatartósság, egyéb szövetanyagokat használó berendezésekhez viszonyítva
		Automatikus üzemeltetés általában nem ajánlott

Megjegyzés:

[1] A természetes víztelenítési eljárásokat a szakirodalom "Natural Sludge Dewatering Systems", ill. "Air Drying Processes" nómenklatúrával illeti. Mindkét elnevezés tulajdonképpen nem tekinthető minden eljárásra szabatosnak, így kompromisszumról van szó.

[2] A mechanikai víztelenítési eljárások alatt a gépi úton történő víztelenítési eljárásokat értjük.

A természetes iszapvíztelenítés folyamata, a nedvesség kívánt mértékű eltávolítása

– a természetes párolgás,
– a gravitációs hatás vagy
– a gerjesztett (mesterséges úton befolyásolt) vízeltávolítás révén érhető el.

A természetes iszapvíztelenítési *eljárások:*

– hagyományos iszapvíztelenítő ágy (homokágy),
– fagy által befolyásolt iszapvíztelenítő,
– vákuumos gyors iszapvíztelenítő,
– iszapvíztelenítő lagúna,
– aszfalt- vagy beton alapú ágyak,
– ék alakzatú, drénrendszerű ágy,
– egyéb víztelenítő rendszerek.

Az üzemeltető ma már az iszapvíztelenítő ágyon túlmenően – amint a szakirodalom érzékelteti – többféle víztelenítési mód között választhat. A fejlődést – amint a következők bizonyítják – elsősorban *az üzemeltetésoptimalizálási igény* segítette elő.

A természetes iszapvíztelenítési eljárások tulajdonságai *üzemeltetés szempontjából:*

1. Ha a terület rendelkezésre áll, az eljárások (különösen az iszapvíztelenítő ágy és az iszaplagúna) nagyon vonzók lehetnek mind a beruházási, mind az üzemeltetési költségek szempontjából.

2. Figyelembe véve az elektromos költségek növekedését, az eljárások még vonzóbbak.

3. Az eljárások kevésbé komplex folyamatúak, üzemeltetésük egyszerűbb és a mechanikai víztelenítő rendszereknél (4.4.8. fejezet) jóval kevesebb üzemeltetési energiát igényelnek.

4. Viszont

– területigényük nagyobb,
– üzemeltetői munkaigényük rendszerint több, különösen
– a víztelenített iszap (iszaplepény) eltávolítását illetően.

5. Mindezen tényezők kombinációja alapján kiadódik, hogy a természetes iszapvíztelenítő folyamatok elsősorban

– a kis és
– a közepes,

a <7500–1900 m^3/d kapacitású szennyvíztisztító telepeken alkalmazhatók.

6. A természetes iszapvíztelenítés technikailag a nagyobb telepeken is alkalmazható (pl. Öllős, 1991, 1031. oldal, *42. kép*), de a nagyobb területigény használhatóságát korlátozza.

7. Az eljárások nagy telepeken az arid és szemiarid éghajlati viszonyok között is alkalmazhatók, midőn a terület rendelkezésre áll. Ilyen esetekben az üzemeltetés automatizálására célszerű törekedni, amire számos példa van a világon.

9. A természetes iszapvíztelenítési eljárások a szokásos víztelenítési időtartam alatt könnyen biztosítanak *25–40%-os szárazanyag-tartalmú iszaplepényt* és ked-

vező éghajlati, időjárási feltételek esetében a 60%-os szárazanyag-tartalmat is túlhaladhatják, hosszabbított víztelenítési időtartam alatt.

10. A természetes iszapvíztelenítés az egyes országokban eltérő mértékben alkalmazott. Ahol az éghajlati viszonyok kedvezőek (melegebb éghajlat), ott gyakrabban alkalmazott. Más országokban, így Magyarországon is, elsősorban az *alternatív mesterséges iszapvíztelenítési eljárások* [centrifuga, az RSDS vákuumos gyors iszapvíztelenítő rendszer (például Öllős, 1991, 11.7.5. fejezet), a szűrőprés, a szalagszűrőprés] terjedtek el. *Magyarország éghajlati adottságai között elsősorban a mesterséges víztelenítés irányába célszerű haladni.*

A következő fejezetekben a természetes iszapvíztelenítés taglalásának célja *a fejlődés, ezen belül az üzemeltetési tapasztalatok szemléltetése.*

4.4.5. HAGYOMÁNYOS ISZAPVÍZTELENÍTŐ ÁGY KIALAKÍTÁSA, ÜZEMELTETÉSE

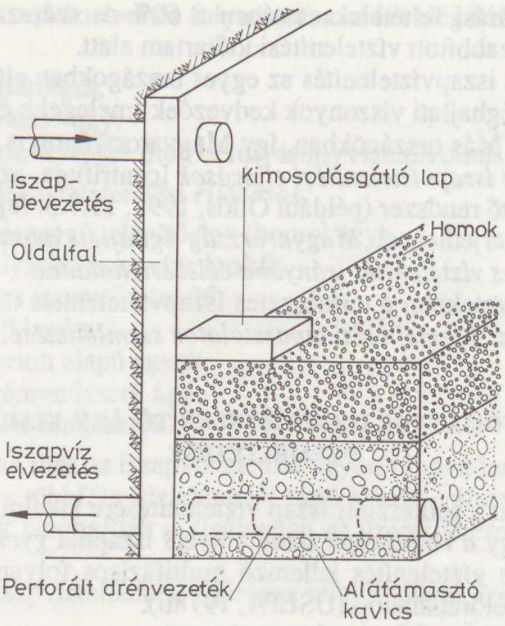
Legáltalánosabban a rothasztott iszap víztelenítésére alkalmazott, mert a kutatások tisztázták, hogy *a rothasztott iszap* a nyers iszapnál *gyorsabban víztelenít-hető.* Az iszapágyas víztelenítés jellemző multifázisos folyamatának racionális műszaki felderítése előrehaladott (USEPA, 1978b).

Az iszapvíztelenítő ágy folyamatkomponensei:

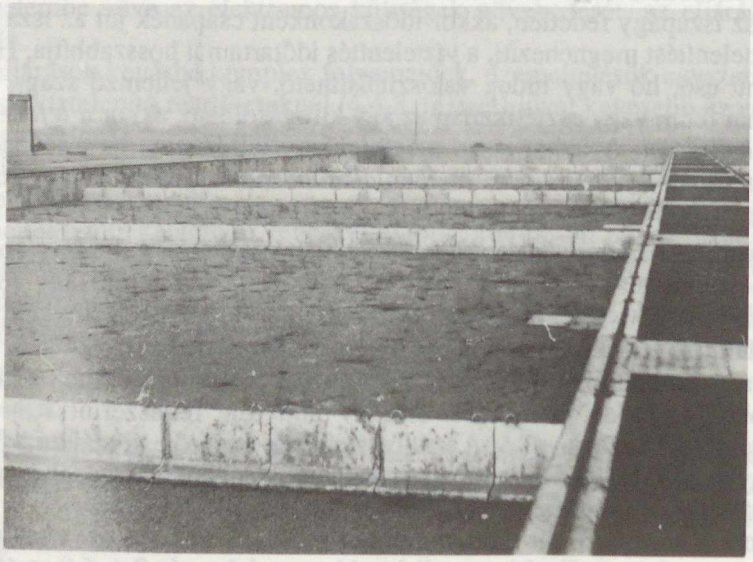
1. Párolgás a sugárzás és a légáramlás hatására.
2. Az iszapvíz lefelé dréneződése az iszaprétegből.
3. A dréneződött iszapvíz elvezetése.
4. Ha az iszapágy fedetlen, akkor időszakonként csapadék jut az iszaprétegbe, ami a víztelenítést megnehezíti, a víztelenítés időtartamát hosszabbítja. Ha hosszú időtartamú eső, hó vagy hideg valószínűsíthető, vagy jellemző szag-, rovarveszély állhat fenn, vagy esztétikailag az ágy kifogásolható, akkor *a lefedés gondolatát fel kell vetni.* A fedett iszap megfelelően szellőztetve, ha a levegő az ágy felett áramolhat, *a fedett ágy ez esetben alkalmazható, s ekkor az ágyfelület a fedetlen ágyénál 25–30%-kal kisebb* (U.S. Department of Interior, 1968).

A hagyományos iszapvíztelenítő rendszer kialakítási elvét a *85. ábra* szemlélteti. A 0,3–1,0 m magas határoló betonfalak közötti víztelenítő ágy *(86. ábra)* 10–23 cm vastag, tiszta, kemény anyagot, iszapot vagy szerves anyagot nem tartalmazó homokrétegből áll, alatta 20–50 cm vastag alátámasztó kavics- vagy kőréteg van. A homokréteg fölé juttatott iszapréteg 30–45 cm vastag, a klimatikus viszonyoktól függően. A homok effektív átmérője rendszerint 0,3–1,2 mm, egyenlőségi koefficiense <3,5. A kavicsszemcsék átmérője általában 0,3–2,5 cm tartományba esik. A kavicsréteg vastagságának mechanikai iszapeltávolítás esetében, a drénrendszer védelme céljából vastagabbnak kell lennie.

A drénrendszer perforált iszapvíz-elvezető cső, égetett agyag- vagy műanyag cső lehet. A cső átmérője 10 cm-nél kisebb nem lehet, és 2,4–6,0 m távolságra fektetendők egymástól. Minimális lejtésük 1% legyen. Az iszapvíztelenítő rendszer mechanikai vagy a nélküli (kézi) iszapeltávolítású lehet. Az USA-ban az iszapot az ágyról zömmel kézi erővel távolítják el (EPA, 1979). Ehhez a munkához 30–40%-os szárazanyag-tartalmú iszap szükséges. A kézi erővel való iszapeltá-



85. ábra. Iszapágyas víztelenítő rendszer szerkezeti kialakítása



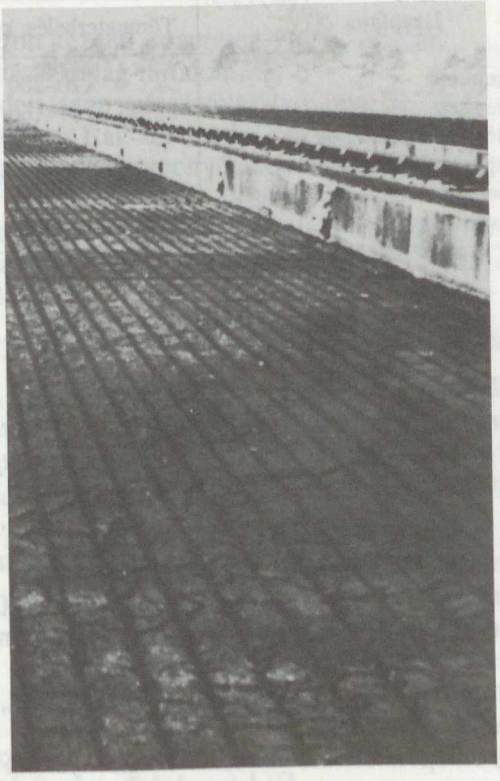
86. ábra. Iszapvíztelenítő ágyrendszer

volításnak nagy előnye, amit nyilván ki is használnak, hogy az alátámasztó iszap- és/vagy kavicsréteg(ek) az iszapeltávolításkor nem mennek tönkre. Például a markológépek okozta homok- és/vagy kavicsveszteség gyakorlatilag *elmarad*. Ez nagy előny. Ezen az üzemeltetőnek el kell gondolkodnia, hiszen ez a probléma *üzemelés-optimalizálási feladat (gazdasági tényeket is beleértve)*.

Tetővel ellátva vagy a nélkül üzemeltethető.

Az üzemeltetés menete valamennyi fajta víztelenítő ágy esetében:

1. 20–30 cm vastag, stabilizált, folyékony iszapréteget kell a víztelenítő ágy felszínén létrehozni, ahol az víztartalmát jelentősen elveszíti.
2. Kémiai kondicionálószer folyamatos injektálása (ha kondicionálószert kell adagolni) az ágyra szivattyúzott iszaphoz. A kondicionálás nagymértékben növeli a víztelenítés mértékét (Beardsley, 1976).
3. Ha az ágyon a tervezett vastagságú iszapréteg kialakult, az iszapot hagyni kell, hogy a kívánt végső szárazanyag-tartalomig víztelenedjen, ami 18–60% közötti lehet, az iszap fajtájától, elhelyezési módjától, a víztelenítés igényelt mértékétől (ami nagyon fontos, ha a víztelenített iszap emelőberendezésbe kerül stb.) függően. A víztelenedés automatizált hídszerkezet segítségével az iszapfelszín barázdálásával is hatékonyabbá tehető *(87. ábra)*.



87. ábra. Barázdált iszapfelszín a víztelenítés serkentésére

4. A víztelenített iszapot az ágyról mechanikai vagy kézi úton (lapátolással) kell eltávolítani.

5. A víztelenítési ciklus újrakezdhető.

A drén- (iszap-) víz minőségére példát a következő adatok szolgáltatnak (Jeffrey és Morgan, 1959):

Iszap fajtája:	anaerob rothasztású előülepített és csepegtetőtestes iszapkeverék.
Iszapágy anyaga:	15 cm vastag homokréteg.
Iszapvíz színe:	tiszta, sárgás.
KOI:	300–400 mg/l.
BOI_5:	6–66 mg/l.
BOI_{20}:	1900–2360 mg/l (>90% nitrogéntartalom).

Ezt a minőségű iszapvizet általában külön nem tisztítják, hanem a szennyvíztisztító telep elejére vezetik vissza.

A hagyományos homok iszapvíztelenítő ágy az *iszaptömeg-terhelés* alapján üzemeltethető, ill. tervezhető (*43. táblázat;* Craig et al., 1978).

43. táblázat. Terhelési kritérium anaerob rothasztású, kondicionálatlan, fedetlen homokágy esetében

Iszapfajta	Tömegterhelés, $kg/m^2 \cdot a$
Előülepített	120–200
Előülepített	100–160
Előülepített + kisterhelésű csepegtetőtestes humusziszap	100–160
Előülepített + fölös (utóülepített) eleveniszap	60–100

4.4.5.1. ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK

Az előzőkből kitűnik, hogy *a természetes iszapvíztelenítés a nehezen tervezhető feladatok közé tartozik,* ezért *az üzemeltető folyamatoptimalizáló szerepe rendkívül felértékelődött.* Ezt a tényt a következő *üzemeltetői tapasztalatok nagyon markánsan támasztják alá* (EPA, 1987).

1. A *43. táblázat* szerint az iszapágy terhelése a rothasztott előülepített + fölös eleveniszap, fedetlen iszapágy esetében 60–100 $kg/m^2 \cdot a$.

2. Ez a terheléstartomány fedett iszapágy esetén nő: 85–140 $kg/m^2 \cdot a$.

3. Ez az utóbbi terheléstartomány még jelentős mértékben tovább növelhető, ha az iszap ágyra vezetése előtt kondicionálószer adagolt.

4. A terhelési tartomány legfelső szintje az arid klíma alatt, a könnyen víztelenít hető iszapok esetében jelentkezik.

5. A homokágyas iszapvíztelenítő rendszer hatékonyságát befolyásoló tényezők:

– a vízteleníteti iszap kívánt szilárdanyag-koncentrációja, ami viszont a technikai és a végső elhelyezési, ill. hasznosítási követelményektől függ. Ha speciális előírás nincs, a vízteleníteti iszap tipikusan 25–30%-os szárazanyag-tartalom esetében „emelhető fel" és távolítható el az ágyról nagymértékű homokveszteség nélkül,
– az ágyra juttatott iszap szilárdanyag-koncentrációja,
– a víztelenítendő iszap fajtája (stabilizált, sűrített, kondicionált stb.).

6. Az anaerob rothasztású, előülepített iszap + fölös eleveniszap keverékével 25%-os víztartalom eliminálható. De hatékony kondicionálású keverékkel 75% vagy ennél is több iszapvíz távolítható el.

7. A dréneződés tetemes hányada 3–5 napon belül játszódik le.

8. Ha az iszap felszíne már repedezett, az ekkor jelentkező párolgás mértéke, a megnövekedett iszapfelszín következtében, a vízfelület párolgását mérő serpenyőből jelentkező párolgási mértéket megközelíti.

9. Az üzemeltető számára néhány, az üzemeltetést segítő közelítő egyenlet is rendelkezésre áll (EPA, 1987).

9.1. *Víztelenítés időtartama* (t_d, hónap):

$$t_d = \frac{(y_0)(1 - s_0 / s_f)(1 - D)}{(k_e)(E_v)}, \tag{31}$$

ahol y_0 az alkalmazott kezdeti iszapréteg-vastagság, cm,
s_0 a kezdeti szárazanyag-tartalom, %,
s_f a víztelenedett iszap szárazanyag-tartalma, %,
D a dréneződött víz frakció, tizedes százalék,
E_v az átlagos párolgás a serpenyő vízfelületéről t_d időtartam alatt, cm/hónap,
k_e a redukciós tényező az iszapvízpárolgásra a szabad vízfelszín párolgásához viszonyítva, tizedes százalék = 0,6 (kísérletileg határozandó meg).

9.2. *Az iszapágyra való adagolás száma* (N) az üzemeltetési szezonon belül:

$$N = \frac{n_v}{t_d} = \frac{(n_v)(E_{vn})(k_e)}{(y_0)(1 - s_0 / s_f)(1 - D)}, \tag{32}$$

ahol n_v az üzemelési szezon hossza, hónap,
E_{vn} átlagos vízpárolgás a serpenyőbeli víz felszínéről az n_v üzemeltetési szezon alatt, cm/hónap.

9.3. *A fajlagos szilárd- (száraz-) anyag-terhelés:*

$$L = (C)(s_0)\frac{(n_v)(E_{vn})(k_e)}{(1 - s_0 / s_f)(1 - D)}, \tag{33}$$

ahol L a szilárd- (száraz-) anyag-terhelés n_v periódus alatt, kg/m^2,
C az iszap feltételezett sűrűsége = 1,04.

9.4. *A víztelenedett iszaplepény végső rétegvastagsága, y_f, cm:*

$$y_f = (y_0)\frac{s_0}{s_f}. \qquad (34)$$

10. *A vékony iszapréteg* gyorsabban víztelenedik, mint a vastagabb réteg, de ami a (34) egyenletből következik, az éves szilárd- (száraz-) anyag-terhelés az egyes esetekben alkalmazott iszaprétegek vastagságától független.

11. *A túl vékony iszapréteg* számos üzemeltetési problémát okoz:

11.1. Gyakoribb az üzemeltetési és fenntartási igény.

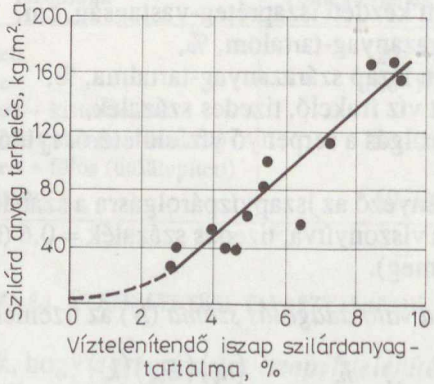
11.2. A homokveszteség nagyobb.

11.3. Általában nagyobb az üzemeltetési költség.

12. Ha 3% szárazanyag-tartalmú iszap kezdeti vastagsága a homokágyon 20 cm és a víztelenedett iszap 30%-os szárazanyag-tartalma csak a legfelső 2 cm-re jellemző, akkor az ilyen *túl vékony réteget* mechanikai úton nem célszerű eltávolítani a nagy homokveszteség miatt.

13. *A víztelenítési ciklusok száma* tulajdonképpen üzemeltetési úton határozható meg, közelítőleg a (33) egyenlet alapján.

14. *Az évi szilárd szárazanyag-terhelés* az ágyra táplált iszap szilárd- (száraz-) anyag-koncentrációjától függ [(34) egyenlet; *88. ábra*, Ohara et al., 1978].



88. ábra. Az iszapágyra táplált szilárdanyag-terhelés és a víztelenítendő iszap szilárdanyag-tartalmának kapcsolata

14.1. Amint a *88. ábra* érzékelteti, például a víztelenítő iszap szárazanyag-tartalmát 2%-ról 4%-ra növelve, az ágy szárazanyag-terhelése kb. kétszeres lehet és a víztelenítő ágy területe felére csökkenthető.

14.2. Ez a példa (kapcsolat) *az iszap homokágyra vezetése előtti*

– *sűrítés vagy*
– *kondicionálás*

pozitív szerepét bizonyítja.

14.3. A víztelenítendő iszap szárazanyag-tartalmának *8% fölé történő növelése azonban nem ajánlatos, mert akkor az iszap az ágyon nem folyik, és egyenletes elosztása sem lehetséges.*

14.4. Meglévő, azonban már elégtelenné vált kapacitású víztelenítő ágy esetében, amikor *az ágy területe nem növelhető, a víztelenítés előtti sűrítéssel a meglévő területű ágy kapacitása növelhető.*

15. A víztelenítő ágy teljes területe több cellára bontandó fel. A cellák méretét (kapacitását) úgy célszerű megválasztani, hogy *egy vagy két cella a program szerint érkező iszap mennyiségét fogadni tudja.*

16. Az iszapvíztelenítő ágy szélessége az iszapeltávolítás módjától függ. A kis és a közepes területű ágyak szélessége, kézi vagy félmechanikus iszapeltávolítás esetében, kb. 6 m szélességű lehet. A szélesség mechanikai iszapeltávolítás esetében nagyobb és minden cella rámpával rendelkezik.

17. Az iszapágy 30–60 m hosszú lehet hígabb iszapok rávezetésekor.

18. Az egyenletes iszapelosztás az ágy felületén nehezebb lehet, különösen, ha kondicionálószerként polimer alkalmazott. Ez esetben az ágy hosszúsága 15–25 m-nél hosszabb nem lehet, és *az iszapot több ponton célszerű az ágyra rávezetni.*

19. *A jól stabilizált aerob rothasztású iszapok jóval hatékonyabban vízteleníthetők iszapágyakon, mint az anaerob rothasztású iszapok.*

20. A *legtöbb nyers iszap* (előülepített iszap) iszapágyas víztelenítésre hajlamosabb, mint a rothasztott iszap.

21. A nyers iszapok iszapágyas víztelenítésekor valószínűsíthető a szagemisszió. *A jól stabilizált iszapoknál a szagemisszió nem jelenthet problémát.* A szagszabályozáskor az ágyra vezetett iszaphoz kalcium-hipokloritot, kalcium-permanganátot vagy vaskloridot kell adagolni.

22. A dréneződési fázis órákban vagy napokban mérhető, amit az éghajlati, ill. időjárási viszonyok jelentősen befolyásolhatnak. A legjelentősebb iszaptérfogatcsökkenés kb. 30–40% szárazanyag-tartalom eléréséig tart.

23. A 30%-os szárazanyag-tartalmú iszap az ágyról minimális homokveszteséggel távolítható el.

24. A kondicionálószert olyan helyeken kell adagolni, ahol a keveredés az iszappal jó hatásfokú (pl. a szivattyú után, iszapágyra vezetés helyén).

25. Az iszapelvételkor jelentkező homokveszteséget időszakonként pótolni kell, vízszintes felületűvé kell egyengetni, a növényzetet el kell távolítani.

26. Számos szennyvíztisztító telepen az eredeti iszapágy-kapacitás idővel elégtelenné válik. Ennek okai a következők lehetnek:

– megnövekedett szennyvízhozam,
– nagyobb mennyiségű iszapprodukció,
– vegyszeradagolás (a biológiai tisztítórendszerben és az iszapkezelés során), ami a kezelendő iszap térfogatát és tömegét nagyon megnövelheti, és ennek következtében az iszap víztelenítési tulajdonságai is kedvezőtlenül változhatnak. Ilyen például az alumínium-szulfát, melyet a foszforeltávolításhoz gyakran adagolnak, de a keletkezett iszap az iszapágyon nem hajlamos a víztelenedésre. Hasonló helyzetek vassók adagolása következtében is jelentkezhetnek.

27. Ha a kifogástalan üzemű szennyvíztisztító telep, ill. a megfelelő kapacitású iszapvíztelenítő ágy esetében *időközben a foszforeltávolítást is be kell vezetni*, akkor az iszapágy további zavartalan üzemeltetése érdekében a következő üzemeltetési módosításokra kerülhet sor:

27.1. a víztelenítő ágyak területének növelése,

27.2. polielektrolit-adagolás a víztelenítés hatékonyabbá tétele érdekében,

27.3. az iszapvíztelenítés időtartamának növelése,

27.4. az iszapágyas víztelenítés felcserélése valamilyen mechanikai víztelenítő rendszerre,

27.5. a polimeres kondicionálás lehet önálló, vagy sűrítéssel kombinált.

28. Az iszapágy előtti polimeradagolás a víztelenített iszap szárazanyag-tartalmát tetemesen növeli.

29. Az iszaptulajdonságok változhatnak, ezért a polimerdózist vagy a polimer fajtáját esetenként változtatni szükséges. Az iszapágyon gyengén dréneződő iszapokat polimerrel célszerű kondicionálni.

30. A híg, nagyon sok finom részecskét tartalmazó iszapok kondicionálása polimerrel nagyon célravezető. Annál is inkább, mert az ilyen iszapok a homokréteg felszínén átjutva, a réteget eltömhetik. A polimerek a dréneződést növelik és az iszaprészecskék homokrétegbe jutását akadályozzák.

31. Egyes iszapok a polimer kondicionálás dacára is nehezen dréneződnek. Ilyenkor a víztelenítési időt az aktív párolgási állapot többletidőtartamával növelni kell. Így érhető el a kívánt szárazanyag-tartalom.

32. A polimerek alkalmazása az iszapágy kapacitását növeli, hiszen a dréneződés mértékét növeli, ezáltal a párolgás időtartamát is rövidíti. *A polimer kondicionálás azonban a párolgás mértékét nem befolyásolja* (USEPA, 1978a, b, 1979). A kémiai kondicionálás révén a víztelenítés időtartama több mint 50%-kal csökkenthető. Megfelelő kémiai kondicionálással egyes iszapok egy nap alatt víztelenítheők (Culp és Heim, 1978).

33. Az iszapágyon előfordulhat, hogy lokális iszapfelhalmozódás keletkezik, ami lassan víztelenedik. Ennek oka a kondicionálószer iszappal való keverésének szakszerűtlen volta, vagy az iszap egyenlőtlen elosztása az iszapágyon. *Polimer alkalmazásakor a teljes iszapágy kihasználása érdekében ezért is több iszapbevezető pontról célszerű gondoskodni* (EPA, 1987).

34. Az iszapvíztelenítő ágyak kevésbé alkalmazottak a nem eléggé stabilizált iszapok vagy nedves oxidációs úton kondicionált iszapok víztelenítésére (a termikus úton kezelt iszap szagemissziós természete miatt).

35. Az iszapvíztelenítő ágyak zöme (elsősorban a mechanikai iszapeltávolítás esetében) alátámasztó és nyilván *iszapvíztisztító homokréteget* tartalmaz. A kémiai kondicionálásnak, vagyis az iszapszemcsék pelyhesedésének, a gravitációs, szabad víz elengedése érdekében megfelelőnek kell lennie. *A vegyszer-túladagolást el kell kerülni*, különben

– a médium (homok) a le nem kötődött polimer miatt nagy hidraulikai ellenállásúvá válhat,

– a nagy pelyhek gyorsan ülepedve, szintén csökkenthetik a homokréteg vízáteresztő képességét.

Ilyenkor az iszapvíz a homokrétegen át nem képes átjutni, és *a víztelenítést csupán a párolgás segíti, aminek következtében a víztelenítés időtartama lényegesen hosszabb annál, amekkora a gravitációs dréneződés és a párolgás kombinációjához szükséges.*

36. A homokágyas víztelenítő rendszer esetében az időjárási viszonyok szerepe nagyon fontos. Miután a drénezési mechanizmus befejeződött, a párolgás az egyedüli mechanizmus a további víztelenítéshez. A párolgás és a víztelenítés kívánt mértéke és az ehhez szükséges időtartam az időjárási viszonyoktól függően alakul. Nedves, hideg éghajlatú területeken az iszapágyakat ezért üvegházszerűen le kell fedni. Az ilyen zárt tereket azonban a párolgás elősegítése céljából jól kell szellőztetni. A körülzárás egyben a szag- és rovarszabályozást is szolgálja.

37. Az üzemeltető, ha lehetséges, kb. 10%-nyi tartalék ágyfelülettel rendelkezzen, hogy

– az iszapterhelés váratlan növekedését, és
– az üzemeltetési problémák miatt a leállást be tudja iktatni.

Ha elegendő területű iszapágy nem áll rendelkezésre, akkor szükségmegoldásként

– a folyékony iszap elszállítását mint tartalékmegoldást kell biztosítani.

38. A víztelenedett iszap eltávolítása közben a lehető legkevesebb legyen a homokveszteség, és a homokréteg tömörödését el kell kerülni. Súlyos gépek nem engedhetők a homokágyra. Nyesőgépek, iszapgyűjtő-rendszerek az ágyat határoló falakra legyenek szerelve (pl. vezetősínekre, mint a víztisztító lassúszűrők esetében), vagy az ágyak közötti útról lehessen a gépi iszapeltávolítást lebonyolítani. A homok tömörödése

– a dréneződés sebességét csökkenti,
– a víztelenítés időtartama hosszabbodik és
– az eltömődés veszélye nő.

39. A homokágyak hasznos kapacitása akkor maximalizálható, ha az iszapot, amint a kívánt víztelenítés mértékét elérte, *azonnal eltávolítják.*

40. Az iszap sohasem adagolható olyan ágyra, amely részlegesen víztelenedett iszapot tartalmaz. Gyom- és egyéb növények, melyek jelen lehetnek, eltávolítandók. Ha sok a gyomnövény, gyomirtókra lehet szükség.

41. A homokfelület sík felület legyen, a drénező hatékonysága ekkor megfelelő az ágy egész felületén.

42. Az iszap ágyra adagolását követően, a drénezőrendszert vízzel ki kell mosni, az eltömődés és a lebontódó iszap gáztermelése miatt keletkező nagy nyomásveszteségek elkerülése érdekében.

4.4.5.2. AZ ISZAPÁGY HATÉKONYSÁGA

A hatékonyság, a végső koncentráció (szárazanyag-tartalom), ami a víztelenítéssel elérhető, a következő tényezőktől függ:

– a klimatikus viszonyoktól és
– az iszap ágyon tartásának időtartamától, tehát amíg az iszapvíz zöme dréneződik, ill. elpárolog. *A hatékonyság akkor fogadható el, ha az iszap olyan mértékig víztelenedett, ami az iszap könnyű, számottevő homokveszteség nélküli eltávolítását lehetővé teszi.*

A víztelenedett iszap felülete durva repedéseket tartalmaz, fekete vagy sötétbarna színű.

Az iszapágyak jellemző hatékonyságát a *44. táblázat* érzékelteti (Kerri et al., 1989; Tortorici és Stahl, 1989).

44. táblázat. Az iszapágyak jellemző víztelenítő hatékonysága

Iszap fajtája	Terhelés, kg szuszpendált lebegőanyag/m²		Víztelenedett iszap szárazanyag-tartalma, %	Szilárd-anyag-eltávolítás, %
	fedetlen	fedett		
	iszapágy			
Rothasztott előülepített	98–170	98–220	30–70	95–99
Rothasztott utóülepített	49–98	49–122	30–50	95–99
Rothasztott előülepített + utóülepített	49–122	49–170	30–70	95–99

A dréneződött iszapvizet (filtrate) a drénrendszerben összegyűjtve, a szennyvíztisztító telep elejére kell recirkuláltatni. A dréneződött iszapvíz minősége, amint a *45. táblázat* érzékelteti (EPA, 1987), a tisztítás módjától alapvetően függ.

45. táblázat. Dréneződött iszapvíz jellemző minősége a fagyot követő olvadás után

Minőségi paraméter	Nyers fölös (utóülepített) eleveniszap	Rothasztott iszap	
		aerob	anaerob
BOI_5, mg/l (oldott)	706	722	1012
KOI, mg/l	1585	1815	3325
Szuszpendált szilárd anyag, SS, mg/l	14	17	18
Összes P, mg/l	28	46	80

Az átfogó kutatások hiánya az iszapágyas víztelenítéssel kapcsolatban nagyon szembetűnő. *Az üzemeltető* a tudomány, a technikai, gazdasági adottságok jelenlegi szintjén

– az iszap fajtáját és tulajdonságait,
– az időjárásviszonyokat,

– az iszapágy fizikai méreteit *nem képes szabályozni*, de bizonyos mértékig
– az adagolt iszapréteg vastagságát és
– a víztelenített iszapeltávolítás módját *tudja szabályozni.*

Általánosságban úgy lehet vélekedni, hogy *az üzemeltető az iszapágyak üzemének szabályozását illetően a mechanikai víztelenítő rendszerek* (pl. vákuumszűrés, centrifugás víztelenítés) *üzemeltetésével összehasonlítva, jóval nehezebb helyzetben van.* Erre, az előzőeken túlmenően, további bizonyítékok:

– a homoktartalmú (grit) iszapok *gyorsan* víztelenednek,
– zsíranyag-, kenőanyag-tartalmú iszapok *lassabban* víztelenednek,
– az idősebb iszapok a friss iszapoknál *lassabban* víztelenednek,
– előülepített iszapok az utóülepített iszapoknál *gyorsabban* víztelenednek,
– a rothasztott iszap *gyorsabban* víztelenedik, mint a friss iszap,
– a *jól* rothasztott iszap, a gázok az iszaprészecskék flotációját segítik, ezáltal „tiszta" iszapvízréteg hajlamos keletkezni, ami a homokon átdréneződik,
– a kémiai kondicionálás különösen a nehezen víztelenithető, túlterhelt iszapágyak esetében hasznos.

4.4.5.3. A HAGYOMÁNYOS ISZAPÁGYAK ÜZEMELTETÉSI HIBÁI, KIKÜSZÖBÖLÉSÜK LEHETSÉGES MÓDJAI

A hagyományos víztelenítő iszapágyak üzemeltetési hibáit, kiküszöbölésük módjait a *46. táblázat* tartalmazza (Culp et al., 1978; Kerri et al., 1989; Szombati, 1994; Öllős, 1994).

46. táblázat. A hagyományos víztelenítő iszapágyak lehetséges üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük módjai

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
1. Túlzottan hosszú víztelenítési idő	1a Alkalmazott iszapréteg túl vastag	1a Iszapréteg-vastagság (20 cm elegendő nagyságrend lehet)	1a Ha az iszap víztelenedett, el kell távolítani és a rendszert tisztítani kell. Meg kell próbálni kisebb rétegvastagságot alkalmazni
	1b Az iszap tökéletlenül tisztított homokágyra adagolt	1b Az üres ágy állapotának szemrevételezése	1b Miután az iszap víztelenedett, az iszapot és a szennyeződött iszapot el kell távolítani, és 1–2 cm vastag tiszta homokréteget kell visszahelyezni

46. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
	1c Drénrendszer eltömődött vagy a drénvezetékek törőttek	1c Drénezett iszapvíz	1c Az ágy lassú visszamosatása (tiszta vizet kell a drénrendszerbe vezetni). A homok ellenőrzése, homokpótlás, ha szükséges. A drénrendszer a fagytól védendő. Esetleg felújítás
	1d Az ágyak alulméretezettek	1d Polimeradagolás hatásai	1d Normálisan 1,5–15 kg/tonna száraz anyag kationos polimeradag a víztelenedést javítja. Egyéb kondicionálószerek lehetnek: alumínium-foszfát, ferriklorid
	1e Időjárási viszonyok	1e Levegőhőmérséklet, csapadék	1e Az ágy lefedése vagy bekerítése az időjárás ellen
2. Iszapbetápláló vezetékek eltömődtek	2. Homok (grit) és egyéb szilárd anyagok felhalmozódása a vezetékekben	2. Vezetékek üzeme	2. Az iszapadagolás megkezdésekor a tolózárat teljesen nyitva kell tartani a vezeték tisztítása céljából, majd – amennyiben szükséges – a vezetékek vízzel való mosatása
3. A rothasztóból nagyon híg iszap érkezik	3. Tölcsérszerű tér (coning) keletkezik a rothasztóban, amelyből az iszapvíz eltávozik és az iszap a rothasztóban marad	3. Rothasztó üzeme	3. Az iszapelvétel mértékét a rothasztóból csökkenteni kell
4. Legyek (flies) tenyésztődnek az iszapágyban			4. Az iszapot fel kell törni és larvicideket (bóraxot vagy kalcium-borátot) kell használni, vagy a kifejlődött egyedeket megfelelő inseksticiddel meg kell ölni

46. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
5. Szagemisszió jelentkezik az iszap adagolásakor	5. Nem megfelelő rothasztás	5. Rothasztó üzeme	5a Rothasztóüzem optimalizálása 5b Időszakos megoldásként mész adagolása az iszaphoz. A mész a szagokat ugyan szabályozhatja, de a homokot hajlamos eltömni. Jól stabilizált iszap nem okozhat szagproblémát. A szag ellen az ágyra vezetett iszaphoz kalcium-permanganát és vasklorid adagolható
6. Dréneződött iszapvíz szuszpendált szilárdanyag-tartalma jelentős	6. Szűrőágy (homokréteg) az iszap eltávolításakor megsérült, esetleg átszakadt	6. Szemrevételezés	6a Homok pótlása, a homokréteg eredeti vastagságának helyreállítása 6b Esetleg iszapkondicionálás is szóba jöhet
7. Homok szűrőréteg-eltömődés (számos telepen)	7a Szűrőréteg-regenerálás tökéletlen	7a Szemrevételezés	7a Szűrőréteg-felújítás, a homokréteg legfelső, 5–8 cm-es vastagsága eltávolítandó, majd azt új homokkal kell pótolni
	7b Iszapstabilizálás elégtelen mértékű	7b Iszap szerves-anyag-tartalma	7b Iszapkondicionálás
	7c Dréneződött iszapvíz mennyisége csökken	7c Tartalékágy léte vagy hiánya, a hibás üzemű ágyat ki kell iktatni	7c Ha tartalékágy van, a hibás üzemű ágyat párologtatás révén kell víztelleníteni
	7d Drénezett vízfelszín szintje csökken		7d Ha a c pont alatti megoldás tartalékágy hiányában nem lehetséges, az iszapot az ágyról szivattyúzással kell eltávolítani és a legfelső homokzónát tisztítani, vagy új homokkal helyettesíteni

46. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
8. Az eredeti homokágy-kapacitás elégtelenné válik	8a Megnövekedett szennyvízhozam és iszaptermelődés	8a Szennyvíztisztító telep kapacitása	8a Iszapvíztelenítő ágy területének növelése
	8b A szennyvíztisztítás közbeni vegyszeradagolás (pl. léte vagy hiánya P-eliminálás céljából) az iszap térfogatát és tömegét megnöveli; az iszap dréneződési tulajdonságai kedvezőtlenné válhatnak (pl. az alumínium-szulfát adagolása miatt). Hasonló a helyzet vassók adagolásakor	8b Szennyvíztisztítás közbeni esetleges vegyszeradagolás	8b Polielektrolitok adagolása az iszapvíztelenítés javításához
			8c Iszapvíztelenítés időtartamának növelése
			8d Iszapfelhasználás módjainak változtatása
			8e Iszapágyas víztelenítés helyett mechanikai víztelenítésre (pl. centrifugás víztelenítés) áttérés
			8f Polimer önálló vagy iszapsűrítéssel kombinált alkalmazása
9. Az iszap gyengén víztelenítődik	9a Az iszap tulajdonságai változtak	9a Iszapminősítés	9a Polimerdózis megváltoztatása
			9b Polimerfajta (időszakos) változtatása
10. Az iszapágyra vezetett iszap híg. A nagyon finom szemcséjű iszapfrakció koncentrációja nagy	10. Víztelenithetőség kedvezőtlen	10. Víztelenithetőség	10. Polimeradagolás

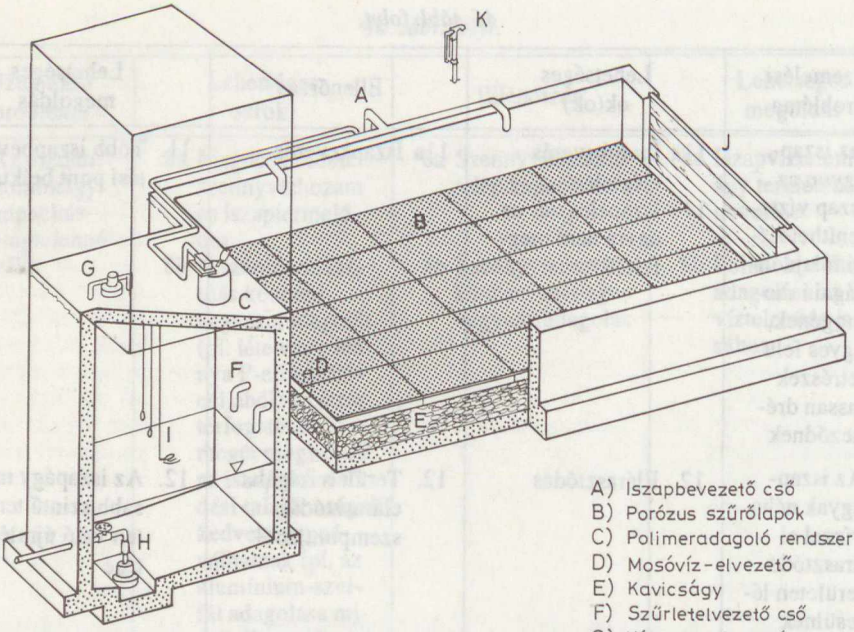
46. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
11. Az iszapágyon az iszap víztelenít hetőségi tulajdonságai inhomogének, egyes felületrészek lassan dréneződnek	11a Iszapkeverés elégtelen 11b Iszapelosztás az ágyra nem megfelelő	11a Iszapkeverés	11. Több iszapbevezetési pont beiktatása
12. Az iszapágyak néha vízzel elárasztódó területen létesülnek	12. Elárasztódás	12. Területvizsgálat elárasztódás szempontjából	12. Az iszapágy magasabb szintű területen való újralétesítése
13. Egyes iszapok egymástól nagyon eltérő időtartam alatt víztelenítődnek	13a Homoktartalom 13b Zsírtartalom, kenőanyag-tartalom 13c Iszapkor 13d Előülepített vagy utóülepített iszap 13e Rothasztott vagy friss iszap	13. Iszapminőség	13. Az iszap jó hatásfokú rothasztása nagyon fontos

(A) A vákuumágyas iszapvíztelenítő rendszer

Az eddigiekben, a 4.4.5. fejezetben tárgyalt *természetes,* hagyományos víztelenítő ágyak, amint a *85. ábra* szemlélteti, homokrétegen keresztül, gravitációs úton vezetik el az iszapvizet. A kis és közepes nagyságú szennyvíztisztító telepeken alternatív megoldásként a *vákuumágyas iszapvíztelenítő rendszer* (az RSDS-rendszer; *89. ábra;* AQUAFILTER) is elterjedt. A vákuumos iszapvíztelenítés a nagyobb telepeken a vákuumdobszűrőhöz (4.4.8.3. fejezet) és néha a szalagszűrőprés esetében, azok kezdeti víztelenítő fázisához alkalmazott. Hidraulikai szempontból az elv mindig azonos a hagyományos iszapvíztelenítő ágyak *(85. ábra)* homokrétegének szerepével: *az iszapvíz mindig porózus közegen keresztül dréneződik.*

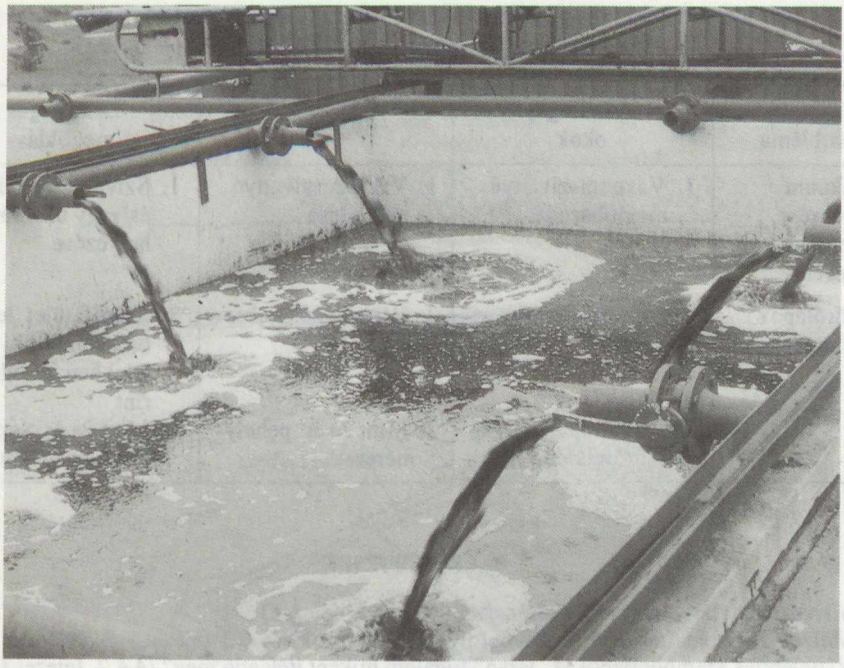
A vákuumágyas víztelenítő rendszerben az iszap az *A* jelű csővezetéken át jut a szűrőlapokra (*89. ábra;* AQUAFILTER). A kondicionáló polimer a *C* jelű adagoló csővezetéken át adagolható az iszaphoz. Az iszapágy feltöltésével egyidejűleg megkezdődik a gravitációs víztelenítés. A szűrt víz az *E* jelű drénrendszerbe,



89. ábra. Vákuumágyas iszapvíztelenítő rendszer (RSDS) működési elve

onnan a tartályba kerül. Az iszap betáplálása (*90. ábra;* AQUAFILTER) mindaddig folytatódik, amíg az ágy meg nem telik. Miután az ágyon lévő iszap víztartalma jelentősen csökken, a gravitációs üzem megszűnik, és a *G* jelű vákuumszivattyú bekapcsol. Ennek hatására a tartályban és a szűrőlapok alatti *E* jelű drénrendszerben vákuumtér jön létre, amely a víztelenítési folyamatot gyorsítja. Bizonyos idő elteltével az iszap repedezetté válik (*91. ábra;* AQUAFILTER), így a vákuumtérbe levegő kerül. A vákuumszivattyú kikapcsol, és ezzel a víztelenítési folyamat befejeződik. Megkezdődhet a szárazanyag-ágyról való letermelése és az ágyak vízzel való lemosása. A rendszer működésével egyidejűleg az *I* jelű úszóbójáik és a *H* jelű zsompszivattyú biztosítja a tartályban lévő víz megfelelő szinten tartását.

A rendszer terhelhetősége, ami az iszap fajtájától, minőségétől bizonyára függ, 180 kg száraz anyag/d nagyságrendre tehető.



90. ábra. Vákuumágyas iszapvíztelenítő rendszer feltöltése iszappal

91. ábra. Vákuumágyas iszapvíztelenítő rendszer repedezett felszíne

4.4.5.4. A VÁKUUMÁGYAS ISZAPVÍZTELENÍTÉS ÜZEMELTETÉSI HIBÁI, KIKÜSZÖBÖLÉSI MÓDJAI (Rácz Sándorné, 1994)

Üzemelési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
1. Vákuum elveszése üzemelés közben	1. Vákuumszivattyú meghibásodása	1. Vákuumszivattyú működése	1. Szivattyú javítása és/vagy üzembe helyezése
2. Szűrőlapok eltömődése	2a Szűrőfelület elzsírosodása	2a Víztelenítés sebessége	2a Szűrőfelület letisztítása a műszaki feltételekben leírtak szerint
	2b Pelyhesítetlen iszap szűrőfelületre jutása	2b Mint 2a és pehelyméret	2b Mint 2a és vegyszeradagolás beállítása

4.4.5.5. KÉRDÉSEK

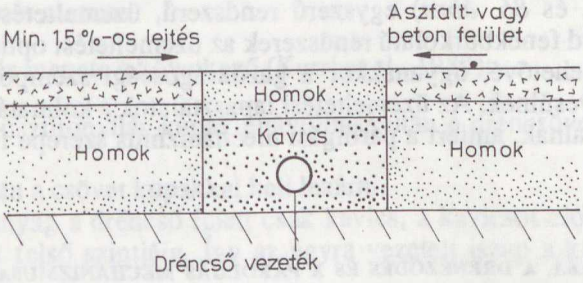
1. Mi a szennyvíziszap víztelenítésének célja? (4.4.1. fejezet.)
2. Melyek a víztelenítési eljárásokat befolyásoló tényezők? (4.4.2. fejezet.)
3. Víztelenítés szempontjából az „iszap" fogalom miként ítélendő meg? (4.4.2. fejezet.)
4. Mi a telepnagyság befolyása a víztelenítési eljárásra? (4.4.3. fejezet.)
5. Az alternatív iszapvíztelenítő eljárások összehasonlítása. (4.4.4. fejezet; *42. táblázat.*)
6. Melyek a természetes víztelenítési eljárások? (4.4.4. fejezet.)
7. Milyen tisztítótelepeken alkalmazhatók elsősorban a természetes víztelenítési eljárások? (4.4.4. fejezet.)
8. Milyen mértékű víztelenítés érhető el a természetes eljárásokkal? (4.4.5. fejezet.)
9. Milyen kialakítású a hagyományos (homok) iszapágy? (4.4.5. fejezet.)
10. Hogy üzemeltethető az iszapágy? (4.4.5. fejezet.)
11. Melyek az iszap ágyról való eltávolításának módjai, előnyeik, hátrányaik? (4.4.5. fejezet.)
12. Melyek az iszapággyal kapcsolatos üzemeltetési tapasztalatok? (4.4.5.1. fejezet.)
13. Mely esetekben kell szagemisszióra számítani iszapágy esetében? (4.4.5.1. fejezet.)
14. Miért jelentkezik homok-, ill. kavicsveszteség az ágyas víztelenítéskor? (4.4.5.1. fejezet.)
15. Milyen megoldás választható, ha az iszapágy kapacitása elégtelenné válik? (4.4.5.1. fejezet.)
16. Mi a polimer szerepe iszapágyas víztelenítéskor? (4.4.5. fejezet.)
17. Mi a működési elve a vákuumágyas iszapvíztelenítő rendszernek? [4.4.5.3. (A) fejezet.]
18. Miként alakul az iszapágyak hatékonysága? (4.4.5.2. fejezet; *44. táblázat.*)
19. Mitől függ a dréneződött iszapvíz minősége? (4.4.5.2. fejezet; *45. táblázat.*)
20. Az iszap milyen feltételek mellett adagolható az iszapágyra? (4.4.5.1. fejezet.)
21. Melyek a homok víztelenítő ágyak jellemző üzemeltetési hibái? (4.4.5.3. fejezet.)

4.4.6. SZILÁRD FENÉKBURKOLATÚ ISZAPÁGYAK

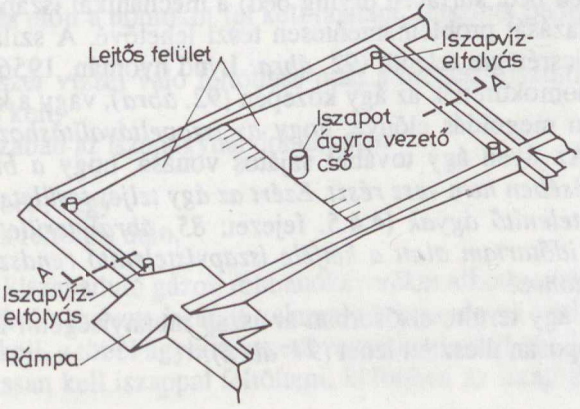
A szilárd fenékburkolatú iszapágyak *két fajtája fejlődött ki:*

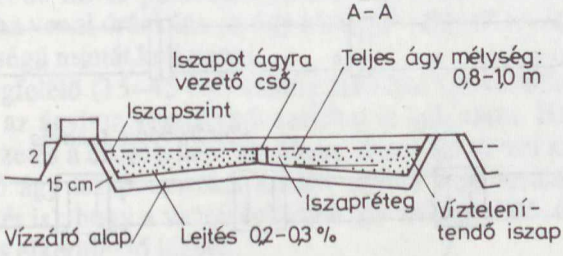
1. Az egyik esetben a víztelenítő mechanizmusok

– a dréneződés *(92. ábra)* és
– a párolgás.



92. ábra. Jellemző szilárd burkolatú iszapvíztelenítő ágy





93. ábra. Iszavízelfolyást és -párolgást biztosító szilárd burkolatú iszapágy

2. A másik esetben a gravitációs dréneződés nem érvényesül. A fő víztelenítő mechanizmusok

– az iszapágy felett, mint az iszapvíztelenítő lagúna felett, összegyűlő iszapvíz elfolyásának biztosítása (decantation) és
– a párolgás *(93. ábra).*

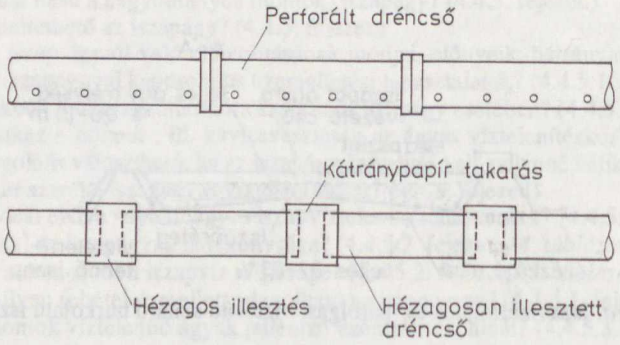
Az üzemeltető figyelje a fejlődést és annak okait. Annál is inkább, hiszen *a fejlődés az üzemeltetési tapasztalatokból ered.* A hagyományos, homok iszapvízte-

lenítő ágy (*85. és 86. ábra*) egyszerű rendszerű, üzemeltetése azonban nem ideális. A szilárd fenékburkolatú rendszerek az üzemeltetést optimalizáltabb formában teszik lehetővé, ugyanakkor a gazdaságossági szempontok is hatékonyabban érvényesülnek. Az üzemeltetési tapasztalatok a kolmatáció dréneződést gátló voltára utalnak, amiért a párolgási mechanizmus szerepe fontosabbá válik (Juhász, 1994).

4.4.6.1. A DRÉNEZŐDÉS ÉS A PÁROLGÁS MECHANIZMUSAIN ALAPULÓ SZILÁRD BURKOLATÚ ISZAPÁGY

Célja, kialakítása. A szilárd fenékburkolatú (aszfalt vagy beton) iszapvíztelenítő ágy (paved bed, surfaced drying bed) a mechanikai iszapeltávolító berendezések alkalmazását problémamentesen teszi lehetővé. A szilárd burkolat homok- vagy kavicsrétegre települ (*92. ábra;* Lynd nyomán, 1956). A burkolatlan felületek mint homokdrének az ágy közepén *(92. ábra)*, vagy a kerületén helyezkednek el. Ezen megoldás előnye, hogy *az iszapeltávolításhoz nehéz gépek is használhatók.* Az ilyen ágy további sajátos vonása, hogy *a burkolt felület az iszapvíz drénezésében nem vesz részt. Ezért az ágy teljes területe a hagyományos homok iszapvíztelenítő ágyak* (4.4.5. fejezet; *85. ábra*) *területéhez képest nagyobb. Azonos időtartam alatt a kétféle iszapvíztelenítő rendszer teljesítménye csak így lehet azonos.*

A víztelenítő ágy terülte elsősorban az iszap mennyiségétől függ. A cső perforált vagy hézagosan illesztett lehet *(94. ábra).*



94. ábra. Szilárd burkolatú iszapvíztelenítő rendszer dréncső-kialakítási lehetőségei

A drénező feladattal rendelkező szilárd burkolat nélküli terület, amely a szilárd anyagok kiszűrésére homok- és/vagy kavicsréteggel töltött, 0,6–1,0 m széles, ami vagy középre, vagy oldalra kerül. Tetővel vagy a nélkül létesíthetők.

(A) Az üzemeltetés menete

Az üzemeltetés menete a következő (Kerri et al., 1989):

1. A dréncső tisztítónyílás-kupak eltávolítása után a dréncsövet vízzel ki kell mosatni.
2. Mosatás után a csövet kupakkal kell lezárni.
3. Ha a drénanyag a dréncső felett csak kavics, a kavicsot először vízzel kell feltölteni, annak felső szintjéig. Így az ágyra vezetett iszap a kavicshézagokba nem hatol be.
4. Ha a dréncső feletti teret kavicsréteg, felette pedig homokréteg tölti ki *(92. ábra)*, akkor a drénező teret a rothasztott iszap ágyra vezetése előtt vízzel nem kell feltölteni (Rolan, 1980).
5. Iszapfeltöltés előtt a homokot fel kell lazítani, felszínét pedig simára gereblyézni.
6. A drénrendszer vízzel való feltöltése után a dréncső tisztítónyílásának zárt voltát ellenőrizni kell.
7. Soha nem szabad az iszapágynál dohányozni

– feltöltés közben, vagy
– közvetlenül a feltöltés után,

mert az iszapból kiszabaduló gázok robbanókeveréket alkothatnak.

8. A rothasztóból elszívott iszapot valamelyik iszapágyra kell vezetni, annak vezetékét nyitni kell, a többi ágyhoz vezető vezetéket le kell zárni.
9. Az ágyat lassan kell iszappal feltölteni, különben az iszap eloszlása egyenlőtlen.
10. Az iszapadagolás kezdetét követően 30 min után 100–200 ml-nyi iszapmintát kell venni 1000 ml-es pohárban. További 100–200 ml iszapmintát kell ugyanabba a pohárba venni óránként, az ágy iszappal való töltési ideje alatt. Mindig azonos mennyiségű mintát kell venni.
11. Az ágyat megfelelő (15–45 cm) szintig feltöltve (az oldalfal mellett mérve), a rothasztóból az ágyhoz vezető csővezetéket le kell zárni. Ha legalább egy hétig újabb iszapvezetés a csőben nem esedékes, akkor azt vízzel ki kell mosatni.
12. A feltöltendő ágy iszapvezetékét mindig nyitva kell tartani (és más üres ágyak iszapvezetékét is), hogy a vezetékekben a gáz akkumulálódása és az ebből származó károsodás elkerülhető legyen.
13. Az iszapágybeli víztelenítendő iszapot az 1000 ml-es pohárban össze kell keverni. 200–300 ml-nyi iszapot azonban laboratóriumi vizsgálatok céljára a pohárból ki kell önteni. A poharat, a még benne maradt iszappal az iszapágy oldalfala tetejére kell helyezni. Ha a telepen 24 órás felügyelet van, akkor *egy üzemeltető a poharat óránként ellenőrizze, figyelve az iszapvíz–iszap szeparálódás szintjét.*
14. *A víz–iszap szeparálódás rendszerint az iszap ágyra kerülése után 12–24 óra múlva jelentkezik. Az iszap a felszínre emelkedik, és alatta 10–40 térfogatszázaléknyi víz marad hátra.* Ekkor a drénvizet elvezető vezeték tolózárát részlegesen ki kell nyitni, hogy a már dréneződött víz elvezethető legyen.

15. A mintapoharat ekkor a laboratóriumba vissza kell vinni. A víz–iszap szeparálódás néhány óránál nem tart tovább, mert az iszap a pohár fenekére ülepszik. Közben az iszapvíz nagy része az iszapba jut vissza, vagy az iszapréteg felszínére emelkedik, ahol összefüggő vízfelületet alkot. *Ennek a felszínen összegyülekező víznek az elpárolgásához hosszú idő kell.*

16. Az iszapvíztelenedés gyorsítása céljából, amikor az iszapminta a víz–iszap szeparálódását jelzi, a drénvezeték tolózárát ki kell nyitni. *Ez az üzemeltetési mód az iszapágy iszaptérfogatát a víztelenítés első napja alatt kb. 30%-kal csökkenti.*

17. Az iszap víztelenítése tovább gyorsítható, miután kéreg képződik az iszapréteg felszínén, és az elkezd repedezni. Ekkor az iszapágyon mozgó berendezéssel a kérget fel kell törni, össze kell keverni, hogy az „új iszap" felszíni párologtatása érvényesülhessen (Montgomery, 1984).

18. Az iszapot víztelenedése után el kell távolítani, vigyázva, hogy az iszapkaparó gép üzemeltetője a drénezőfelületen a géppel ne közlekedjen, különben a drénező homok-, kavicsréteg, ill. dréncső károsodhat.

19. Az üzemeltető számára fontos szabályok:

– ismerje a szóban forgó víztelenítési mód üzemeltetési mechanizmusait,
– biztosítsa, hogy az iszapkondicionálás optimális legyen,
– az ágyra vezetett iszap legyen sűrű és állandó tulajdonságú.

4.4.6.2. AZ ISZAPVÍZELFOLYÁS ÉS A PÁROLGÁS MECHANIZMUSAIN ALAPULÓ SZILÁRD FENÉKBURKOLATÚ ISZAPÁGY

Ez esetben a traktorra szerelt vízszintes szállítócsiga, vagy egyéb berendezés, a víztelenítendő iszapot *rendszeresen*

– *keveri* és így egyidejűleg
– levegőzteti is (Lynd, 1956; Montgomery, 1984).

A keverés és levegőztetés az iszapfelszín kérgesedett részét (ami a párolgást akadályozza) feltöri, *így a hagyományos homokágyénál gyorsabb víztelenedés érhető el.*

A leggazdaságosabb az ágy teljes fenekének vízzáró burkolattal való kialakítása, ami

– az iszapvíz elfolyását és
– a mechanikai keverést/levegőztetést

egyaránt lehetővé teszi (*93. ábra;* EPA, 1987 nyomán). Tekintettel arra, hogy ezen eljárás esetében a párolgás szerepe jelentős, alkalmazása elsősorban az arid és a szemiarid területeken kedvező.

(A) Üzemeltetési tapasztalatok

1. Terhelése pl. 244 kg/m^2 (a Rosvell telepen, New Mexico), 127 kg/m^2 (a Wichita telepen), nedves klíma alatt ennél kisebb lehet (USEPA, 1977a).

2. Az iszapvíz elfolyásos elvezetése révén egyes iszapok esetében *20–30% víztartalom-csökkenés érhető el.*

3. Az igényelt teljes ágyterület legalább három ágyra osztandó.

4. Hosszabb, négyszögletes ágy a keverő/levegőztető jármű üzemét kedvezővé teszi.

5. A maximális iszapréteg 0,8–1,0 m lehet.

6. Csak rothasztott vagy egyéb módon stabilizált iszap adagolható az ágyra a szagemisszió elkerülése céljából.

7. Az iszapvíz-elfolyási fázis 2–3 nap lehet (miközben az ülepedés lejátszódik), majd minden további iszapadagolásnál 1–2 nap (az iszap tulajdonságaitól függően).

8. Arid területen 30–40 nap alatt 40–50%-os szárazanyag-tartalom érhető el (30 cm iszaprétegre nézve), az évszaktól és az iszapvízelfolyás hatékonyságától függően (Lynd, 1956).

9. Azonos klimatikus viszonyok mellett, 1 m vastag iszapréteg esetében 100–250 nap szükséges az 50%-os szárazanyag-tartalom eléréséhez (attól függően, hogy az iszapot mely időszak(ok)ban adagolták az ágyra).

10. Az iszapot az optimális párolgás biztosítása érdekében *hetente többször célszerű feltúrni.*

11. Téli, fagyos időszakban a tolózárakat, szivattyúkat védeni kell és periodikus ellenőrzést igényelnek.

12. Az előzőek az üzemeltető számára érzékeltetik, hogy *a víztelenítő iszapágyak kialakításával és üzemeltetésével kapcsolatos eddigi hagyományos, megcsontosodott szemléletet, szokásokat, gazdasági szemléletet meg lehet és meg is kell változtatni. A múltban különösen nagy értéknek tekintett természetes folyamatok hatékonyságát, a víztelenítő rendszer kapacitását, bizonyos mértékig mesterséges beavatkozásokkal érdemes befolyásolni. Az ilyen irányú kutatás-fejlesztés tipikusan üzemeltetői feladat.*

4.4.6.3. KÉRDÉSEK

1. Mi az eltérés a szilárd fenékburkolatú iszapágyak és a hagyományos iszapágyak között? (4.4.6. fejezet; *92. ábra.*)
2. A víztelenített iszap miként távolítható el? (4.4.6. fejezet.)
3. Melyek a szilárd fenékburkolatú iszapágyak fajtái? (4.4.6. fejezet.)
4. Ideális-e a hagyományos iszapágy a víztelendett iszapeltávolítás szempontjából? (4.4.6. fejezet.)
5. Miként üzemeltethetők a dréneződést és a párolgást biztosító fenékburkolatú ágyak? [4.4.6.1. (A) fejezet; *92. ábra.*]
6. Miként üzemeltethetők az iszapvízelfolyást és a párolgást biztosító szilárd fenékburkolatú ágyak? [4.4.6.2. (A) fejezet; *93. ábra.*]

4.4.7. ISZAPLAGÚNA

Az iszaplagúnák két fajtája ismert:

1. *iszapvíztelenítő lagúna* (sludge *drying* lagoon) és

2. *elsősorban a tározás céljait szolgáló fakultatív iszaplagúna* (sludge lagoon; facultative sludge *storage* lagoon). Bizonyos mértékig az iszaplagúna is víztelenít, de elsődleges célja az időszakos vagy az állandó tározás.

A következőkben a velük kapcsolatos eddig kialakult üzemeltetési tapasztalatokat tekintjük át. Ma már alkalmazhatóságuk sok esetben vitatott, mégis terjednek. Ezért kívánatos, hogy az üzemeltetők (beruházók és tervezők) megfelelő ismeretekkel rendelkezzenek. *Állásfoglalásaik így lehetnek mértékadók.*

Az iszapvíztelenítő lagúnák az iszapvíztelenítő ágyak alternatívái lehetnek, ha elegendő és gazdaságos földterület áll rendelkezésre (USEPA, 1977e). Az iszapvíztelenítő lagúnák a vastag (mély), homok iszapvíztelenítő ágyakhoz több szempontból hasonlók, kotlátozott dréneződési lehetőséggel. A fő különbségek:

– *az iszapvíztelenítő lagúna elsődleges mechanizmusa a párolgás és a transpiráció,*

– *az iszapréteg vastagsága 3–4-szer nagyobb, mint az iszapvíztelenítő ágy esetében.*

– A dréneződés általi víztelenedés (ha biztosított) – úgy tűnik – a lagúnabeli iszapréteg vastagságától független. A dréneződés önmagában az iszap könnyű eltávolítására alkalmas nedvességű iszapot nem képes biztosítani (Jeffrey, 1959, 1960).

– Iszapvíztelenítő lagúnában rendszerint a párolgás és a felszíni iszapvízelvezetés a domináns iszapvíz-eliminálódási lehetőségek; még akkor is ez a helyzet, ha alul drénrendszer létezik.

– Az iszapvíztelenítő lagúnából el kell távolítani
  – az iszap nedvességtartalmának szándékolt hányadát, plusz
  – az iszaptömegbe beszivárgó csapadékvizet.

– Az iszap a lagúnában víztelenedik és szárad a kívánt 20–40%-os szilárdanyag-koncentráció eléréséig, amihez *1–3 év lehet szükséges* (a helyi időjárástól, az alkalmazott iszapréteg-vastagságtól és a menedzselési gyakorlattól függően).

– A lagúna pihentetése (új iszap beleadagolása nélkül) 3–6 hónapig tart. Ezt követően az új ciklus megkezdhető.

– A lagúna szilárdanyag-terhelése 36–39 kg/m^3 lagúnatérfogat.

– Minimálisan két lagúnacella kialakítása szükséges, hogy a tisztítás, fenntartás vagy havária idején is elegendő tározótér álljon rendelkezésre.

(A) Az üzemeltetési ciklus

Az iszapvíztelenítő lagúnák jellemző üzemeltetési ciklusa a következő műveleteket foglalja magába (EPA, 1979).

1. Nagyon jól stabilizált (pl. anaerob rothasztású) iszapot kell a lagúnába szivattyúzni, hónapokon vagy annál is hosszabb időn át, addig, amíg a lagúnabeli iszapréteg vastagsága a 0,7–1,4 m vastagságot eléri. A lagúnák alkalmatlanok a stabilizálatlan iszapok, mésszel kezelt iszapok és a nagyon szennyezett iszapvizű iszapok befogadására, különben időszakonként a száraz és nedves időszakok váltakozása alatt szagemisszió, a környezetet kellemetlenné tevő hatások (szúnyogok, legyek) jelentkeznek, ezért a lagúna távolabbi helyre telepítése ajánlatos.

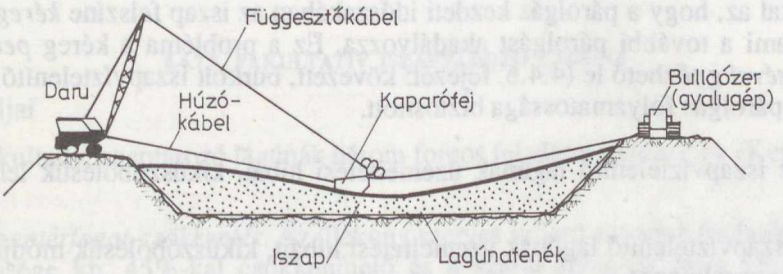
2. A lagúna felszínén kialakuló iszapvízréteget folyamatosan vagy szakaszosan rendszerint el kell távolítani, és a szennyvíztisztító telep elejére kell visszavezetni. Az iszapvíz elvételére például különböző szinteken üzemeltethető aknabukók (nyílások) alkalmasak.

3. Az iszappal való töltést és az iszapvízelvételi műveleteket addig kell folytatni, amíg a lagúnabeli iszapréteg tervezett vastagsága és térfogata létrejön. Ezen végső időszakban az iszapréteg felett már nincs iszapvíz és a párolgás válik uralkodó, szárító mechanizmussá.

4. Az iszap kérgesedett felső részét ismételten fel kell törni és/vagy el kell távolítani a száraz időszakban.

5. A 25–30% szárazanyag-tartalmú, víztelenedett iszapot valamilyen típusú mechanikai berendezéssel (*95. ábra;* EPA, 1987 nyomán) kell eltávolítani. Az ábra nagyméretű telepre vonatkozik.

6. A fenntartást és a javítást a lagúna üres állapotában kell beiktatni. Ezt követően az újbóli feltöltés megkezdhető.



95. ábra. Kábel- és kaparórendszerű iszapeltávolítás iszapvíztelenítő lagúna esetében

(B) Az üzemeltetést befolyásoló tényezők

1. Minthogy *a lagúnában az iszap víztelenítése elsősorban a párolgáson nyugszik,* ezért a klimatikus információk ismerete alapvető:

– csapadékmennyiség (évi és szezonális eloszlása),
– párolgás mennyisége (évi átlag, tartomány, szezonális ingadozás),
– hőmérsékleti szélsőségek.

2. A lagúna alatti talaj vízáteresztő képessége legfeljebb mérsékelt legyen, $k = 4{,}2 \cdot 10^{-4} - 1{,}4 \cdot 10^{-3}$ cm/s.

3. A lagúna alatti talajvízfelszín mélysége, annak ingadozása nagy körültekintést igényel, esetleg a lagúnatelepítést is lehetetlenné teszi.

4. A lagúnába vezetett iszap a szag- és a vektorproblémákat jelentősen befolyásolja. Ezért az a nézet, hogy csak az anaerob rothasztású iszapot szabad a lagúnába vezetni.

5. A lagúna mélységét és területét

– a csapadékok,
– a párolgás,
– az iszap fajtája,
– az iszap térfogata és
– szilárdanyag-tartalma

befolyásolja. Az üzemeltetőnek *ebben a hatásrendszerben kell gondolkodni.*

6. A lagúnák tetszőleges alakúak lehetnek, de a négyszög alaprajzú alak a legcélszerűbb az iszapeltávolítás szempontjából. A lagúna földrézsűinek hajlása 1:3 (függőleges a vízszinteshez), és az üzemeltetés követelményeit (egyszerű fenn-

tartás, mozgáslehetőség, járművek behajtása és kijárása a lagúnából stb.) ki kell elégítenie. Az elávolított iszapvizet a tisztítótelepre kell vezetni.

7. Szükséges berendezések:

– iszapbetápláló csőrendszer,
– szivattyúk,
– iszapvízeltávolító vezetékek,
– iszapeltávolító berendezések *(95. ábra)*.

8. A víztelenítő lagúnák közös üzemeltetési problémája a víztelenítő iszapágyakkal az, hogy a párolgás kezdeti időszakában az iszap felszíne *kéregszerűvé válik*, ami a további párolgást akadályozza. Ez a probléma a kéreg *periodikus feltörésével* győzhető le (4.4.6. fejezet: kövezett, burkolt iszapvíztelenítő ágyak), s így a párolgás folyamatossága biztosított.

(C) Az iszapvíztelenítő lagúnák üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük lehetséges módjai

Az iszapvíztelenítő lagúnák üzemeltetési hibáit, kiküszöbölésük módjait a *47. táblázat* tartalmazza.

47. táblázat. Az iszapvíztelenítő lagúnák lehetséges üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük módjai

Üzemelési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
1. Szagemisszió, legyek, szúnyogok	1. Iszap tökélelen stabilizálása	1. Iszapminőség	1a Stabilizált iszap-rávezetés a lagúnába 1b A lagúna távolabbi elhelyezése (ha a probléma nem oldható meg)
2. Az iszapfelszínen kéregbevonat képződik a párolgás kezdeti időszakában	2. A folyamat velejárója meleg, csapadékmentes időszakban	2. Szemrevételezés	2. A kéreg periodikus feltörése, így az intenzív párolgás biztosítható
3. A lagúna alatt az iszapvíz dréneződik	3. Lagúna alatti talaj vízáteresztő képessége mérsékelt vagy annál is nagyobb, így az iszapvíz lefelé dréneződhet	3. Lagúna alatti, ill. környezetében lévő talajvíz áteresztőképességének mértéke	3. Növényzetvédelmi, talajvízminőség-védelmi szempontból a lagúna alatt vízzáró felületet kell kialakítani, különben a lagúna nem létesíthető (hiszen a talajvíz vízellátás céljára alkalmatlanná válhat)

4.4.7.2. KÉRDÉSEK

1. Melyek az iszaplagúnák fajtái? (4.4.7. fejezet.)
2. Az iszapvíztelenítő lagúna kialakítása. (4.4.7.1. fejezet.)
3. Miként kell az iszapvíztelenítő lagúnát üzemeltetni? [4.4.7.1. (A) fejezet.]
4. Miként távolítható el az iszap az iszapvíztelenítő lagúnából? [4.4.7.1. (A) fejezet.]
5. Milyen tényezők befolyásolják az üzemeltetést? [4.4.7.1. (B) fejezet.]
6. Miként kell az iszap felszínén keletkező kérget megszüntetni? [4.4.7.1. (C) fejezet; *49. táblázat.*]
7. Melyek az iszapvíztelenítő lagúnák jellemző üzemeltetési hibái? [4.4.7.1. (C) fejezet.]

4.4.7.3. FAKULTATÍV ISZAPTÁROZÓ LAGÚNA

(A) Céljai

A fakultatív iszaptározó lagúnák három fontos feladatot töltenek be (Kerri et al., 1989):

1. *Iszaptérfogat-csökkentés.* Az illékony szerves szilárd anyagok (volatile solids) mennyisége kb. 45%-kal csökkenthető és a szárazanyag-tartalom 2%-ról 8% nagyságrendre növelhető. A lagúna fenekén az iszapkoncentráció 25%-os szárazanyag-tartalmú is lehet.

2. *Tározáskiegyenlítés.* A tározás gyakran szükséges, amikor

– az iszap termelődése *folyamatos,*
– az iszap elhelyezési, hasznosítási lehetőségei azonban az évszakok szerint változnak.

3. *További stabilizálás.* Az anaerob rothasztású iszap a tározólagúnában az anaerob biológiai aktivitás révén tovább stabilizálódik.

Az iszaptározó lagúnából, a homokágytól eltérően, lefelé irányuló gravitációs dréneződés nincs. A víztelenítést

– az iszapvíz- (és csapadékvíz-) elfolyás (-elvétel) és
– a párolgás

biztosítja.

(B) Környezetvédelmi vonatkozások

Az iszaptározó lagúnák kezdeti elterjedésének akadályai az üzemeltető (beruházó és tervező) számára nagyon tanulságosak. Az „iszaplagúna" fogalom felvetése gyakran elég volt ahhoz, hogy az *alternatíva analízisekben* ne is szerepeltessék. *Az „iszapot" azonban nem lehet a „természetre bízni", kapcsolatukat tudományos alapokon kell tervezni és az üzemeltetés tudományos alapokon nyugvó játékszabályait is meg kell ismerni, azokat következetesen érvényre kell juttatni.* Nagy tanulság az üzemeltetők számára is (amint számos egyéb, a környezetvédelemmel és a gazdaságossággal kapcsolatos probléma is). *Tudományos alapok nélkül sem tervezni, sem üzemeltetni nem lehet, a jövőben ez egyre kevésbé engedhető meg.*

A tudomány és az üzemeltetési tapasztalatok jelenlegi szintjén a tározólagúnák

– már környezetvédelmi szempontból is elfogadhatóan tervezhetők, üzemeltethetők és ugyanakkor

– gazdasági hatékonyságuk is megmaradt, ill. megteremtődött (Sacramento Area Consultants, 1975, 1979).

(C) Előnyök, korlátok

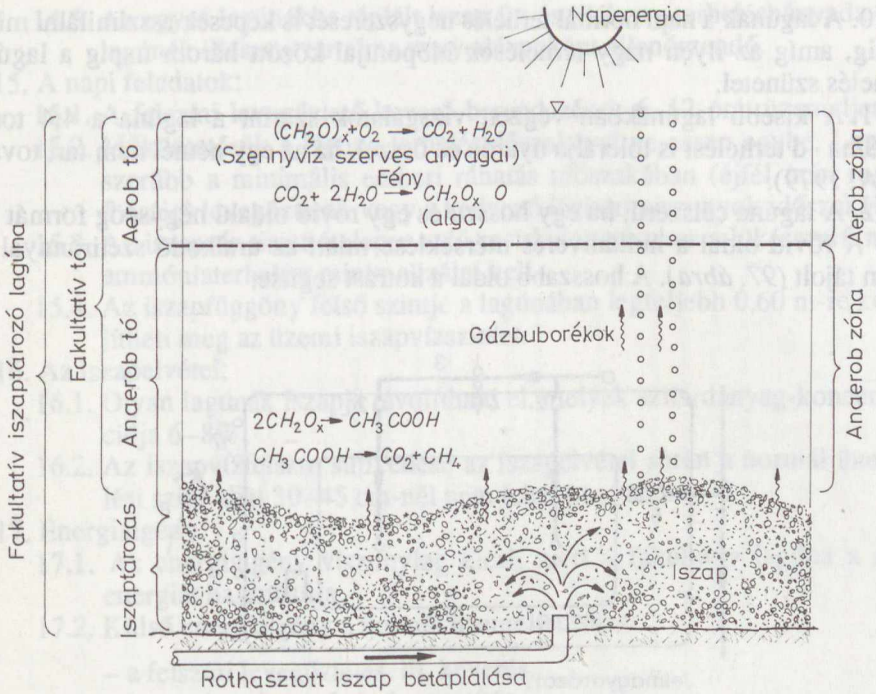
A hosszú idejű fakultatív tározó előnyei és korlátai a *48. táblázat*ban értelmezhetők (EPA, 1979; USEPA, 1977e).

48. táblázat. A fakultatív tározó előnyei és korlátai

Előnyök	Korlátok
1. Hosszú idejű iszaptározást tesz lehetővé, elfogadható környezeti hatásokkal (szagemisszió, talajvíz-szennyeződés)	1. Csak anaerob iszapstabilizációt követően létesíthető. Ha a rothasztás savas fázisa uralkodó a lagúnában, az szagemissziót eredményez
2. Anaerob stabilizálódás folytatódik, az első évben az illékony szilárdanyag-csökkenés 45% nagyságrendű	2. Területigény nagy. Például 6–8 ha 438 l/s tisztítótelepi kapacitás, 80 ha 6000 l/s eleveniszapos telepeken
3. Az iszapvízelfolyás lebegőanyag-koncentrációja rendszerint <500 mg/l	3. Csapadékelárasztódástól védeni kell
4. A hosszú idejű iszapvíztározás egyike azon természetes (külső energiát nem igénylő) folyamatoknak, melynek révén a patogén szervezetek csökkennek	4. Az iszapvíz 300–600 mg/l TKN-koncentrációt, főleg ammóniát tartalmaz
5. Az energia- és üzemeltetési követelmények nagyon minimálisak	5. Magnézium-ammónia-foszfát-lerakódások speciális iszapvíztervezést igényelnek
6. Ha a lagúna feltöltődött, kiegyenlítő kapacitása szinte lehetetlen hogy felboruljon	
7. A rothasztó, időszakos tisztítása idején, környezetvédelmi szempontból elfogadható iszapelhelyezést biztosít	
8. Az iszap eltávolítása a lagúnából az iszaptermelődéstől független	

(D) Üzemeltetési tapasztalatok

1. A fakultatív iszaptározó lagúna működési, tisztítási, tározási elve a *96. ábrán* értelmezhető. A lagúna felső része aerob zóna (tó, pond), alatta az anaerob zóna (tó, pond), legalul az iszaptározó zóna (sludge storage) található. Az aerob és anaerob zóna tószerű, *együttesen* az összetett tisztítási mechanizmus miatt fakultatív tónak tekinthető. Az aerob, anaerob zónát és az iszaptározó zónát *együttesen fakultatív iszaptározó lagúna* elnevezés illeti meg.



96. ábra. Fakultatív iszaptározó lagúna működési elve

2. Az aerob zóna 0,3–0,9 m vastag. Benne rendkívül nagy 50×10^3–6×10^6 algaszervezet/ml koncentráció létezik, zömük *Chorella*. Az anaerob zónában az algabaktérium szimbiózis a 7,5<pH<8,5 feltételt biztosítja. *Ez a hidrogén-szulfid (H_2S) légtérbe diffundálását hatékonyan minimalizálja, ami egyik fontos tényező a fakultatív iszaptározó lagúna környezetvédelmi szempontból is elfogadható, sikeres működtetéséhez.*

3. A rothasztott, lagúnába táplált iszaprészecskék az aerob zónából a legalsó, tározó zónába ülepszenek, ahol anaerob lebontódásuk folytatódik.

4. Az iszapvizet az aerob zónából periodikusan a szennyvíztisztító telep elejére recirkuláltatják.

5. Az aerob zónát *naponta több órán át* felszíni berendezésekkel keverik, ill. levegőztetik. Ezáltal az aerob állapotot fenntartva, a zavaró szagemisszió kiküszöbölhető. Ezért nem lehet a lagúnát csak a természetre bízni.

6. A lagúna terhelése 0,1–0,25 kg illékony szuszpendált szilárd szerves anyag, $VSS/m^2 \cdot d$ (vagy 1,0 tonna VSS/ha · d).

7. A fakultatív iszaptározó lagúna teljes mélysége 3–5 m.

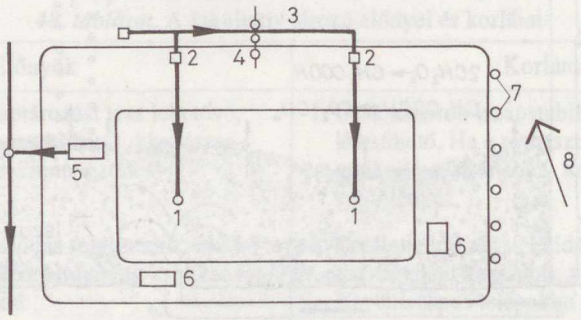
8. Elegendő számú (kazetta) lagúna létesítendő, mert minden lagúna kb. hat hónapi üzemen kívül tartását biztosítani kell.

9. A stabilizált és sűrített iszap úszó berendezésre telepített iszapszivattyúval távolítható el, vagy megvárják, amíg kiszárad.

10. A lagúnák a napi normál terhelés négyszeresét is képesek asszimilálni mindaddig, amíg az ilyen nagy terhelések időpontjai között három napig a lagúnaterhelés szünetel.

11. A kisebb lagúnákban végzett vizsgálatok szerint a lagúna a 4,4 tonna VSS/ha · d terhelést is tolerálja nyáron és ősszel, ha az egy hétnél nem tart tovább (EPA, 1979).

12. A lagúna célszerű, ha egy hosszú és egy rövid oldalú négyszög formát követ. A rövid oldal a hullámverés mérséklése miatt az uralkodó széliránnyal legyen tájolt *(97. ábra)*. A hosszabb oldal a kotrást segítse.



Jelmagyarázat:

1 rothasztott iszap betáplálás
2 automatikus szabályozó tolózár
3 rothasztott iszap vezeték
4 iszapelvezető tolózárak
5 iszapvíz-túlfolyó
6 felszíni keverő, ill. levegőztető
7 iszapeltávolító kotró horgonyhely
8 uralkodó szélirány

97. ábra. Fakultatív iszaptározó lagúna jellemző helyszínrajza

13. A lagúna beindítása:
    13.1. Először a biológiai tisztítótelepről elfolyó szennyvízzel kell feltölteni.
    13.2. Ezt a lagúnát feltöltő tisztított szennyvizet három-hat hétig a lagúnában kell tartani avégből, hogy a rothasztott iszap bevezetését megelőzően aerob felszíni réteg alakulhasson ki.
14. A lagúna terhelése:
    14.1. Minden lagúnakazetta naponta terhelendő. A lagúnakazetták terhelése egyenletes legyen.
    14.2. A terhelést 1,0 tonna VSS/ha · d alatt kell tartani.
    14.3. A rendszer a terhelésingadozást eléggé tolerálja.
    14.4. A lagúna kedvező atmoszferikus körülmények időszakában terhelendő. Ez különösen a talajfelszínhez közeli légtérre vonatkozik. *Így a szagdiszperzió maximálható.*

14.5. Az egyes lagúnákba táplált iszap fix és illékony terheléshányada és a lagúnák illékony tartalma negyedévenként ellenőrzendő.

15. A napi feladatok:

15.1. A felszíni levegőztető-keverő berendezések 6–12 órát üzemeljenek.

15.2. Működtetésük a lagúna terhelésidőszakával ne essen egybe. Legcélszerűbb a minimális emberi ráhatás időszakában (éjfél után reggel 5 óráig) levegőztetni, vagy a kedvező légköri viszonyok időszakában.

15.3. Az iszapvíz tisztítótelepre való recirkuláltatásakor a lökésszerű nagy ammóniaterhelést minimalizálni kell.

15.4. Az iszapfüggöny felső szintje a lagúnában legfeljebb 0,60 m-re közelítheti meg az üzemi iszapvízszintet.

16. Az iszapelvétel:

16.1. Olyan lagúnák iszapja távolítható el, melyek szilárdanyag-koncentrációja 6–8%.

16.2. Az iszapvízfelszín süllyedése az iszapelvétel során a normál üzemelési szint alatt 30–45 cm-nél nem lehet nagyobb.

17. Energiaigény:

17.1. Az energiaigény viszonylag kicsi, mert a fakultatív lagúna a napenergiát hasznosítja.

17.2. Külső energiaigény a normál üzemeltetéshez:

– a felszíni levegőztetés, ill. keverés,
– iszapvíz-szivattyúzás és -tisztítás,
– az iszapbetáplálás és iszapelvétel.

18. A lagúna üzemeltetésére például általános közelítő javaslat:

18.1. a ciklusidő 3 év,

18.2. iszapbetáplálás 1 éven át,

18.3. iszapvíztelenítés 18 hónapon át,

18.4. a lagúna kitisztítása, pihentetése 6 hónapon át.

19. Az üzemeltető fő *rendszerfeladata* az iszap

– megfelelő előkezelése,
– megfelelő sűrítése,

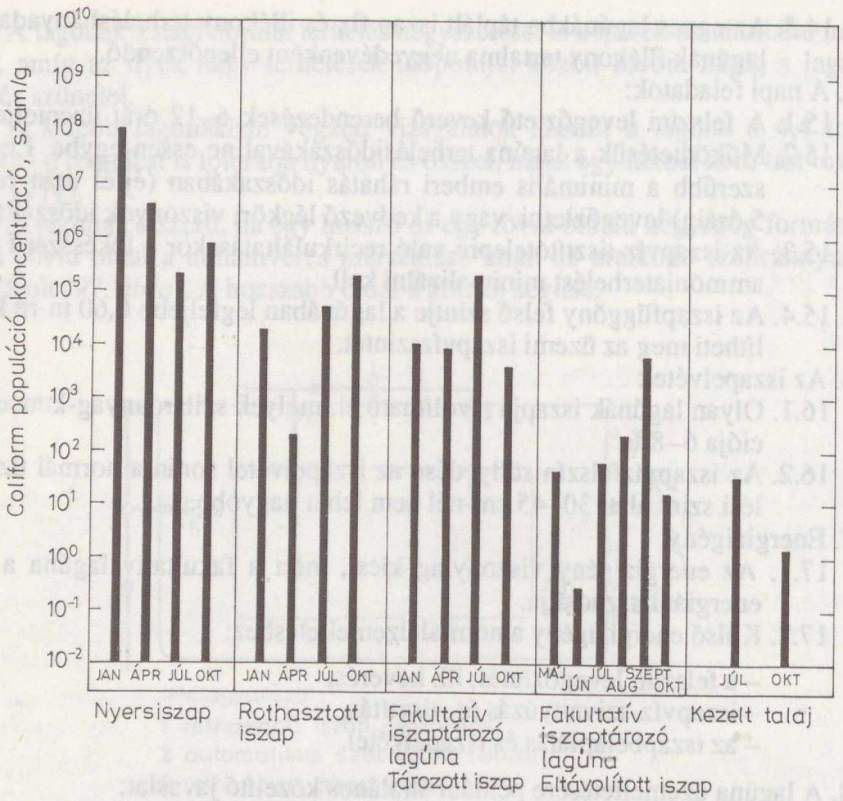
mielőtt az iszapot a lagúnába táplálja.

20. Ha az iszap a lagúnába jutott, a víztelenítés sebességét elsősorban az időjárás befolyásolja. Azonban

20.1. Az üzemeltető mielőbb távolítsa el az iszapvizet és a csapadékvizet, miáltal az iszap felszíne a levegő hatására rendszerint gyorsan víztelenedik.

20.2. A gyomot és egyéb növényzetet a lagúnából mindig el kell távolítani, mielőtt az iszapbetáplálás megkezdődik.

21. *Patogén szervezetek.* A vizsgálatok bizonyítják, hogy az iszapvíz *hosszú idejű tározása* az iszap patogén mikroorganizmus-tartalmát jelentősen csökkenti (*98. ábra;* Farrell, 1978; Központi szennyvíztisztító telep, Sacramento, USA). Az ábra jól érzékelteti, hogy *a fekál coliformpopuláció-koncentráció, ahogy az iszap az iszapkezelő rendszerben halad előre, csökken.*



98. ábra. A fekál coliform populáció változása az iszapkezelési folyamatrendszer különböző helyein

(E) Üzemeltetési hibák, kiküszöbölésük lehetőségei

A fakultatív iszaptározó lagúna üzemeltetési hibáit, kiküszöbölésük lehetőségeit a *49. táblázat* foglalja össze.

49. táblázat. A fakultatív iszaptározó lagúna üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük lehetséges módjai

(Culp és Heim, 1978; EPA, 1979; H_2O, 1993; Öllős, 1994)

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
1. Szagemisszió	1a Anaerob rothasztású, tökéletlenül stabilizált iszap	1a Anaerob rothasztás	1a Anaerob rothasztás optimalizálása. Mész adagolandó a lagúna felszínére
	1b Aerob rothasztású iszap		1b Aerob rothasztású iszap távoltartása a lagúnától
	1c Anaerob rothasztás sav fázisa válik uralkodóvá	1c Rothasztási folyamat elemzése	1c Savas fázis megszüntetése
	1d Túl sok az iszapvíz a lagúnában	1d Lagúnában lévő iszapvíz mennyisége	1d Az iszapvíz (és a csapadékvíz) fölös mennyisége azonnal eltávolítandó
			1e Kisebb telepeken a szagszabályozás a terhelés megválasztásával,megfelelő felszíni keveréssel, elegendő kiegyenlítő kapacitással, az iszapbetáplálás és a felszíni keverés legmegfelelőbb időperiódusa megválasztásával kockázatmentes szinten oldható meg
2. A lagúna terhelhetősége időszakosan csökken	2a Hideg évszak 2b Csökkent algaaktivitás	2a Hőmérsékleti viszonyok	2a–b Beavatkozás nem lehetséges
3. A recirkuláltatott iszapvíz a tisztítórendszer üzemét felborítja	3a A lagúnák között átszakadt a gát, így friss iszap jutott a recirkuláltatott iszapvízbe	3a Földgát állapota	3a Tönkrement gát javítása
	3b Az iszapvíz-recirkuláltatás idő előtti (korai)	3b Iszapvíz szuszpendált szilárdanyag-tartalma	3b Az iszapvízelvétel késleltetése, míg az iszap leülepszik

49. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
	3c Túlzott iszapréteg-vastagság. Az iszapvíz szintje, az iszapvíz elvételekor az iszap felső szintje alá kerül	3c Iszapréteg vastagsága	3c Alacsonyabb iszaprétegszint állítandó be
4. Rovarok elszaporodása a lagúnákban	4. Túlzott az iszapvíz mennyisége a lagúnákban	4. Iszapvíz	4. Iszapvíz és csapadékvíz azonnali elvezetése *(97. ábra)*. Rovarirtó szer adagolása
5. Lagúna üzemeltetése felborul	5. Terhelés a tervezettnél jóval nagyobb mértékű és tartós	5. Terhelés	5. Normális terhelés beszabályozása
6. Oxigénellátás az atmoszférából elégtelen mértékű	6. Az iszapvíz felszínén a betáplálás miatt képződő film az oxigén aerob zónába diffundálását gátolja	6. Oxigénbediffundálás. Oxigénkoncentráció az aerob zónában	6. Felszíni keverés, ill. levegőztetés a film szétoszlatására (dissipation), amit az a levegőztetett lagúnák felszínén sikerül is *(99. ábra, H_2O)*
7. Az iszapvízelvezetés (túlfolyás) környezetében a felszínen a felúszott anyagok hatása zavaró	7. Felúszott anyagok zavarják az iszapvíz túlfolyását	7. Szemrevételezés	7. Az iszapvízelvétel helye az uralkodó szélirány felső részén legyen *(97. ábra)*
8. Az iszapvízből a teljesen víz alatt nem lévő érdes felületeken kavitáló szivattyúkban magnézium-ammónia-foszfát csapódik ki. Az öntöttvas szerelvények, szivattyútolózárak eltömődnek, ha periodikusan részleges teltséggel,	8. Kristályos csapadék	8. Csapadék	8a PVC csőrendszert kell alkalmazni 8b Az iszapvíz-recirkuláció a tisztítótelep elejére lehetőleg gravitációs üzemű legyen (minimális kritikus iszapvízmélység bekövetkezésével) 8c Ha a szivattyúzás elkerülhetetlen,

49. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
vagy diffúz levegő jelenlétében üzemelnek			víz alatti, kis sebességű, el nem tömődő, kis szívó- és kifolyási sebességgel rendelkező centrifugás szivatytyút kell alkalmazni (így a kavitáció minimalizálható) 8d Minden berendezést, ami nem PVC vagy egyéb, sima falú, nem fémes anyagú, sima vízzáró felülettel kell bevonni
9. A szennyvíztisztító rendszer üzemeltetésében zavar jelentkezik	9. Nagy ammóniatartalmú recirkuláltatott iszapvíz lökésszerű terhelése	9. Recirkulációs iszapvíz minősége	9. Recirkulációs iszapvíz lökésmentes betáplálása szennyvíztisztító rendszerbe
10. A fakultatív tó (aerob + anaerob tó; *96. ábra*) üzeme rendellenes	10. Az iszapfelhő a lagúnában túl magas elhelyezkedésű	10. Iszapfelhő	10. Az iszapfelhő felső szintje nem lehet magasabban az iszapvíz szintje alatt 0,6 m-nél

4.4.7.4. KÉRDÉSEK

1. Melyek a fakultatív iszaptározó céljai? [4.4.7.3. (A) fejezet.]
2. Előnyei, hátrányai? [4.4.7.3. (C) fejezet; *48. táblázat.*]
3. Melyek a jellemző üzemeltetési tapasztalatok? [4.4.7.3. (D) fejezet.]
4. Milyen legyen a lagúna helyszínrajzi kialakítása? [4.4.7.3. (D) fejezet.]
5. Miként indítandó be a lagúna? [4.4.7.3. (D) fejezet.]
6. Melyek a fakultatív iszaptározó lagúna terhelési szabályai? [4.4.7.3. (D) fejezet.]
7. Miként alakul a patogén szervezetek eltávolítása? [4.4.7.3. (D) fejezet.]
8. Melyek a fakultatív iszaptározó lagúnák jellemző üzemeltetési hibái? [4.4.7.3. (E) fejezet.]

99. ábra. Levegőztetett lagúna jellegzetes felszíne. Tijnana, Noord-Mexico (fotó: H_2O, 1993)

4.4.8. A GÉPI VÍZTELENÍTÉSI ELJÁRÁSOK MEGVÁLASZTÁSA AZ ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK ALAPJÁN

A gépi víztelenítést a következő esetekben részesítik előnyben:

1. *Esztétika:* ahol a földterület drága, és az iszapágyak környezeti ártalmat jelenthetnek.
2. *Éghajlat:* az ellentétes időjárási állapotok a gépi víztelenítést helyezik előtérbe a többi megoldással szemben.
3. *Költségek:* a folyékony iszap nagyobb távolságra szállítása gazdaságtalanabb a helyben víztelenítetthez képest.
4. *Helyi korlátozó tényezők:*

– folyékony iszap gazdaságos szállítása lehetséges, földterület azonban nem áll rendelkezésre,

– az iszap kedvezőtlen minősége miatt a hasznosítás nem lehetséges.

Ilyen esetekben a gépi víztelenítés részesíthető előnyben.

Az üzemeltető a víztelenítési eljárás megválasztásakor azonban a következő tapasztalatot tartsa szem előtt: *gépi víztelenítés alkalmazására csak indokolt esetekben kell törekedni. A beruházás és az üzemeltetés gazdaságossága (energiaigényt is beleértve), a kívánt üzemeltetési szintigény olyan tényezők, amelyek a jövőben már különösen alapos mérlegelést kívánnak.*

További szempontok a víztelenítési mód megválasztásához

a) az eljárást illetően:

– a vákuumdobszűrés az 1970-es évekig az iszapvíztelenítéshez a legnépszerűbb eljárás volt, de az 1970-es évek végén alkalmazása hirtelen csökkenni kezdett. Jelenleg nincsenek fejlesztésére újabb kutatási, üzemeltetési eredmények,

– a szalagszűrőprés és a centrifuga alternatív szerepe viszont nőtt, mert ezek gazdasági szempontból hatékonyabb és a vákuumszűrésnél általában kedvezőbb eredményeket biztosítottak,

– az 1970-es évek közepén az olajhiány következtében *szűrőprések kerültek előtérbe*, különösen az iszapégetés miatt, hisz az olajárak többszörösére emelkedtek,

– minthogy a szalagszűrőpréses és a centrifugás iszapvíztelenítéshez alkalmazott polimerkondicionálás jóval gazdaságosabb, ez elterjedésüket rohamosan segítette,

– jelenleg a szűrőprés-üzemeltetés ferriklorid, mész, hamu, polimer kondicionálószerrel, avagy ezek megfelelő kombinálásával sikeres. Emiatt a szűrőprések tovább terjednek, különösen, ha utána

– iszapégetés,
– komposztkészítés és
– feltöltésbe helyezés (ha a nedvesség bizonyos határt nem léphet át) következik.

b) A kondicionálószert illetően (Ziess et al., 1985):

– a mész és a ferriklorid kondicionálószer a polimer kondicionálószernél kevésbé alkalmazott, mert esetükben
– az üzemeltetési és fenntartási költségek magasabbak,
– jóval munkaigényesebbek,
– a mész és a ferriklorid adagolásakor a teljes elhelyezendő iszapmennyiség 20–25%-kal nő, míg polimeradagolás esetében az iszapmennyiség növekedése elhanyagolható (Ziess et al., 1985).

c) Az eljárások összehasonlíthatóságát illetően:

– az összehasonlítás a különböző iszapok esetében eleve eltérő eredményekre vezet,
– összehasonlítás csak azonos iszap, ugyanazon időszakban végzett vizsgálatok és a víztelenítő kapacitás viszonylag azonos szintjén lehetséges.

Az üzemeltető érzékelheti, hogy *a gépi iszapvíztelenítő eljárást számos tényező gondos mérlegelésével, megfelelő előrelátással kell megválasztani.*

4.4.8.1. A NYOMÓSZŰRÉS

A nyomószűrés előnyei és hátrányai az *50. táblázat*ból ítélhetők meg.

50. táblázat. A nyomószűrés előnyei, hátrányai

Előnyök	Hátrányok
Szűrőlepény nagy szárazanyag-koncentrációja (30–50%), legnagyobb valamennyi víztelenítési eljáráséhoz hasonlítva	Szakaszos (batch) üzemeltetés. Magas beruházási költség
Kedvezőbb iszapvíz- (filtrate) minőség	Magas laboratóriumi költségek
Kedvezőbb szilárdanyag-visszatartás	Szűrőszövet-élettartam a nagyobb igénybevétel miatt rövidebb
Esztétikus megjelenés	Mechanikai komplexitás Magas vegyszerköltségek

4.4.8.2. A NYOMÓSZŰRÉSI ELJÁRÁSOK

Az iszapvíztelenítés céljaira háromféle típusú nyomószűrő (filter press) alkalmazott:

1. *állandó térfogatú,* bemélyedő, iszaptérfogatot és drénezést biztosító nyomólemezes szűrőprés (plate and frame filter press, fixed-volume, recessed plate filter press; *100. ábra*),
2. *változó térfogatú,* bemélyedő, iszaptérfogatot és drénezést biztosító rendszert tartalmazó nyomólemezes szűrőprés (variable-volume, recessed plate filter press; diaphragm press; *103. ábra*), az 1980-as években kezdték alkalmazni,
3. *szalagszűrőprés* (belt filter press; *112. ábra*).

Az 1. és 2. pont alatti nyomószűrőket *szűrőpréseknek* nevezik. Hatékonyságukat a következő tényezők befolyásolják:

– iszap típusa,
– kondicionálás,
– szűrőnyomás,
– szűrés időtartama,
– szilárdanyag-terhelés,
– szűrőszövet típusa,
– alapszűrőréteg, például diatomaföld (Öllős, 1987, V. 3.3. fejezet).

A 3. pont alatti *szalagszűrőprések* hatékonysága a következő tényezőktől függ:

– iszap típusa,
– kondicionálás,
– szitafeszültség (tenzió),
– a szita haladási sebessége,
– hidraulikai terhelése és
– a szita típusa.

(A) Állandó térfogatú, bemélyedő nyomólemezű szűrőprés

Az állandó térfogatú, bemélyedő lemezű *(100. ábra)* szűrőprés derékszögű lemezek sorozatából áll. A bemélyedés a lemezek mindkét oldalán megtalálható. A lemezek egymással szemben függőleges állásúak. Az egyik végén fix, másik végén mozgatható végződésű keretrendszerbe rögzítettek *(101/a–b ábra;* Courtesy Emico Process Equipment Co.). Minden lemez oldalaira szűrőszövet van felfüggesztve. A lemezeket a szűrési időtartam alatt megfelelő erő szorítja légzáróan egymáshoz. Így a víztelenítéshez kívánt nyomóerő biztosítható. A lemezek bemélyedése biztosítja azt a térfogatot, amelybe a víztelenítendő iszap szivattyúzható *(100. ábra)*. Az iszapvíz a drénmélyedéseket tartalmazó lemezek mindkét oldalán lévő szűrőszöveten keresztül jut a drénrendszerbe. (A szűrőlepény-képződést részletesen Öllős, 1991, 11.7.2.1. fejezete értelmezi és elméletileg jellemzi.) Az iszapvizet ma már a lemezrendszer alatt lévő zárt, környezetvédelmi szempontból is kifogástalanul megoldott gyűjtőcsatornában vezetik vissza a tisztítótelep elejére.

A víztelenítés szakaszos (batch) üzemű. Víztelenítés közben az iszap szilárd részecskéit a lemezek felületét borító szűrőszövet visszatartja. Végül a lemezek közötti teljes tér megtöltődik víztelenített iszappal. Ahogy az iszaplepény kifejlődik, a hidraulikai ellenállás nő, és a dréneződött iszapvíz térfogata csökken. Amikor a szűrlet közel zéró, az iszapbetáplálást és a lemezek közötti légzáró kapcsolatot megszüntetik. A lemezeket egymástól eltávolítják, az iszaplepény gravitációs úton leesik a szállítószalagra vagy a szállító dömperbe.

Az iszaplepény vastagsága kb. 20–50 mm.

Az üzemeltetéssel és a hatékonysággal kapcsolatos tapasztalatok

1. A szűrőszövetre dréneződést lehetővé tevő, nem kohéziós tulajdonságú szűrőanyagot, mint például diatomaföldet, *alaprétegként* kell felhordani. Ez a réteg a szűrőszövet mosásának gyakoriságát csökkenti, és a már kialakult szűrőlepény víztelenedését segíti.
2. A szűrő üzemeltetését és teljesítményét az iszap típusa és a kondicionálásmód jelentősen befolyásolja.
3. Előülepítő iszapok az utóülepítő iszapoknál

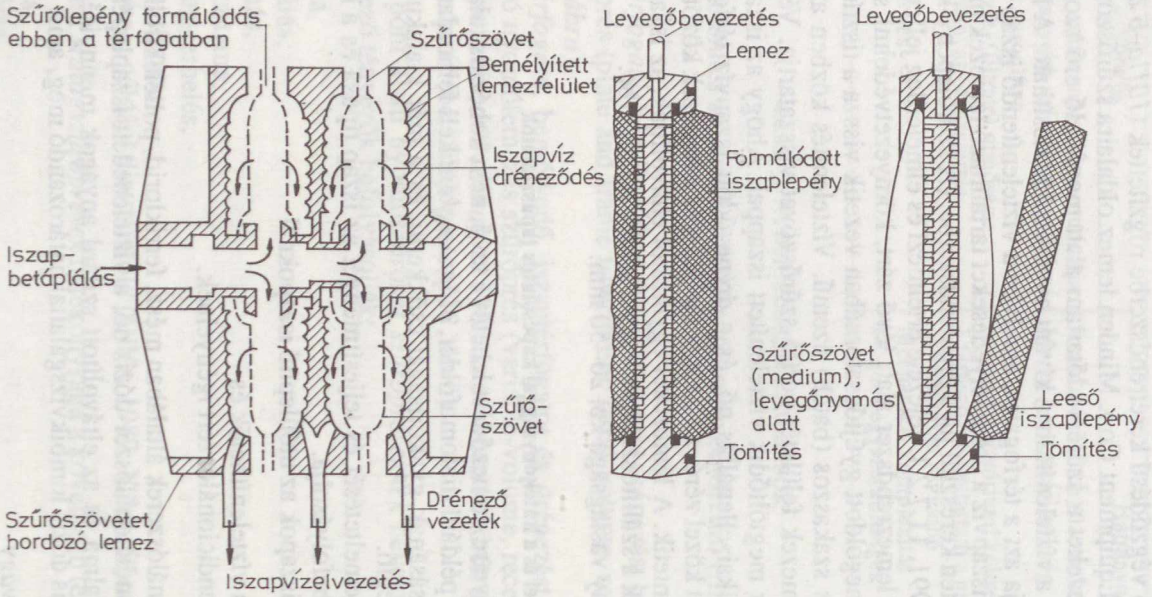
– könnyebben víztelenítheték és
– kevesebb kondicionálószert igényelnek.

4. A kondicionálószerek általában mész, ferriklorid, polielektrolit.
5. Amint a kondicionálószer-dózis nő, a víztelenedett iszaplepény *(102. ábra)* szárazanyag-tartalma és az eltávolított szilárd anyagok mennyisége szintén nő.
6. Az optimális dózis lombikvizsgálattal határozandó meg, amit

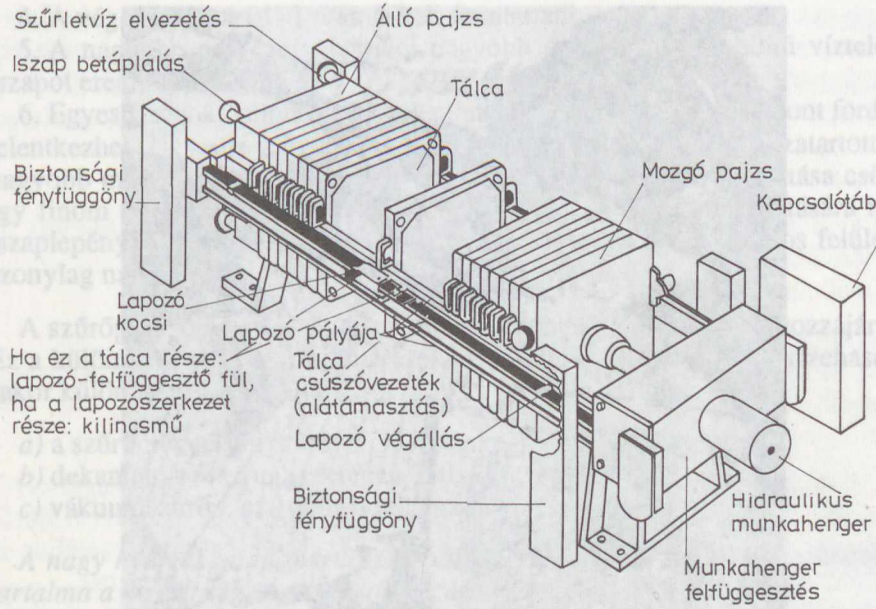
– *félüzemi és/vagy*
– *üzemi*

vizsgálatok kell hogy kövessenek.

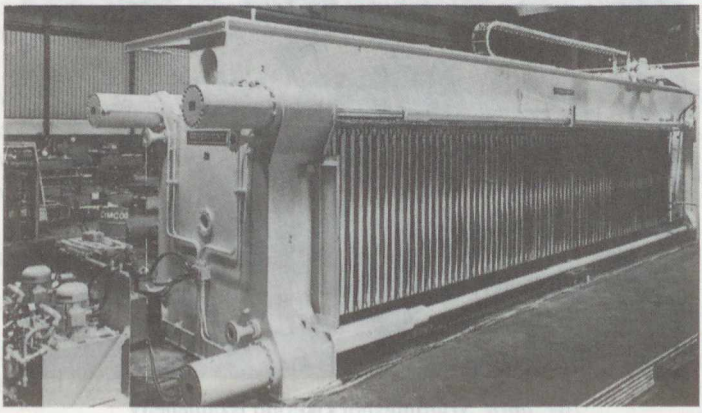
7. A tapasztalatok szerint a mész, ferriklorid, hamu és/vagy polimer különböző kombinációit célszerű alkalmazni.



100. ábra. Állandó térfogatú, bemélyedő nyomólemezű szűrőprés működési elve



101/a ábra



101/b ábra

101/a–b ábra. Szűrőprés. *a:* szerkezete; *b:* látképe

8. Az optimálisnál kevesebb kondicionáló vegyszermennyiséget adagolva, a víztelenítés hatékonysága csökken.

9. A termikusan kondicionált (4.3.2.4. fejezet), vagy a nedves oxidációjú (4.3.2.5. fejezet), majd ezt követően gravitációsan sűrített iszapok nagyon jól víztelenít-hetők.

102. ábra. Szűrőprésből kikerülő iszaplepény

Nyomás

1. A szűrőprést kis nyomással (általában kb. 1,75 kg/cm^2, 5–10 min-ig) és nagy iszaphozammal kell beindítani.

2. Amint az iszaplepény kezd kifejlődni, és a hidraulikai ellenállás nő, a nyomást növelni kell.

3. Ezt követően a nyomást lépcsőzetesen kell növelni (0,35 kg/cm^2) mindaddig, amíg a végső nyomás (7,0–15,8 kg/cm^2) beáll. *(A tényleges nyomásokat természetesen a gyártó cég írja elő.)*

4. A végső nyomást 1–3 órán át kell fenntartani.

5. A nagyobb nyomás valamivel nagyobb szárazanyag-tartalmú víztelenített iszapot eredményez.

6. Egyes iszapok, különösen utóülepített iszapok esetében, az 5. pont fordítottja jelentkezhet. Ugyanis a nyomás növelésekor a szűrőszöveten visszatartott iszap nagyobb mértékben összenyomódhat, ezáltal a szűrőlepény porozitása csökken. Így finom iszaprészecskék maradnak a szűrőlepényben. Ennek hatására nedves iszaplepény keletkezik, mert a finom iszaprészecskék nagy fajlagos felülete viszonylag nagy mennyiségű vizet köt meg.

A szűrőprés jó hatásfokához a nyomásviszonyok is alapvetően hozzájárulnak. Ez a különböző víztelenítési eljárásoknál alkalmazott nyomások összehasonlításakor különösen szembetűnő:

a) a szűrőprésnél a nyomás a gravitáció (g) 5000–20 000-szerese,
b) dekantáló centrifuga esetében 700–3500g alkalmazott,
c) vákuumszűrőre az 1000g a jellemző.

A nagy nyomás miatt a szűrőprésből kikerülő víztelenített iszap szárazanyag-tartalma a kisebb vegyszerdózisok dacára is a legnagyobb, 30–60%.

A víztelenítési mechanizmus alapja az, hogy miközben az iszapvíz a porózus anyagon keresztül szűrődik, nyomásesés jöjjön létre. Ez az iszapvíztelenítő berendezésekben négyféle úton érhető el (EPA, 1979):

– a porózus anyag egyik oldala vákuum hatása alá kerül (például vákuumdobszűrő),
– a porózus anyag egyik oldala az atmoszferikusnál nagyobb nyomás alatt van (szűrőprés),
– a porózus anyagra (iszapra) centrifugális erő hat (centrifuga),
– a porózus anyagra (iszapra) a gravitációs erő hat (pl. iszapágy).

A szűrés időtartama és az iszapterhelés

1. A szűrés időtartama

– a szűrőprés fizikai méretétől és
– az iszapterheléstől

függ.

2. Fontos, hogy a lemezek közötti tér a víztelenítendő *iszappal teljesen töltődjék ki*, és a szűrés időtartama ehhez elegendő legyen, különben a lemezek széthúzásakor nagy mennyiségű víz távozik a szűrőprésből.

3. *Az üzemeltető a szűrés időtartamát a szűrlethozam alapján szabályozhatja.*

4. Ha a szűrés időtartama a kívántnál hosszabb, az iszaplepény tömörré válik, és az órai vagy napi iszapterhelés csökken.

5. Ahogy az iszaplepény kifejlődik, a szűrési ellenállás nő. A lepény porozitása változik, a koncentráció nő, sűrűsödik, komprimálódik, hiszen a finom szemcsék a vízzel együtt a szűrőszövethez vándorolnak. Így a szűrőszövet felszínének porozitása csökken és ahhoz, hogy az iszapvíz tovább dréneződhessen, a nyomás-

veszteségnek nőni kell. Valamely pillanatban a porozitás már olyan mértékűvé válik, hogy a betáplálási nyomás sem iszapvizet, sem finom szemcséket nem képes a szűrőszövet felületéhez transzportálni. *Ekkor a szűrési ciklus befejeződik, és az iszaplepény a szűrőprésből eltávolítható.*

Szűrőszövet

1. A szűrőszövet kísérleti úton határozható meg, a gyártó cég ajánlásainak figyelembevételével.
2. Az alkalmazott szűrőszövet tisztításának gyakoriságát

– a szűrőszövet állapotának figyelése és
– a szűrőhatékonyság ellenőrzése alapján határozzák meg. (Különben könnyen szagemisszió is jelentkezhet, amely probléma különösen régebbi telepeken volt gyakori.)

3. A szűrőszövet ismételt felhasználásai közben vízáteresztő képességét elveszítheti, ami a szűrőhatékonyság csökkenésével jár együtt. A szűrőszövet eltömődése (blind), ami mikroszita- vagy vákuumdobszűrő szűrőmédiuma esetében is bekövetkezhet, a zsíranyagok vagy a szűrendő anyagok miatt jelentkezhet.
4. Ahogy a szűrőszövet eltömődik, az iszapvíz nehezebben dréneződik, az iszaplepény nedvesebb marad, ugyanakkor a szükséges szűrés időtartama nő. Szerencsés, ha a szűrőszövet lemosására a telepi (helybeli) lehetőség biztosított.
5. Az üzemeltetőnek tisztában kell lenni azzal, hogy a szűrőszövet a következő feltételeknek kell hogy megfeleljen:

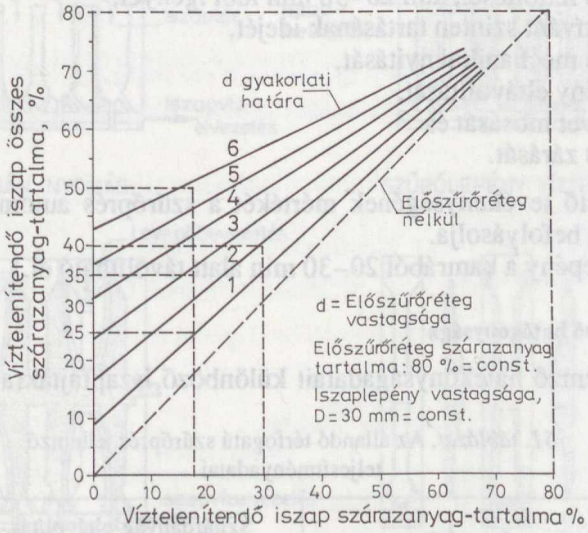
– elegendően sűrű fonottságú legyen, csak így képes a finom iszaprészecskék visszatartására,
– jó porozitása legyen,
– az iszaplepényt jól eressze el ürítéskor,
– a betáplált iszap sajátos minőségével összhangban legyen,
– tartós legyen,
– a szövet teljes szélességében kihasználható legyen.

Alapszűrőréteg

1. A szűrőszitamosás gyakoriságának mérséklése és a drénezés hatékonyságának fenntartása, a szűrőszövet-eltömődés gátlása és az iszaplepény szűrési ciklus végén való lecsúszásának elősegítése céljából a szűrés kezdetekor alapszűrőréteget (precoat) kell felhordani a szűrőszövetre. Az iszapvíz a szűrőszöveten átszűrődik, de a szilárd anyagok a szövet (alapszűrő) előtt fennakadnak, s *így képződik az iszaplepény.*
2. Iszapolt formában kell adagolni a szűrőprésbe úgy, hogy a szűrőszöveten belőle vékony réteg képződjék. Az ezt követő víztelenítendő iszap a szűrőszövet nyílásait már nem tudja eltömni.
3. Ha szükséges, az iszaphoz hozzákeverve is adagolható.
4. Az alapszűrőréteg anyaga általában az iszapégetőből származó hamu, diatomaföld, perlit stb. lehet.

Az alapszűrőréteg (filter aids) anyaga inert, oldhatatlan, összenyomhatatlan, porózus és apró legyen (Master 1977; Basso, 1977).

5. Az alapszűrőréteg szerepét, hatékonyságát, a víztelenített iszap szárazanyag-tartalmát illetően a *103. ábra* érzékelteti (Meyer, 1988).



103. ábra. Alapszűrőréteg szerepe a víztelenített iszap szárazanyag-tartalmát illetően

A szűrési ciklus lépcsőfokai

1. Az alapszűrőanyag és a kondicionáló vegyszerek előkészítése,
2. kondicionálószer és az iszap összekeverése,
3. alapszűrőréteg felhordása,
4. iszapbetáplálás,
5. víztelenítés,
6. iszaplepény-elvétel a rendszerből,
7. szűrőszövet mosása (tisztítása).

Az üzemeltetés menete (EPA, 1979)

1. Az alapszűrőréteg anyagához vizet adagolva, azt külön tartályban össze kell keverni.
2. A mészhez vizet adagolva, külön tartályban szintén össze kell keverni.
3. Az előkészített meszet a külön tartályban lévő víztelenítendő iszaphoz kell szállítani és azzal gyengén össze kell keverni. A megfelelő ferrikloridot (ha alkalmazott) is itt kell adagolni.
4. Az alapszűrőréteg anyagát a szűrőprésbe kell szivattyúzni.
5. A kondicionált iszapot a szűrőprésbe kell szivattyúzni.

6. Ha a dréneződött iszapvíz mennyisége már közel zéró, az iszapbetáplálást meg kell szüntetni.

7. A szűrőprést a nyomás alól fel kell szabadítani, majd a lemezek széthúzása következik. Így az iszaplepény gravitációsan lecsúszik.

8. A szűrőprést zárni kell, és az előbbi üzemeltetési menet ismételhető.

9. A szűrési ciklus időtartama 2–5 h, amely magába foglalja:

– a szűrőprés feltöltését, ami 20–30 min időt igényel,
– a nyomás kívánt szinten tartásának idejét,
– a szűrőprés mechanikai nyitását,
– a szűrőlepény eltávolítását,
– a szűrőszövet mosását és
– a szűrőprés zárását.

Az üzemeltető tevékenységének mértékét a szűrőprés automatizáltsági foka nagymértékben befolyásolja.

10. A szűrőlepény a kamrából 20–30 min alatt távolítható el.

A szűrő jellemző hatékonysága

A szűrő jellemző hatékonyságadatait különböző iszapfajtákra az *51. táblázat* érzékelteti.

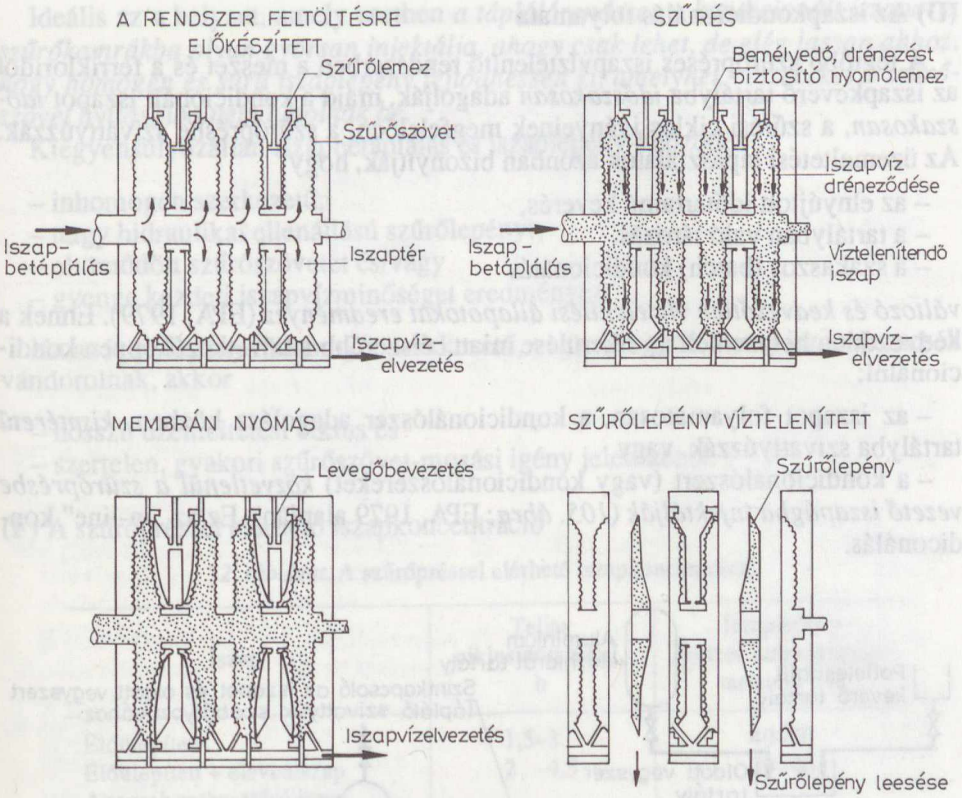
51. táblázat. Az állandó térfogatú szűrőprés jellemző teljesítményadatai

Iszapfajta	Szilárdanyag-eltávolítás, %
Előülepített Utóülepített Rothasztott előülepített Rothasztott utóülepített	90–99

(B) Változó térfogatú, bemélyedő nyomólemezű szűrőprés

A változó térfogatú, bemélyedő nyomólemezű szűrőprés viszonylag új berendezés, az 1980-as években fejlesztették ki. Hasonló szerkezetű az állandó térfogatú szűrőpréshez [4.4.8.2. (A) fejezet], kivéve, hogy a szűrőanyag mögött gumimembrán van (*104. ábra;* EPA, 1979). A gumimembrán a szűrési időszak végén expandál, felveszi a végső szűrőprésnyomást, így *a szűrőlepény-térfogatot a kompressziós időszakban csökkenti.* 10–15 min kell a szűrő feltöltéséhez és 15–30 min-ig kell az állandó nyomást fenntartani, hogy a szűrőlepény a kívánt mértékig víztelenít hető lehessen. A változó térfogatú présekáltalában 690–860 kN/m^2 fajlagos nyomást biztosítanak a víztelenítés kezdeti időszakában és a fajlagos nyomás 1380–2070 kN/m^2 a végső kompresszió időszakában (Metcalf and Eddy Inc., 1984). Az eljárás a különböző iszapokhoz jól illeszthető, de tetemes fenntartást igényel.

A mechanizmus fő folyamata, hogy az iszapbetápláló szivattyú leállítását követően a gumimembrán és a lemez közé vizet vagy levegőt szivattyúznak, nagy nyo-



104. ábra. Változó térfogatú, bemélyedő nyomólemezű szűrőprés működési elve

mással, 15–30 min ideig, összepréselve a már formálódott, részben víztelenedett iszaplepényt. A ciklus végén a beszivattyúzott vizet tartályba vezetik vissza.

(C) Speciális követelmények a szűrőprések üzemeltetéséhez

1. A víztelenítő helyiségben megfelelő ventiláció biztosítandó. A külső hőmérséklettől függően legalább napi 6–12-szeri levegőcsere szükséges.
2. A szűrőszövet mosásához nagy nyomású rendszer szükséges.
3. Mész alkalmazása esetében savmosó cirkulációs rendszer szükséges a kalciumbevonatok eltávolításához.
4. A kondicionálótartály előtt iszapőrlőt kell alkalmazni.
5. A szűrőprés után iszapaprító kell (különösen, ha az iszap égetésre kerül).
6. A szűrőpréslemezek mozgatásához és fenntartásához külön berendezés szükséges (Metcalf and Eddy Inc., 1984).

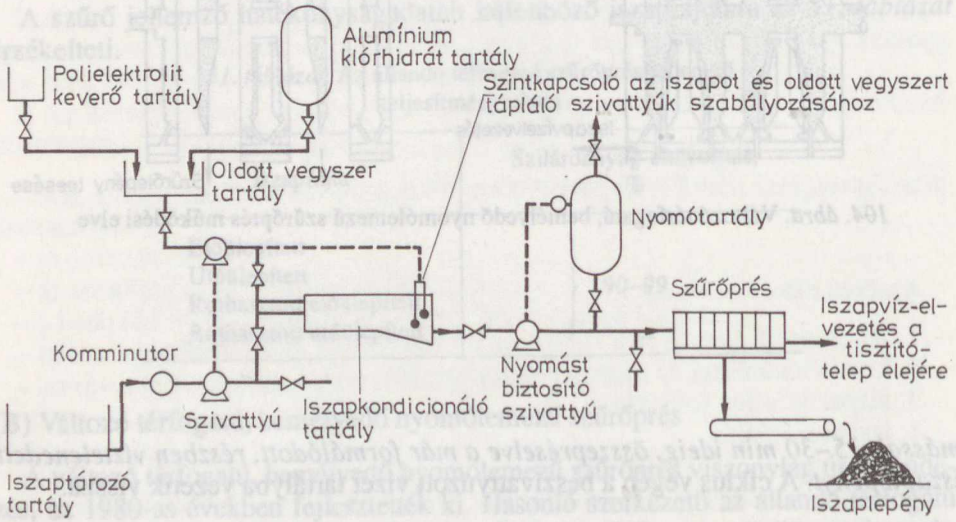
(D) Az iszapkondicionálás folyamata

A legtöbb szűrőpréses iszapvíztelenítő rendszerben a meszet és a ferrikloridot az iszapkeverő tartályba *időszakosan* adagolják, majd a kondicionált iszapot *időszakosan*, a szűrési ciklus igényeinek megfelelően, a szűrőprésbe szivattyúzzák. Az üzemeltetési tapasztalatok azonban bizonyítják, hogy

– az elnyújtott időtartamú keverés,
– a tartályban való tározás,
– a szakaszos (batch) kondicionálás

változó és kedvezőtlen víztelenítési állapotokat eredményez (EPA, 1979). Ennek a kedvezőtlen helyzetnek az elkerülése miatt célszerűbb a következőképpen kondicionálni:

– az iszapot folyamatosan, a kondicionálószer adagolása közben, *kisméretű* tartályba szivattyúzzák, vagy
– a kondicionálószert (vagy kondicionálószereket) *közvetlenül a szűrőprésbe vezető iszapágba injektálják* (*105. ábra;* EPA, 1979 alapján). Ez az „in-line" kondiconálás.



105. ábra. Megfelelő iszapkondicionálású szűrőpréses rendszer

(E) Tápszivattyú-rendszer

A szűrőprésrendszerben az egyik jelentős probléma olyan szivattyúk üzemeltetése, amelyek

– a viszkózus,
– koptató hatású

iszapot 276–1551 kN/m^2 nyomás biztosításával képesek szállítani.

Ideális az a helyzet, amely esetben *a táplálórendszer a kondicionált iszapot a szűrőkamrákba olyan gyorsan injektálja, ahogy csak lehet, de elég lassan ahhoz, hogy homogén és sűrű iszaplepény fejlődhessen ki, amelynek részecskéi a szűrőszövet nyílásaiba nem hatolnak be.*

Kiegyensúlyozatlan iszapbetáplálás és iszaplepény-képződés

- inhomogén szerkezetű,
- nagy hidraulikai ellenállású szűrőlepényt,
- eltömődött szűrőszövetet és/vagy
- gyenge kezdeti iszapvízminőséget eredményez.

Ha az iszaplepény inhomogén szerkezetű, vagy a nagyon finom iszapszemcsék vándorolnak, akkor

- hosszú üzemeltetési ciklus és
- szertelen, gyakori szűrőszövet-mosási igény jelentkezik.

(F) A szűrőpréssel elérhető iszapkoncentráció

52. táblázat. A szűrőpréssel elérhető iszapkoncentráció

Iszap	Teljes ciklusidőtartam[1], h	Iszaplepény összes szárazanyag-tartalma[2], %
Előülepített	1,5–3	40–50
Előülepített + eleveniszap	2 –4,5	30–40
Anaerob rothasztású iszap (előülepített + eleveniszap)	2 –4	35–45
Eleveniszap	2 –6	24–40
Kis mennyiségű mészdózisú iszap	2 –4	35–45
Alumínium-szulfát-tartalmú iszap	1 –4	25–40
Termikusan kondicionált iszap	1,5–3	45–60

Megjegyzés:

[1] A valószínűleg leggazdaságosabb ciklusidőtartam 2–3 h, települési szennyvíziszapokhoz.

[2] Vegyszereket is magába foglalva.

A táblázat jól érzékelteti, hogy *az utóülepített iszap az előülepített iszapnál nehezebben, kevésbé hatékonyan víztelenít hető.*

A szűrlet minősége általában kitűnő, lebegőanyag-koncentrációja <100 mg/l, ha a szűrőprés üzemeltetése megfelelő.

(G) A szűrőprések lehetséges üzemeltetési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése

53. táblázat. A szűrőprések lehetséges üzemeltetési problémái, okai, felismerésük, kiküszöbölésük

(Culp és Heim, 1978; Öllős, 1994; Szilágyi, 1994)

Üzemelési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Kiküszöbölés módja
1. Szűrési ciklus időtartama túl hosszú	1a Helytelen kondicionálás	1a Kondicionáló vegyszeradag	1a Vegyszeradag változtatása
	1b Betáplált iszap szilárdanyag-koncentrációja túl kicsi	1b Sűrítési folyamat	1b Sűrítési hatékonyság növelése, a szűrőprésbe táplált iszap szilárdanyag-koncentrációja növelése céljából
2. Alapszűrőréteg (precoat) nyomásvesztesége fokozatosan nő	2a Helytelen kondicionálás	2a Kondicionáló vegyszeradag	2a Vegyszeradag változtatása
	2b Kedvezőtlen szűrőréteg-felhordás	2b Alapszűrőréteg anyagának betáplálása	2b Alapszűrőanyag-betáplálás számottevő csökkentése néhány cikluson át, azután optimalizálni kell
	2c Szűrőszövet eltömődött	2c Szűrőszövet	2c Szűrőszövet mosása
	2d Kalciumlerakódás	2d Szűrőszövet	2d Szűrőszövet savval mosása
3. Gyakori az alapszűrőréteg eltömődése, szűrőprés hatékonysága csökken	3a Alapszűrőréteg elégtelen vastagságú *(103. ábra)*	3a Alapszűrőanyag betáplálása	3a Alapszűrőréteg-vastagság növelése *(103. ábra)*
	3b Kezdeti betáplálás mértéke túl nagy	3b Betáplálás	3b A kezdeti iszaplepény kifejlődése lassan történjék
			3c A szűrés időtartama hosszabb legyen (csak így érhető el megfelelő nedvességű iszaplepény)
4. Az iszaplepény nedvességtartalma nagy	4a Helytelen kondicionálás	4a Kondicionáló és vegyszeradagoló	4a Kémiai vegyszeradag növelése
	4b Szűrési idő rövid	4b Szűrlethozamot a szűrőlepény nedvességtar-	4b Szűrési időtartam hosszabbítása

53. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Kiküszöbölés módja
		talmával kapcsolatba kell hozni	
	4c Alacsony nyomás	4c Létező nyomás. Szűrőszövet-épség, megfelelő behelyezése	4c Táplálószivattyú javítása. Szűrőszövet cserélése és/vagy megfelelő behelyezése
5. Iszapkifújás a szűrőprésből	5. Például rongydarab a szűrőprésben, ami az iszap lemezek közötti távozását (kifújását) segíti	5. Iszapkifújás	5. Táplálószivattyú leállítása, majd újraindítása; a ciklusidő végén a szűrőprés kitisztítása
6. A lemezek alsó részein elszivárgás jelentkezik	6. A nedves iszaplepény a szűrőszövet alsó részeit beszennyezi	6. Iszaplepény nedvességtartalom	6a Kondicionáló vegyszeradag változtatása 6b Szűrési ciklus hosszabbítása
7. A szűrőlepény hozzátapad az iszapot szállító berendezéshez	7. Kémiai kondicionálószer nem megfelelő: több szervetlen vegyszer hiánya	7. Kondicionálódózisok	7. Csökkenteni kell a hamuadagolást, szervetlen kondicionálószerek adagolása
8. Iszaplepény eltávolítása a szűrőprésből nehezen valósítható meg: a szűrőszöveten marad	8a Alapszűrőréteg nem felel meg	8a Iszapbetáplálás és alapszűrőréteg	8a Alapszűrő-vastagság növelendő *(103. ábra)*; alapszűrőanyag-dózis növelendő
	8b Kedvezőtlen kondicionálás	8b Kondicionálószer típusa és dózisa	
9. Iszaplepényt transzportáló rendszer nem megfelelő	9a A csavartranszportáló rendszer eltömődik 9b A futószalagtranszportáló rendszer lejtése nagy	9a–b Transzportáló mechanizmusok	9a–b Transzportálórendszer-típus változtatása
10. Iszaplepény-eltávolítás nehéz, szűrőszövet tisztítása gonddal jár	10. Szűrőszövet fajtája alkalmatlan	10. Szűrőszövet-fajta	10. Szűrőszövet cseréje, általában az azonos szálú, durva szövet alkalmas települési iszapokhoz

53. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Kiküszöbölés módja
11. Szűrőszövet mosása változó technológiát igényel, periódusonként	11a Mosóvíz nyomása nem megfelelő	11a Mosóvíznyomás	11a Nagy mosóvíznyomás szükséges (az iszap tulajdonságaitól függetlenül)
	11b Mész kondicionálószer használata	11b Mész kondicionálószer hatása a szűrőszövetre	11b Időszakonként savval mosatás is szükséges
12. Iszapvízminőség kedvezőtlen	12a Szűrőszövet nem megfelelő	12a Szűrőszövet	12a Iszapvízminőség folyamatos ellenőrzése
	12b Szűrőszövet megsérült	12b Szűrőszövet szemrevételezése	12b Iszaplepény folyamatos ellenőrzése
	12c Szűrőszövet eltömődött vagy elszennyeződött	12c Mint a b pont	12c Szűrőszövet mosása
13. A szűrőlepény tömör és száraz, de folyós centrumok léteznek benne	13a Szűrés időtartama nem megfelelő	13a Szűrés időtartama	13a A szűrés időtartamának elegendőnek kell lennie, hogy a szűrőprés teljesen megteljék iszappal
	13b Vegyszeradag nem megfelelő	13b Vegyszeradag	13b Vegyszeradag optimalizálása
14. Szűrőprésnyomás megfelelő, iszapvíz (filtrate) minősége megfelelő, az iszaplepény nedvességtartalma nem megfelelő	14. Kondicionálás nem megfelelő	14. Kondicionálórendszer	14. Vegyszerdózis optimalizálása
15. A szűrőlepény szűrőprésből való eltávolításakor nagy térfogatú víz távozik el	15. A szűrés időtartama elégtelen, a szűrőprés kamrái nem telnek meg teljesen iszappal	15. Szűrési időtartam	15. Szűrési idő optimalizálása, a szűrlethozamra alapozva

53. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Kiküszöbölés módja
16. A szűrőlepény tömör és száraz, de a szűrőprés iszapterhelése (óránként vagy naponként) csökken	16. Szűrés időtartama hosszabb, mint amekkora a szűrőprés kamráinak iszappal való feltöltéséhez szükséges	16. Szűrés időtartama	16. Szűrési időtartam optimalizálása
17. Gyenge kezdeti iszaplepény-formálódás, hatékonyság csökkenése	17. Betáplálás mértéke nem elegendő	17. Betáplálás	17. Betáplálás mértékének optimalizálása

(H) Kérdések

1. Milyen tényezők befolyásolják a természetes jellegű víztelenítési, ill. a gépi víztelenítési eljárások megválasztását? (4.4.8. fejezet.)
2. Melyek a szűrőpréses víztelenítés előnyei? (4.4.8. fejezet.)
3. Melyek a nyomószűrés előnyei, hátrányai? (4.4.8.1. fejezet; *50. táblázat.*)
4. Milyen nyomószűrési eljárások léteznek? (4.4.8.2. fejezet; *100.* és *103. ábra.*)
5. Milyen tényezők befolyásolják a nyomószűrést? (4.4.8.2. fejezet.)
6. Az üzemeltetési nyomás bizonyos határon túli növelése nedvesebb iszaplepényt eredményez. Miért? [4.4.8.2. (F) fejezet.]
7. Miként lehet a szűrés időtartamát szabályozni? (4.4.8.2. fejezet.)
8. Mi a célja az alapszűrő rétegnek? [4.4.8.2. (A) fejezet.]
9. Melyek a nyomószűrők üzemeltetési lépései? [4.4.8.2. (A) és 4.4.8.2. (B) fejezet.]
10. Milyen folyamatok tartoznak a szűrési ciklusba? [4.4.8.2. (A) és 4.4.8.2. (B) fejezet.]
11. Miként ítélhető meg az alapszűrő réteg? [4.4.8.2. (A) fejezet.]
12. Mekkora a nyomószűrők hatékonysága? [4.4.8.2. (A) és 4.4.8.2. (B) fejezet.]
13. Miként tisztítható a szűrőszövet? [4.4.8.2. (A) fejezet.]
14. Mikor kell az iszap szűrőprésbe táplálását befejezni? [4.4.8.2. (A) és 4.4.8.2. (E) fejezet.]
15. Milyen kondicionálószerek alkalmazhatók? [4.4.8.2. (A) fejezet.]
16. Mi a különbség az állandó és változó térfogatú szűrőprés között? [4.4.8.2. (A) és 4.4.8.2. (B) fejezet.]
17. Miként célszerű a polimeradagolást végezni? [4.4.8.2. (D) fejezet; *105. ábra.*]
18. Melyek a jellegzetes üzemeltetési zavarok? [4.4.8.2. (G) fejezet; *53. táblázat.*]

(A) A vákuumszűrés és a nyomószűrés alapfolyamatainak összehasonlítása

A vákuumszűrést befolyásoló tényezők tulajdonképpen a nyomószűrést befolyásoló tényezőkkel azonosak. A két víztelenítő eljárás közötti alapvető különbség csupán az, hogy a szűrőlepényre ható nyomáskülönbség és a kompresszió nyomószűrő esetében nagyobb. A berendezések közötti különbség: a nyomóprések masszívak, elviselik a rájuk ható nagy nyomást, valamennyi lemezköz légzáróan viselkedik, ami a nyomás fenntartásához elengedhetetlen.

A szűrési folyamat azonban némileg eltérő, hiszen a nyomószűrőkben a dréneződött iszapvíz a folyamat közben kifejlődő szűrőlepényen szűrődik át, így a szűrőlepényben a nyomásveszteség folyamatosan nő.

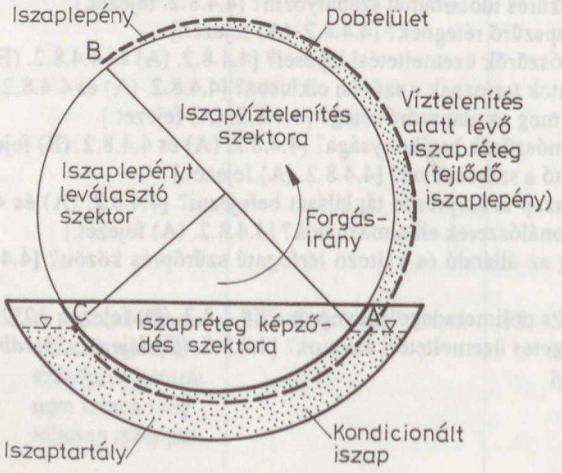
A vákuumszűrés az utóbbi évtizedben népszerűségéből veszített, a következő okok miatt:

– az alternatív víztelenítő eljárások (pl. szűrőprés, centrifuga, szalagszűrőprés) jelentősen fejlődtek,
– a rendszer komplex,
– kondicionáló vegyszer nélkülözhetetlen,
– az üzemeltetési és fenntartási költségek nagyok.

(B) A vákuumdobszűrő működési elve

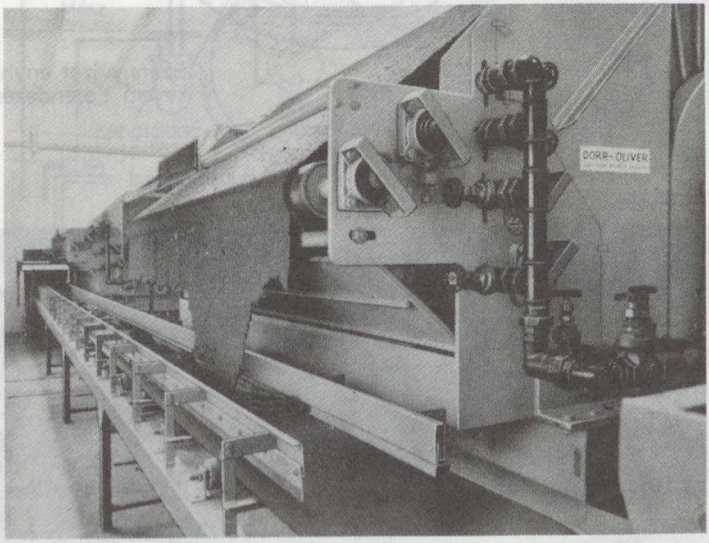
A vákuumdobszűrő vízszintes hengeres forgó dob, ami részlegesen (20–40%) iszaptartályba merül *(106. ábra)*. A szűrődob funkcionális szempontból 3 szektortérre osztott. Mindegyik szektor forgószeleppel van összekötve, csővezeték révén. A három szektor:

– az iszaplepény-képződés szektora,
– az iszaplepény-víztelenedés szektora és
– az iszaplepény-leválasztás szektora (zónája).



106. ábra. Forgó, vízszintes hengeres vákuumdobszűrő üzemeltetési szektorai

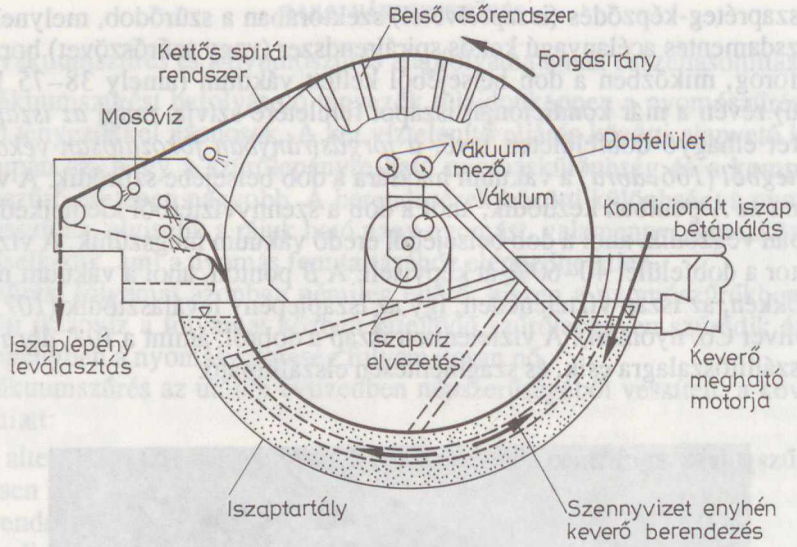
Az iszapréteg-képződés (iszapfelvétel) szektorában a szűrődob, melynek felületét rozsdamentes acélanyagú kettős spirálrendszer (vagy szűrőszövet) borítja be, lassan forog, miközben a dob belsejéből keltett vákuum (amely 38–75 Hg cm mértékű) révén a már kondicionált iszapot felületére szívja, majd *az iszapvíz* az iszapteret elhagyó dobfelületen lévő, *a forgásirányban fokozatosan vékonyodó iszaprétegből (106. ábra)* a vákuum hatására a dob belsejébe szűrődik. A víztelenítő zóna az *A* pontban kezdődik, ahol a dob a szennyvíztérből kiemelkedik és a *B* pontban végződik, ahol a dob belsejéből eredő vákuum megszűnik. A víztelenítő szektor a dobfelület 40–60%-át képviseli. A *B* ponton, ahol a vákuum már zéróra csökken, az iszap víztelenedett, így az iszaplepény leválasztódik (*107. ábra;* Dorr-Oliver Co. nyomán). A víztelenített iszap a dobról, amint a *107. ábra* szemlélteti, szállítószalagra esik, és szagmentesen elszállítható.



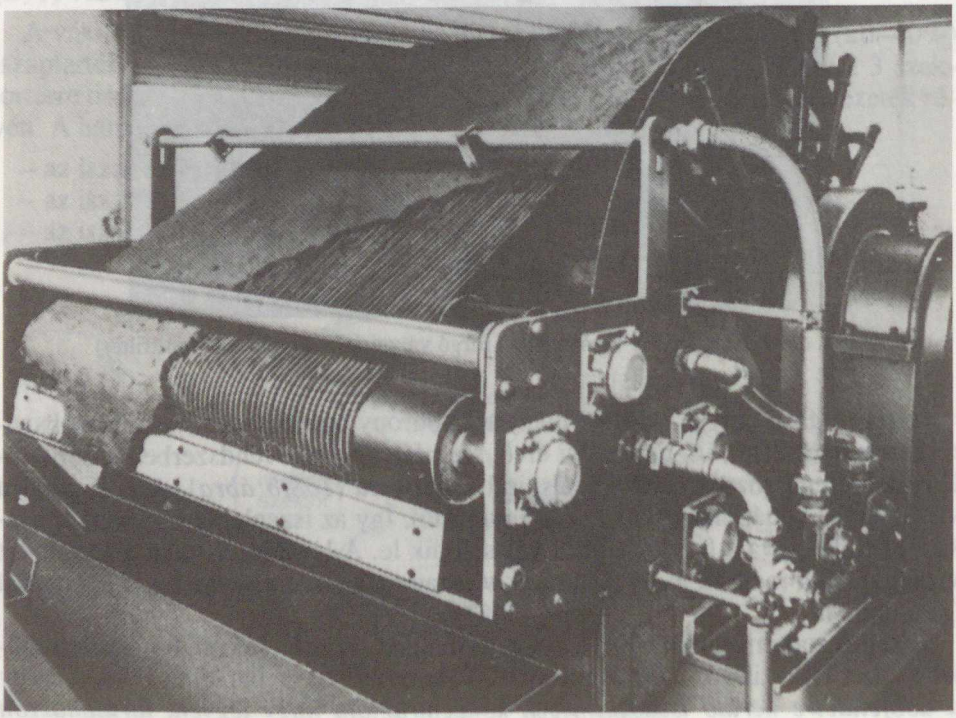
107. ábra. Iszaplepény-leválasztás a forgó vákuumdob felületéről (coilfilter)

A *108/a ábra* (EPA, 1979 nyomán) acélsodrony-spirálcsöves, vákuumdobszűrő keresztmetszetét, ill. működési elvét szemlélteti. Ezen rendszerben a dobfelületre kétrétegű rozsdamentes acélspirál fekszik rá *(108/b ábra).* A két spirál a víztelenítési zónát elhagyva elválik egymástól. Így az iszaplepény az alsó spirálszövetet elhagyva a felső spirálról választódik le. A leválasztás után a spirálokat vízsugarakkal mossák le, és a spirálok visszatérnek a szennyvíztérbe a *C* pontnál *(106. ábra).*

A kettős sodronyspirál 7–14%-nyi nyílásfelületű, ami azt jelenti, hogy a dobfelületre a kezdeti szilárd anyagszemcsékből „alapszűrőréteg" jön létre. Fontos, hogy *a dobfelületre kerülő iszapszemcsék koncentrációja nagy legyen, tartalmazzon elegendő szálas anyagot is, úgy az iszap nem jut be a nyílásokon át a dob belsejébe. A nagyon finom szemcséjű, pelyhesedésre nem hajlamos iszapok vákuumdobszűréssel gyengén víztelenithetők, és a szilárd szemcsék visszatartása is nehezebb.*



108/a ábra



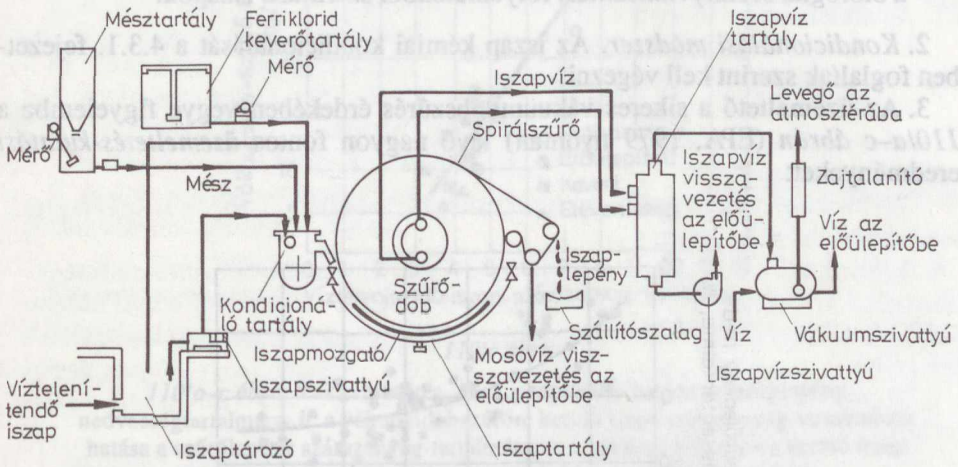
108/b ábra

108/a–b ábra. Acélsodrony-spirálcsöves vákuumszűrő (coilfilter) keresztmetszete, működési elve

Az iszaplepény-formálódás kezdeti időszakában a szilárdanyag-veszteség nagymértékű.

A zömmel utóülepített, nem sűrített iszapok esetében az eredményes víztelenítés érdekében a dobfelületet szűrőszövettel kell borítani (EPA, 1979).

Vákuumdobszűrős iszapvíztelenítő rendszert a *109. ábra* szemléltet (EPA, 1979 nyomán).



109. ábra. Forgó vákuumdobos víztelenítő rendszer

(C) Az üzemeltetést befolyásoló tényezők

Az üzemeltetést befolyásoló tényezők:

– az iszap fajtája, minősége,
– kondicionálás (fajta és dózis),
– az alkalmazott vákuum,
– dob forgási sebessége (vagy ciklusidő),
– a dob iszaptartályba merülése,
– a dobfelületen lévő média (sodronyspirál, szűrőszövet) típusa és annak állapota,
– a mosóvíz mennyisége,
– az iszap mozgatása a dob alatti iszaptartályban.

Az üzemeltetőnek tudnia kell, hogy *a vákuumdobszűrést a következő tényezők drasztikusan befolyásolják:*

1. *Az iszap fajtája:* az utóülepített iszap, legyen az rothasztott vagy rothasztás nélküli, a vákuumdobszűréssel nehezen víztelenítheto, mert nem víztelenedik eléggé, és így a spirálszövet vagy a szűrőszövet felületéről nehezen választható le. De a termikusan kondicionált utóülepített iszapok vákuumdobszűrővel hatékonyan víztelenítheto (Tortorici és Stahl, 1989). A termikus úton nem kondicionált

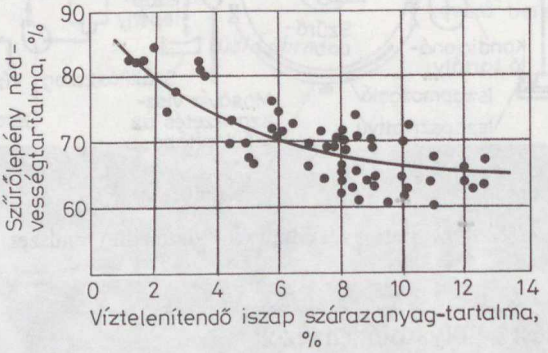
utóülepítő iszapok általában még szélsőségesen nagy mész- és ferriklorid kondicionálószer-adagok esetében sem víztelenithetők hatékonyan. Az ilyen iszapokat a hatékony víztelenítés elérése érdekében *rendszerint előülepített iszappal kell keverni a vákuumos víztelenítés előtt.*

Az előzőekkel összefüggésben az üzemeltetési tapasztalatok szerint általában

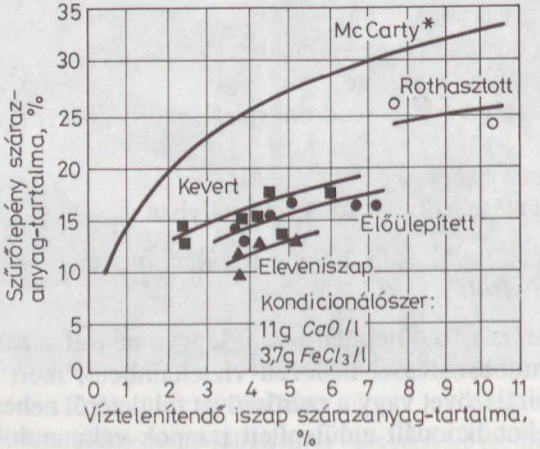
– az előülepített iszapok kevesebb kondicionálószer-igényűek, mint
– a biológiai szennyvíztisztítási folyamatokból származó iszapok.

2. *Kondicionálási módszer.* Az iszap kémiai kondicionálását a 4.3.1. fejezetben foglaltak szerint kell végezni.

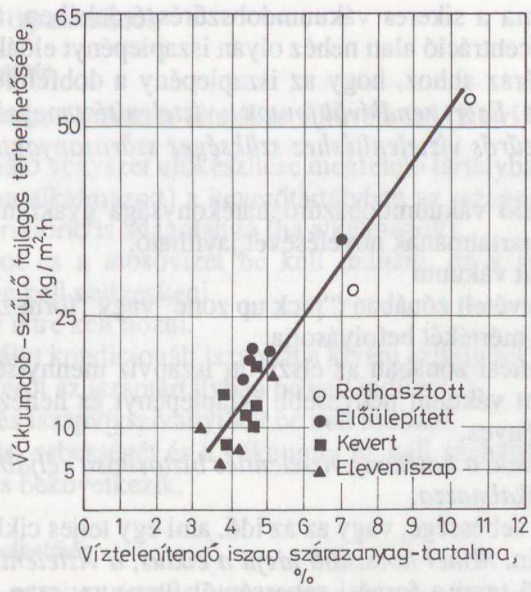
3. Az üzemeltető a sikeres vákuumdobszűrés érdekében vegye figyelembe a *110/a–c ábrán* (EPA, 1979 nyomán) lévő nagyon fontos *üzemeltetés-kutatási* eredményeket:



110/a ábra



110/b ábra



110/c ábra

110/a–c ábra. Vákuumszűrés. *a:* az iszapsűrítés hatása az iszaplepény nedvességtartalmára; *b:* a vákuumdobszűrőre kerülő iszap szárazanyag-tartalmának hatása a szűrőlepény szárazanyag-tartalmára; *c:* a vákuumdobszűrőre kerülő iszap szárazanyag-tartalmának hatása a szűrő fajlagos terhelhetőségére

a ábra: a sűrítés szerepe a szűrőlepény nedvességtartalmának befolyásolásában alapvető,

b–c ábra: a vákuumdobszűrőre juttatott iszap szárazanyag-tartalma kritikus hatású a

– szűrőlepény szárazanyag-tartalmára *(b ábra)* és
– a vákuumdobszűrő fajlagos terhelhetőségére *(c ábra).*

4. Arra is gondolni kell, hogy a települési szennyvíziszapok (előülepített iszap + eleveniszap) összes szilárdanyag- (szárazanyag-) tartalma kb. 5–6% fölé nem növelhető, mert ezen koncentráció felett az iszap *nehezen* szivattyúzható, nehezen keverhető össze a kondicionálószerrel, és nehezen juttatható fel a dobfelületre. A vákuumdobszűrő fajlagos terhelése, a nagyobb szárazanyag-tartalom hiányában, csak nagyobb vegyszerdózissal növelhető, azonban az iszaplepény nedvességtartalma nagyobb marad. Mindezen tényezők

– a víztelenítés és
– az elhelyezés

költségeit is természetesen befolyásolják.

5. *További fontos üzemeltetési tapasztalatok* (EPA, 1979; Tortorici és Stahl, Kerri et al., 1989): a víztelenítendő iszap (előülepített + eleveniszap) minimális

szárazanyag-tartalma a sikeres vákuumdobszűrés érdekében, általában 3%-nak tekintett. Ezen koncentráció alatt nehéz olyan iszaplepényt előállítani, amely elég sűrű vagy elég száraz ahhoz, hogy az iszaplepény a dobfelületről könnyen lecsúsztatható legyen. *Ezért rendkívül fontos a víztelenítést megelőző iszapkezelésnél a vákuumdobszűrős víztelenítéshez szükséges szárazanyagtartalom-igény kielégítése.*

6. A már üzemelő vákuumdobszűrő hatékonysága gyakran a víztelenítendő iszap szárazanyag-tartalmának növelésével javítható.

7. Az alkalmazott vákuum

7.1. az iszapfelvételi zónában ("pick up zone" vagy "form zone") az iszapfelvétel sebességét és mértékét befolyásolja,

7.2. a víztelenítési zónában az elszívott iszapvíz mennyiségét befolyásolja,

7.3. a csökkent vákuum nedvesebb iszaplepényt és nehezebb iszaplepény-leválasztást eredményez,

7.4. *az üzemeltető a hatékony víztelenítés biztosítása céljából a lehető legnagyobb vákuumot alkalmazza.*

8. A dob forgási sebessége, vagy az az idő, ami egy teljes ciklushoz szükséges, jellemzően 2–6 min. *Minél hosszabb idejű a ciklus, a víztelenítés annál hatékonyabb.* A ciklusidő (ami a forgási sebességtől függ) az iszap víztelenítését két úton segíti:

8.1. az iszapfelvétel mértékét, az iszapréteg-képződés vastagságát szabályozza,

8.2. attól függ, hogy az iszap meddig tartózkodik a víztelenítési zónában,

8.3. *az üzemeltető a lehető legkisebb forgási sebességet tartson fenn, mert ezáltal az elérhető víztelenítés maximális mértékű,*

8.4. a dob forgási sebessége természetesen egyben a nettó szűrőterhelést is szabályozza. A forgási sebesség növelésével a nettó szűrőterhelés és a napi víztelenítheto iszapmennyiség is nő.

9. A dob szennyvíztérbe merülési mélysége az iszapfelvétel mértékét és a szűrő teljesítményét egyaránt befolyásolja. Nagyobb merülési mélység esetében a dobfelület több iszapot vesz fel, és a szűrő napi fajlagos terhelése is kissé nő.

10. Az iszaptartályban az iszap szintje soha ne kerüljön olyan szint alá, amely már vákuumveszteséget, ezáltal szűrőteljesítmény-, ill. -hatékonyság-csökkenést eredményez.

11. A dobfelületen lévő sodronyspirál vagy a szűrőszövet jól választandó meg, az iszap tulajdonságaival összhangban legyen. Ha a porozitása túl nagy, a szuszpendált szilárd anyagokat visszatartó képessége csökken, a finom, kis koncentrációjú részecskék átjutnak rajta. Ha a sodronyspirál vagy a szűrőszövet finom részecskékkel, kémiai csapadékkal eltömődik, az iszapfelvétel kisebb mértékűvé válik, és így a vákuumdobszűrő üzemeltetése lehetetlen lesz. *Éppen ezért az üzemeltető a sodronyspirál vagy szűrőszövet megfelelő mosásáról feltétlenül gondoskodjék.*

(D) Üzemeltetési tapasztalatok

Az üzemeltetés menete

A normál üzemeltetés menete általában a következő (Kerri et al., 1989):

1. A kondicionáló vegyszer előkészítése megfelelő tartályban.
2. A meszet (ha alkalmazott) a keverőtartályban az iszappal kontaktusba kell hozni és/vagy ferriklorid is adagolandó (ha alkalmazott).
3. A szűrődobot és a mosóvizet be kell indítani, és a sodronyspirált vagy szűrőszövetet meg kell nedvesíteni.
4. A vákuumot létre kell hozni.
5. Az iszaptartályt kondicionált iszappal a kívánt szintig fel kell tölteni.
6. Az iszapkeverőt az iszaptartályban be kell indítani.
7. A vákuum- és iszapvízszivattyúkat be kell indítani.
8. A dob forgási sebességét és a vákuumot be kell szabályozni addig, amíg a kívánt víztelenítés bekövetkezik.

Szárazanyag-terhelhetőség

A vákuumdobszűrő különböző szárazanyag-tartalmú iszapokkal az *54. táblázat*nak megfelelően terhelhető (Notes on Water Pollution, 1970).

54. táblázat. Vákuumdobszűrő szárazanyag-terhelhetősége

Víztelenítendő iszap szárazanyag-tartalma, %	Fajlagos terhelés, kg száraz anyag/$m^2 \cdot h$	
	Nedves lepény szárazanyag-tartalma	
	8%	12%
2,0	10	9
3,0	15	12
4,0	21	16
5,0	31	20
6,0	51	26

Megállapítható: komplex függőség létezik a dobszűrő fajlagos szárazanyag-terhelése, az iszap és a lepény szárazanyag-tartalma között.

Berendezésfelügyeleti program

A vákuumdobszűrő üzemeltetése meglehetősen komplex folyamat. Ennek megfelelően a felügyeleti program létrehozása és gondos végrehajtása a biztonságos, hatékony üzemeltetés fontos alapja (Nelson és Tavery, 1978):

Mészrendszer

Oltás

a) Súlymérés elvén működő adagoló ellenőrzése (naponta).
b) Mésztároló adagolószerelvény ellenőrzése (4 hetente).
c) Adagoló és oltó közötti csúszda tisztítása (naponta).
d) Permetezőfejek és szűrőfelületek tisztítása (naponta).
e) Gőzelvezető csőrendszer tisztítása (naponta).
f) Gőzeltávolító csövek savas tisztítása (4 hetente).
g) Oltóberendezés belsejének tisztítása (4 hetente).
h) Kőeltávolító tér és a szállítószalag tisztítása (naponta).
i) Oltóberendezés és a padlócsatornák mosása (naponta).
j) Adagoló kalibrálása (hetente).

Napi adagolótartályt töltő vezeték

a) Mechanikus tisztítás pl. csőgörénnyel (naponta).
b) Tisztítás savazással (13 hetente).
c) Vezeték cseréje (évente).

Napi tartály

a) Kőgyűjtő tér ürítése és öblítése (naponta).
b) Napi mésztartály tisztítása (félévente).

Mészszivattyúk

a) Kalibrálás (8 hetente).
b) Nyomó- és szívócsőöblítés, felülvizsgálat (naponta).
c) Tisztítás savval (4 hetente).
d) Szívó- és nyomószelepgolyók és szelepülék vizsgálata (8 hetente).
e) Szivattyúmembránok ellenőrzése (félévente).

Ferriklorid-rendszer

Ferriklorid-szivattyúk

a) Kalibráció (8 hetente).

Légüst

a) Öblítés (szükség szerint).

Polimerrendszer

Polimerszivattyúk

a) Kalibrálás (8 hetente).

Adagoló

a) Kalibrálás (8 hetente).

Szűrőberendezés elemei

Kondicionálótartályok

a) Tartály felülvizsgálata (félévente).
b) Mészbevezetés felülvizsgálata (4 hetente).
c) Tartályok kimosása (naponta).

Szűrletszivattyúk

a) Szivattyúk tisztítása (naponta).
b) Szelepgolyók és szelepülék vizsgálata (13 hetente).

Szűrők

a) Szűrődob, tengelyek stb. mosása (naponta).

b) Durva szűrő tisztítása (naponta).
c) Eltömődött permetező- (öblítővíz-) fúvókák ellenőrzése (naponta).
d) Öblítővíz- (permetvíz-) gyűjtő és -elvezető vezeték tisztítása (naponta).
e) Adagolótálca és -elosztók felülvizsgálata (4 hetente).
f) Szűrőmédia (szűrőszövet, ill. sodronyspirál) helyzetének ellenőrzése (naponta).
g) Szűrőmédia (szűrőszövet, ill. sodronyspirál) savas tisztítása (600–800 szűrési óra után).

Vákuumszivattyú
a) Vízrotaméter felülvizsgálata (13 hetente).

Iszaprendszer
Szivattyúk
a) Szivattyúk átöblítése (naponta).
b) Kalibráció (8 hetente).

Vezetékek
a) Indukciós mennyiségmérő mosása (4 hetente).
b) Visszacsapó szelep működtetése (13 hetente).

Szállítószalag
a) Szállítószalag tisztítása (naponta).

Ez a program szolgáljon *mintaként* egyéb folyamatok programjának szükségszerű összeállításához és birtoklásához is. *Az üzemeltető feladatát csak ilyen programok alapján, a benne foglalt követelmények szigorú betartásával tudja felelősségteljesen végrehajtani.*

A vákuumdobszűrővel víztelenített iszaplepény koncentrációja (szárazanyag-tartalma)

A vákuumdobszűrőről lekerülő iszaplepény szárazanyag-tartalma különböző fajta iszapok esetében az *55. táblázat*ban adott (Miorin et al., 1977).

55. táblázat. Iszaplepény szárazanyag-tartalma különböző fajta iszapok esetében

Iszapfajta	Iszaplepény szárazanyag-tartalma, %	Fajlagos iszapterhelés, $kg/m^2 \cdot h$
Előülepített	25–30	24–49
Előülepített + csepegtetőtestes humusziszap	20–26	15–30
Előülepített + eleveniszap	16–24	10–24
Eleveniszap	12–18	5–10
Anaerob rothasztású előülepített iszap + csepegtetőtestes humusziszap	20–28	15–30
Anaerob rothasztású előülepített + eleveniszap	20–24	15–24
Mésszel kondicionált iszap: előülepített		
kevés mész	25–30	15–30
sok mész	30–40	24–49
Polielektrolittal kondicionált iszap: előülepített	25–38	39–49

(E) A vákuumdobszűrők üzemeltetési zavarai, okai, felismerésük, kiküszöbölésük

56. táblázat. A vákuumdobszűrők lehetséges üzemeltetési zavarai, okai, felismerésük, kiküszöbölésük

(Culp és Heim, 1978; Mészáros, 1994; Öllős, 1994; Szilágyi, 1994; Wagner, 1994; Nagyistók és Fodor, 1994)

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölés
1. Vákuum megszűnése	1a Vákuumszivattyúnak nincs záróvize	1a Nyomásérzékelő műszer	1a Vezetékek, szelepek ellenőrzése, szükség szerinti tisztítása
	1b Vákuumosztófej tömítetlenség	1b Zsírzótartályban a zsírmenyiség és a zsírzómotor ellenőrzése	1b Zsírzótartály feltöltése, motor indítása, vezetékek tisztítása
	1c Vákuumosztófej-elmozdulás	1c Tömítetlenség ellenőrzése	1c Vákuumosztófej beállítása
	1d Szűrőszövet elcsúszása a dobon	1d Szűrőszövet helyzetének ellenőrzése	1d Vezető- és feszítőelemek beszabályozása, javítása
2. Hamis levegőbeszívás	2a Szűrőszövet-szakadás	2a Szemrevételezés	2a Szűrőszövet javítása, csere, vezeték tisztítása
	2b Vákuumvezetékben dugulás		2b Vezeték tisztítása
3. Szűrőszövet-félrecsúszás, elmozdulás	3a Vezetőgörgők hibás beállítása	3a Szemrevételezés	3a Görgőhelyzet-újraszabályozás
	3b Egyenetlen szűrőszövetnyúlás	3b Szemrevételezés	3b Szűrőszövetcsere
4. Eltömődött szűrőszövet	4a Túlzott mértékű mészadagolás	4a Vákuummérés, szemrevételezés	4a Vegyszeradagolás optimalizálása
5. Túl vékony iszaplepény	5a Dob nagy forgási sebessége	5a Szemrevételezés	5a Forgási sebesség csökkentése
	5b Helytelen vegyszeradagolás	5b Labormérés	5b Vegyszeradagolás beállítása
	5c Híg iszap	5c Iszapkoncentráció	5c Sűrítés-, ill. vegyszeradagolás optimalizálása
6. Szűrlet (iszapvíz) lebegőanyag-tartalma nagy	6a Kondicionálás nem megfelelő	6a Vegyszeradagolás ellenőrzése	6a Vegyszeradagolók beállítása, ill. vegyszeradagolás optimalizálása
	6b Szűrőmédia (szűrőszövet, ill. sodronyspirál) helytelen megválasztása, eltömődése vagy szakadása	6b Szemrevételezés, vákuumellenőrzés, vegyszeradagolás ellenőrzése	6b Szűrőmédia (szűrőszövet, ill. sodronyspirál) javítása, cseréje, vegyszeradagolók kalibrálása, vegyszeradagolás optimalizálása

56. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölés
	6c Szűrési ciklus kezdetén jelentkezve	6c Szűrlet lebegőanyag-koncentrációja	6c Szűrőmédia (szűrőszövet, ill. sodronyspirál) formálódás kivárása, mosás vízzel, detergenssel, gőzzel, vagy csere
7. Gyenge iszaplepény-leválás	7a Légkés eltömődött, vagy beállítása nem megfelelő	7a Légkéshézag ellenőrzése	7a Légkéshézag tisztítása, beállítása
	7b Elégtelen sűrített-levegő-nyomás	7b Sűrített levegő nyomásának ellenőrzése	7b Kompresszor levegőszűrőjének tisztítása, cseréje, kompresszor javítása
	7c Szűrőmédia-mosás problémái: alacsony mosóviznyomás, fúvókák eltömődése, mosóvízszűrő eltömődése	7c Víznyomás ellenőrzése	7c Vízszűrők, fúvókák tisztítása, cseréje, mosóvízszivattyúk javítása
	7d Dobszűrőszegmensek és vákuumvezetékek eltömődése (mészlerakódás)	7d Dobszegmensek ellenőrzése	7d Szegmensek mechanikus, ill. sósavas tisztítása
	7e Szűrőmédia dobra szerelése hibás	7e Szűrőmédia szemrevételezése	7e Szűrőmédia-elrendezés javítása
	7f Szűrőmédia szakadt	7f Szűrőmédia szemrevételezése	7f Szűrőmédia javítása, ill. cseréje
	7g Vákuumszivattyúk hibásak	7g Vákuummérés	7g Mint 15.
	7h Dob forgása túl gyors, ciklusidő túl rövid	7h Dob forgási sebessége	7h Dobfordulatszám csökkentése
	7i Kondicionálás nem megfelelő	7i Kondicionáló rendszer	7i Kondicionálás beállítása, ill. beszabályozása
	7j Szűrőmédia-eltömődés (rendszerint akkor, ha az iszapfelvevő zónában gyenge az ún. alaprétegképződés, ill. ha az iszap a víztelenítő zónában gyengén víztelenedik)	7j Szemrevételezés	7j Szűrőmédia tisztítása

56. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölés
8. Gyenge iszaplepény-formálódás	8a Utóülepített iszap-arány túl nagy	8a Szervesanyag-arány meghatározása	8a Szennyvíztisztító rendszer optimalizálása
	8b Nem megfelelően megválasztott szűrőmédia	8b Szűrletvíz lebegőanyag-koncentráció meghatározása	8b Az adott iszapminőséghez megfelelő szűrőmédia alkalmazása
	8c Szűrletvíz-elvezetés elégtelensége	8c Szűrletvízszint ellenőrzése a vákuumtartályban	8c Szűrletvízvezeték, visszacsapó szelep, szivattyú tisztítása, ill. javítása
9. Gyengén víztelenített, vékony iszaplepény	9a Szűrőmédia-eltömődés	9a Szűrőmédia szemrevételezése	9a Vegyszeradagoló újrakalibrálása
	9b Helytelen vegyszeradagolás	9b Vegyszeradag	9b Vegyszeradagoló újrakalibrálása
	9c Elégtelen vákuum	9c Vákuummérés, tömítettség-ellenőrzés	9c Vákuumrendszer javítása
	9d Dob forgási sebessége túl gyors	9d Dob forgási sebessége	9d Dob forgási sebességének csökkentése
	9e Dob kevéssé merül az iszapba	9e Dob iszapba merülése	9e Dob iszapba merülésének növelése
10. Vákuumszivattyú leáll	10a Áramszünet	10a Motorvédő kapcsoló kioldott	10a Bekapcsolás, ill. a kapcsoló beállítása, vagy a hibás kapcsoló cseréje
	10b Záróvízhiány	10b Záróvízellátás	10b Záróvízellátás újraindítása
	10c Vákuumszivattyú ékszíja szakadt	10c Ékszíj	10c Ékszíjcsere
11. Dob forgása megszűnik	11a Áramszünet	11a Motorvédő kapcsoló kioldott	11a Bekapcsolás, ill. a kapcsoló beállítása vagy cseréje
12. Tartálynál rezgések	12a Iszapvízszivattyú eltömődött	12a Iszapvízszivattyú által szállított iszap	12a Szivattyú leállítása és tisztítása
	12b Laza csavar vagy tömítés a megfigyelt elemnél	12b Megfigyelt elem	12b Csavar meghúzása, megfelelő tömítés
	12c Kopott szelepgolyó a szűrletszivattyúban	12c Szelepgolyó	12c Szelepgolyó cseréje

56. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölés
	12d Levegőszivárgás a szívóvezetéknél	12d Szívóvezeték	12d Szivárgás elzárása (tömítés)
	12e Szennyezett dobfelület	12e Dob felülete	12e Dobfelület tisztítása vízsugárral
	12f Tömítőszalagok hibásak	12f Dob	12f Tömítőszalagok cseréje
13. Magas szint a dob alatti tartályban	13a Kémiai kondicionálás nem megfelelő	13a Koagulálószer-adagoló	13a Vegyszeradagolás módosítása
	13b Iszapterhelés túl nagy	13b Iszap-, ill. lebegőanyag-terhelés (hozam)	13b Iszapterhelés csökkentése
	13c Dob forgási sebessége túl kicsi	13c Dob forgási sebessége	13c Dob forgási sebességének növelése
	13d Szűrletszivattyú leáll vagy eltömődött	13d Szűrletszivattyú	13d Szűrletszivattyú bekapcsolása vagy tisztítása
	13e Elvezetőcső eldugult	13e Elvezetőcső	13e Elvezetővezetékek tisztítása
	13f Vákuumszivattyú leáll	13f Vákuumszivattyú üzeme	13f Vákuumszivattyú javítása vagy cseréje
	13g Tömítőszalagok hibásak	13g Dob	13g Tömítőszalagok cseréje
14. Alacsony szint a dob alatti tartályban	14a Iszapterhelés túl kevés	14a Iszaphozam	14a Iszaphozam növelése
	14b Tartályürítő szerelvény nyitva	14b Dob alatti tartály	14b Tartályürítő szerelvény zárása
15. Vákuumszivattyú áramfelvétele túl nagy	15a Szűrletszivattyú eltömődött	15a Szűrletszivatytyú-nyomócsonk	15a Szivattyú leállítása és tisztítása
	15b Koagulálószer-adagolás nem megfelelő	15b Koagulálószer-adagolás	15b Koagulálószer-adagolás módosítása
	15c Túl magas szint a vákuumtartályban	15c Mint 13.	15c Mint 13.
	15d Vákuumszivattyúk hűtővize túl sok	15d Hűtővízhozam	15d Hűtővízhozam csökkentése
16. Lerakódásképződés a vákuumszivattyúban	16a Kemény, instabil víz	16a Vákuumszivattyú	16a Lágyítószer adagolása
17. Vákuumvesztés	17a Szűrőmédia hibás felrakása a dob felületére	17a Szűrőmédia szemrevételezése	17a Szűrőmédia újrafelrakása

56. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölés
17. Vákuum-vesztés	17b Szűrőmédia-szakadás	17b Szűrőmédia szemrevételezése	17b Szűrőmédia javítása vagy cseréje
	17c A dob alatti iszaptartály üres	17c Iszapszint-ellenőrzés	17c Iszaptartály feltöltése
	17d Vákuumszivattyú meghibásodott	17d Vákuumszivattyú üzeme	17d Vákuumszivattyú indítása, ill. javítása
18. Gyenge alapréteg-képződés	18a Mint 6., 7., 17.	18a Mint 6., 7., 17.	18a Mint 6., 7., 17.
	18b Eltömődött szűrőmédia	18b Szűrőmédia szemrevételezése, vákuummérés	18b Szűrőmédia tisztítása
19. Kondicionálószer-adag és a víztelenítés mértéke időszakonként nem megfelelő	19a Betáplált iszap minőségének drasztikus változása (iszapkoncentráció a normálisnál kisebb vagy nagyobb)	19a Betáplált iszap koncentrációja	19a Kondicionálószer-adagot az iszapkoncentrációval összhangba kell hozni. Adagot csökkenteni vagy növelni kell. Ez a feladat minden változás után ismétlődik
20. Elégtelen szilárdanyag-felfogás	20a Nem megfelelő szűrőmédia	20a Szűrlet vizsgálata	20a Különböző szűrőmédiák vizsgálata. Média cseréje a legmegfelelőbbre
21. Nem megfelelő fajtájú kondicionálószer	21. Különböző üzemeltetési zavarok (gyenge minőségű iszaplepény stb.)	21. Kondicionálószer megfelelő-e?	21. Különböző kondicionálószerek és dózisok vizsgálata. Optimalizálás
22. Szűrletvezeték eltömődése	22a Nincs gondoskodás a tisztításáról	22a Szűrletvezeték üzeme	22a Mindenkori tisztíthatóság biztosítása
23. Iszaplepény-formálódás a vegyszeradagolás dacára túl lassú	23a Iszapminőség, kondicionálás, szűrőmédia nincs összhangban	23a Iszaplepény-formálódás	23a Alapréteg felhordása a szűrőre megfontolandó
24. Iszapvíztelenítés nehézkes	24a Iszappelyhek törékenyek	24a Iszappelyhek	24a Kondicionálás optimalizálása
25. Iszap rosszul (vagy egyáltalán nem) pelyhesedik, iszaplepény	25a Iszap híg	25a Koncentráció-mérés	25a Forgódob alatti iszaptartály leürítése, újraindítás megfelelő koncentrációjú iszappal

56. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölés
tapadós, magas víztartalmú	25b Valamelyik kondicionálószer teljesen hiányzik	25b Adagolószivattyúk, vezetékek, szerelvények ellenőrzése	25b Megfelelő üzemi állapot beállítása
	25c Iszap/vegyszer-arány nem megfelelő	25c Adagolóberendezések (szivattyúk) működésének ellenőrzése	25c Beállítások korrekciója, kopott alkatrészek szükség szerinti cseréje
	25d Bekeverés nem megfelelő	25d Keverőberendezés működésének ellenőrzése	25d Szükséges beállítások, javítások elvégzése
	25e Felhasznált vegyszer minősége (hatóanyag-tartalma) nem megfelelő	25e Laboratóriumi mérés	25e Adagolás korrekciója, egyeztetés a vegyszerszállítóval
	25f Vegyszer hígítása, adagolása hibás	25f Beállítások ellenőrzése, laboratóriumi vizsgálat	25f Hígítások (adagolás) helyes beállítása
	25g Megváltozott iszapminőség	25g Laboratóriumi mérések	25g Vízgyűjtő terület stb. vizsgálata
26. Oldatkészítés (polielektrolit és mészhidrát) nem megfelelő	26a Hígítási arány nem megfelelő	26a Koncentráció mérése	26a Koncentráció beállítása
	26b Oldat átkeverése nem megfelelő	26b Keverőberendezés ellenőrzése	26b Keverőberendezés beállítása, javítása
	26c Kondicionálószer hőmérséklete alacsony	26c Hőmérséklet ellenőrzése	26c A kondicionálószer felmelegítése
27. Kondicionálószer mennyisége nem megfelelő	27a Iszapminőség- és -mennyiségváltozás	27a Iszapminőség és -mennyiség vizsgálata	27a Kondicionálószer mennyiségének beállítása (laboratóriumi ellenőrzés)
28. Kondicionálószer-adagolás nem megfelelő	28a Adagoló meghibásodása	28a Adagolt mennyiség ellenőrzése	28a Az adagoló beállítása, javítása
	28b Kondicionálószer kiülepedése, lerakódása az oldótartályban, vezetékekben	28b Oldótartály, vezetékek ellenőrzése	28b Oldótartály, vezetékek tisztítása

56. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölés
	28c Adagolószivattyú nem megfelelő üzemelése	28c Szállított folyadékmennyiség ellenőrzése	28c Szivattyú javítása
29. Elégtelen víznyomás a mosósugaraknál	29a Tervezési vagy üzemeltetési hiba	29a Nyomás mérése	29a Nyomásfokozó szivattyú alkalmazása, hogy minimálisan 1 MPa nyomás fenntartható legyen
	PTA 3/2 típusú tárcsás vákuumszűrő[1]		
1. Vékony iszaplepény	1a Tárcsa fordulatszáma nagy 1b Szűrőszövet eltömődött 1c A víztelenítendő iszap szárazanyag-tartalma kicsi	1a Tárcsafordulatszám 1b Vákuum- és lefúvásellenőrzés tiszta víz feltöl-téssel 1c Iszapindexmérés, szárazanyagtartalom-mérés	1a Tárcsafordulatszám csökkentése 1b Szűrőszövetmosás, ill. -csere 1c Víztelenítés szüneteltetése a szükséges szárazanyag-tartalom eléréséig
2. Nedves iszaplepény	2a Mint 1a, 1b 2b Kondicionálás nem megfelelő 2c Vákuum kisebb a szükségesnél 2d Szűrletvízszivattyú üzeme nem megfelelő	2a Mint 1a, 1b 2b Kondicionált iszap pH-értékének mérése 2c Vákuumszivattyú ellenőrzése 2d Szűrletvízszint, szűrletszivattyú vízszállítás	2a Mint 1a, 1b 2b Vegyszeradagolások módosítása 2c Vákuumszivattyú karbantartása, javítása 2d Szűrletvízszivattyú karbantartása, javítása
3. Az iszaplepény nehezen válik le a szűrőszövetről	3a Mint 1b 3b Kompresszor üzeme nem megfelelő	3a Mint 1b 3b Kompresszor-üzem, nyomáskapcsolók	3a Mint 1b 3b Kompresszor karbantartása, javítása. Nyomáskapcsolók állítása vagy cseréje

Megjegyzés:

[1] Az előülepített és utóülepített iszapok aerob úton stabilizáltak (felületi levegőztetés, Dorr-típusú gravitációs iszapsűrítő).

Kondicionálószerek: Vas(II)-szulfát és mészhidrát.

(F) Kérdések

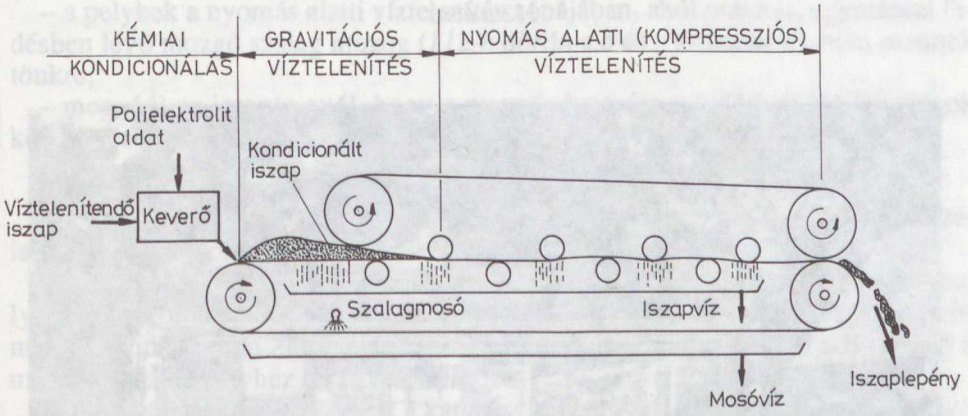
1. Mi a közös és eltérő a nyomószűrés és a vákuumos iszapvíztelenítési folyamat között? [4.4.8.3. (A) fejezet.]
2. Mi a vákuumdoszűrés működési elve? [4.4.8.3. (B) fejezet; *106.*, *107.* és *108. ábra.*]
3. Melyek az „alapszűrőréteg" kialakulásának feltételei? [4.4.8.3. (B) fejezet.]
4. Melyek a jellemzői az iszapvíztelenítő rendszernek? [4.4.8.3. (B) fejezet; *109. ábra.*]

5. Melyek a vákuumdoszűrés legfontosabb befolyásoló tényezői? [4.4.8.3. (C) fejezet.]
6. Mi a szerepe a szűrődobra kerülő iszap szárazanyag-tartalmának? [4.4.8.3. (C) fejezet; *110/a–c ábra.*]
7. Mi a szerepe a dob forgási sebességének és a vákuum mértékének? [4.4.8.3. (C) fejezet.]
8. Mikor kell sodronyspirált és mikor szűrőszövetet alkalmazni? [4.4.8.3. (C) fejezet.]
9. Mekkora az iszaplepény szárazanyag-tartalma különböző fajta iszapok esetében? [4.4.8.3. (D) fejezet; *55. táblázat.*]
10. Melyek a jellegzetes üzemeltetési hibák? [4.4.8.3. (E) fejezet.]

4.4.8.4. SZALAGSZŰRŐPRÉS

A fejlődés során, számos gyártó cég többféle kialakítású és üzemű szalagszűrőprést hozott létre (EPA, 1987; Austin, 1978; NCASI, 1978; Dembitz, 1978; Task Committee on Belt Filter Presses, 1988). A fejlődést elsősorban az ipari felhasználók igénye, ill. a vákuumdobszűrővel kialakult verseny hozta létre.

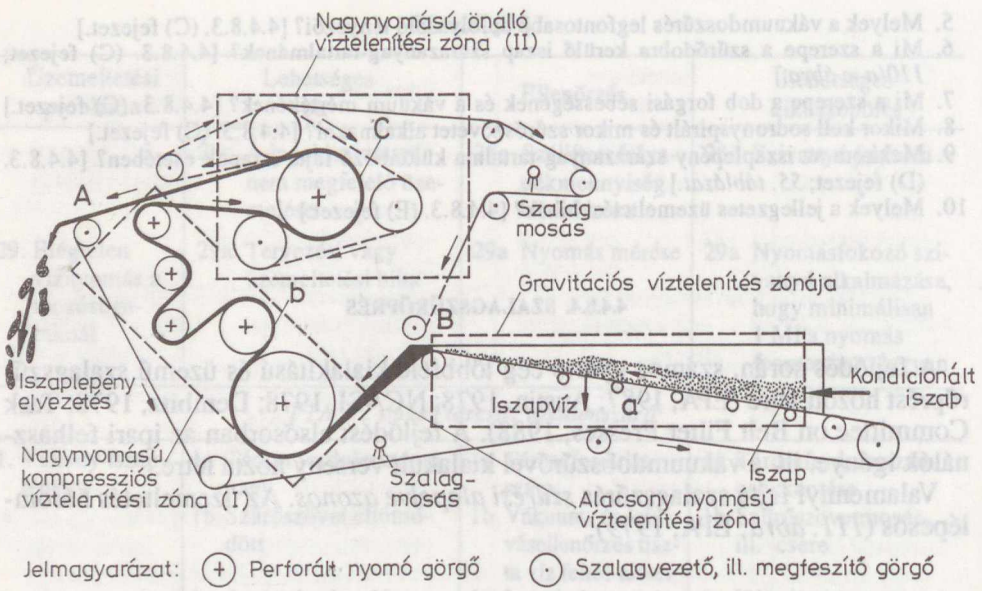
Valamennyi fajta szalagszűrés *szűrési alapelve azonos*. Az üzemeltetés háromlépcsős (*111. ábra;* EPA, 1979):



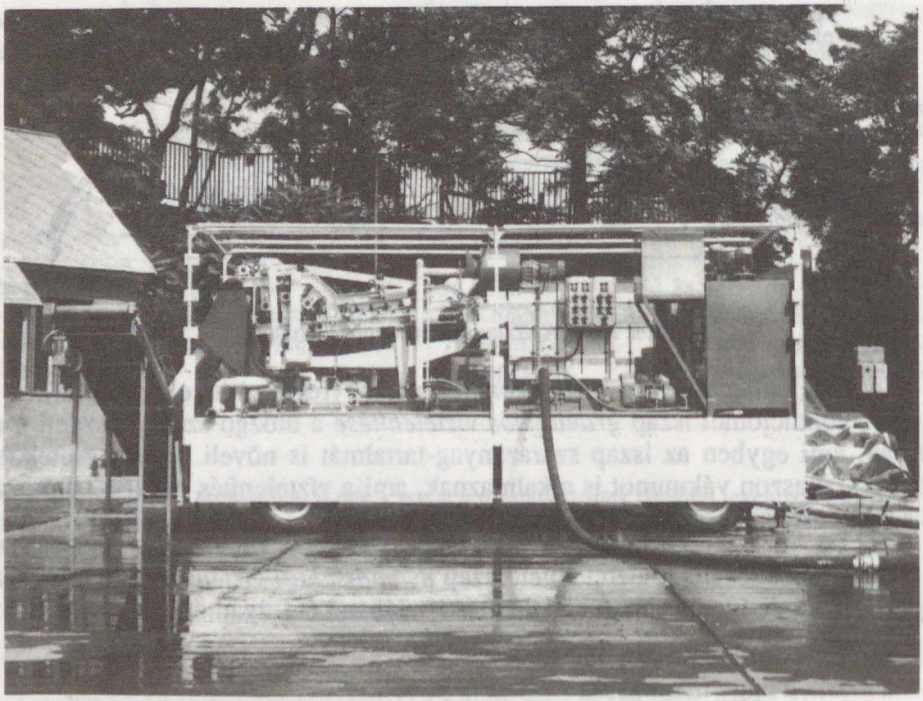
111. ábra. A szalagszűrés alapfolyamatai

1. A víztelenítendő iszap *kémiai kondicionálása* (rendszerint elektrolittal).
2. A kondicionált iszap *gravitációs víztelenítése* a mozgó szalag kezdeti szakaszán, ami egyben az iszap szárazanyag-tartalmát is növeli. Egyes esetekben ezen a szakaszon vákuumot is alkalmaznak, ami a víztelenítés mértékét fokozza és a szagemisszió csökkenését is segíti.
3. A gravitációsan elővíztelenített iszap *nyomás alatti víztelenítése* nyomószalagok között. A nyomás alatti víztelenítés általában két folyamatrészre osztott:
   – az egyik az alacsony nyomásúra,
   – a másik a nagy nyomásúra

(*112/a–b ábra;* EPA, 1979). Egyes esetekben két nagynyomású víztelenítő zónát is üzemeltetnek (I. és II. zóna, *112/a ábra*).



112/a ábra



112/b ábra

112/a–b ábra. Szalagszűrőprés. *a:* egyszerűsített rendszer üzemeltetési elve; *b:* szalagszűrőprés (Tatabányai szénbányák)

(A) Üzemeltetés alapelvei

A szalagszűrőprés *folyamatos üzemű*, két végtelenített, rugós görgők között mozgó, egymással fedésben lévő szalagból áll.

a) **Kondicionálás.** A kémiai kondicionálás, ill. a kondicionálószer összekeverése az iszappal kétféle módon valósítható meg: az egyik esetben a polimert közvetlenül az iszapbetápláló csőbe adagolják (in-line injector). A keverést a Venturimérőn való átvezetéskor keletkező kismértékű turbulencia segíti. A másik esetben kisméretű hengeres, lassan forgó keverőtartályt alkalmazunk, amelyben a kondicionálószer és az iszap a kismértékű turbulencia következtében keveredik. A Venturi-mérő, ill. a tartály forgása a keverést illetően azonos szerepkörű.

A jó kémiai kondicionálás a sikeres szalagszűrőpréses iszapvíztelenítés kulcsa. A polimer a *szuperflokkuláció*-folyamatot idézi elő (ASCE, 1985). A szuperflokkuláció révén

– nagy, erős, jelentős mennyiségű szabad, gravitációs vizet tartalmazó pelyhek képződnek,
– a szabad víz gravitációs víztelenítése nagyon eredményes a *112/a ábrán* lévő, még csak egyetlen mozgó szalag *a* jelű szakaszán,
– a pelyhek a nyomás alatti víztelenítés zónájában, ahol már két, egymással fedésben lévő mozgó szalag mozog (*112/a ábrán* a *b* és *c* szakaszon), nem mennek tönkre,
– megvédi az iszapot attól, hogy a nyomás hatására a fedésben lévő szalagok közötti térből oldalirányban kicsússzon.

Mindezeket a kedvező hatásokat azonban csak a polimer tudja elősegíteni.

Az előülepített iszap meszes kondicionálása gyenge eredményre vezet, a szalag könnyen eltömődik.

Ha cél a meszes iszapstabilizálás, majd ezt követően az iszap feltöltésbe helyezése, akkor utó-mészstabilizálás jelenthet megoldást: az iszapot először polimerrel kondicionálni kell, azután jön a víztelenítés, és csak azután adagolható a mész az iszaplepényhez (USEPA, 1978c).

Kondicionáláshoz rendszerint a kationos polimer alkalmazott. Néha kettős polimerrendszert,

– kationos polimert, utána
– anionos vagy nem ionos

polimert adagolnak avégből, hogy *az iszaplepény a felső mozgó szalagról leváljon* (*112/a ábra* az *A* ponton).

Az üzemeltetési tapasztalatok szerint az iszapminőség ingadozása, ill. változása miatt *a polimeradagolásra több pont álljon rendelkezésre:*

– a kondicionáló tartályba,
– 0,6–0,9 m-re a kondicionáló tartály előtt az iszapvezetékbe,
– 7,6 m-re a kondicionáló tartály előtt az iszapvezetékbe,
– két polimer-rendszerben: az anionos vagy a nem ionos polimer az iszapszivattyú előtt adagolható.

Egyes esetekben az iszapkondicionálás eredményesebb, ha a kontaktidő a polimerrel hosszabb; más esetekben viszont a rövidebb kontaktidő előnyösebb. A vegyszer kora (raktározás miatti állás) a hatékonyságát is befolyásolja. Másrészt minden új vegyszer kontaktideje kimérendő. Ez vegyszer-takarékosság és -hatékonyság szempontjából fontos.

b) **Gravitációs víztelenítés zónája.** A kondicionált iszapot a görgőkön haladó, sík, enyhén emelkedő szalagszűrőre vezetik (*112/a ábrán a* szakasz), ahol a kondicionálás hatására a *gravitációsan* szeparálható iszapvíz a szalagszűrőn át távozik, miközben az iszap térfogata mintegy 50%-kal csökken és szárazanyag-tartalma 5–10%-ra nő, ami egyben az iszapsűrítést is segíti. A gravitációs víztelenítéshez 1–2 min szükséges (NCASI, 1978; ASCE, 1985; EPA, 1985; Wilhelm, 1978). A szalag eltömődése és az iszap lecsúszása a szalagról akkor jelentkezik, ha a gravitációs víztelenítés tökéletlen.

c) **Az alacsony nyomású víztelenítési zónában,** ha az iszap az alsó és felső szalagszűrő közé kerül (*112/a ábra, B* pont), „iszapszendvics" keletkezik. Az alacsony nyomású zóna szerepe rendkívül fontos, mert olyan iszaplepény formálódik, amely a következő – nagynyomású – zónában az iszapra ható nyitóerőknek ellen tud állni. Az iszapra ható nyomás az alsó szállítószalag és a felső fedőszalag okozta kompresszió (vagy egyes esetekben az alsó szállítószalagra ható vákuum) hatására jön létre.

d) **A nagynyomású víztelenítési zóna I.** (és az egyes esetekben alkalmazott II. zóna is). Az iszapra ható nyomás a görgők alatt és felett haladó alsó és felső szalagszűrő egymáshoz képest relatív mozgása miatt keletkezik. A II. nagynyomású zónát a gravitációs zóna alacsony és magas nyomású I. zóna alkotta rendszerhez *(112/a ábra)* – egyes esetekben – a nyomás további fokozása és így a még nagyobb szárazanyag-tartalmú iszap keletkezése iránti igény miatt csatlakoztatják. Erre elsősorban az iszapégetés esetében lehet szükség, amikor a magas szárazanyag-tartalmú iszap keletkezése iránti igény miatt szerepeltetik. Erre elsősorban az iszapégetés esetében lehet szükség, amikor a magas szárazanyag-tartalmú iszap nagy előnyt jelent.

A nyomás alkalmazásakor az iszaplepény

– a két szalag között sajtolódik és
– az egymás után következő görgők feletti szakaszokon ellenkező irányokban szétmorzsolódik.

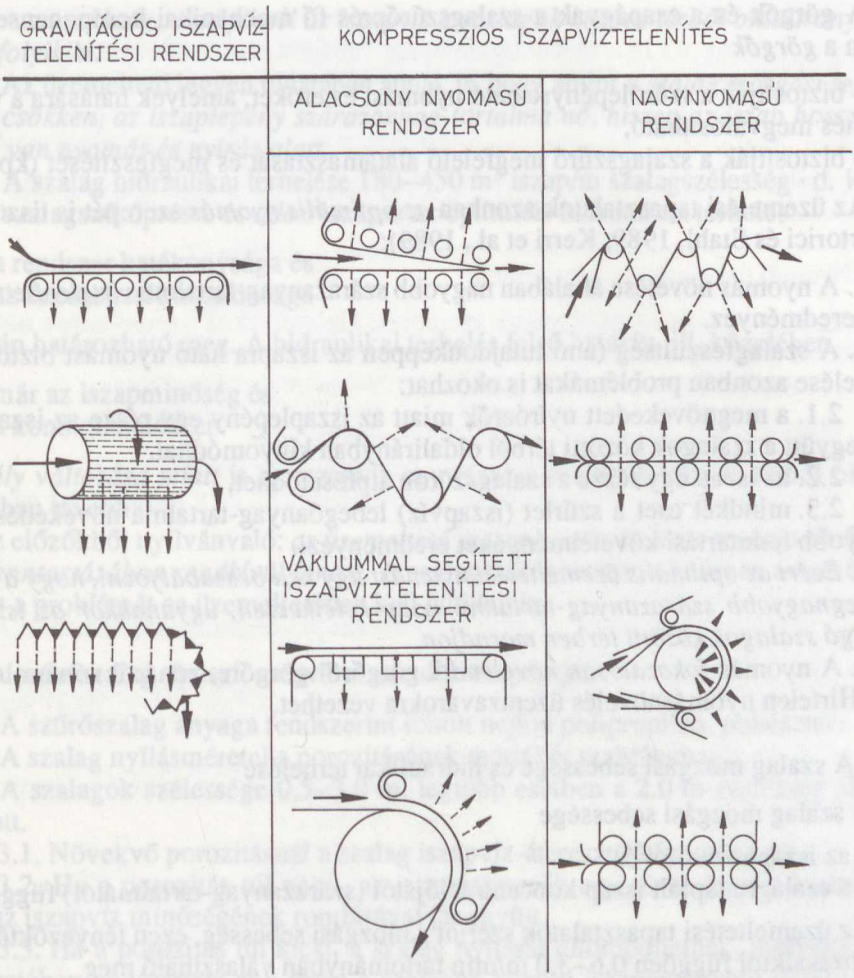
Ezen folyamatok pozitív hatásai:

– *az iszapvíz-szeparálódás fokozódik* és
– *az iszap kompaktabbá válik.*

Az iszap a szűrőszalag előrehaladásakor a felső nyomószalag segítségével kerül fokozódó nyomás alá, és egyre intenzívebb víztelenítés jelentkezik.

(B) A szalagszűrőprés alternatív eljárásai

A szalagszűrőprés jelenleg ismert alternatív rendszerei a *113. ábrán* követhetők (NCASI, 1978 nyomán). További, például Japánban alkalmazott alternatív megoldásokat Öllős, 1991, 11.7.2.2. fejezet, *575/a–d. ábrája* (Kubo, 1984 nyomán) szemléltet.



113. ábra. Szalagszűrőpréses iszapvíztelenítés alternatív rendszerei

(C) A szalagszűrőre ható nyomások értelmezése és optimalizálása

Peterson, Rubel and Haget Inc. (1981) alapján a szalagszűrőbeli iszaplepényre ható nyomáskomponensek a következők:

a) a szűrőlepényre ható nyomás a meghajtó forgatónyomaték miatt,
b) a szűrőlepényre ható nyomás a szalag megfeszítése miatt,
c) a szűrőlepényre ható nyomás a szalag rugalmassága miatt.

Ezen nyomásokat kifejező egyenletek összegezése megadja a szűrőlepényre ható teljes nyomást minden görgőnél, és az is kiderül, hogy a teljes nyomás az egymást követő görgőknél lépcsőzetesen nő. Ezért kell számos, különböző átmérőjű görgőt alkalmazni, hiszen így egyre hatékonyabb víztelenítés érhető el.

A görgők és a csapágyak a szalagszűrőprés fő mechanikai komponensei, hiszen a *görgők*

– biztosítják a szűrőlepényre ható nyomást és erőket, amelyek hatására a víztelenítés megvalósítható,
– biztosítják a szalagszűrő megfelelő alátámasztását és megfeszítését (kp/cm).

Az üzemelési tapasztalatok azonban *az optimális nyomás* szerepét is tisztázták (Tortorici és Stahl, 1989; Kerri et al., 1989):

1. A nyomás növelése általában nagyobb szárazanyag-tartalmú *víztelenített* iszapot eredményez.
2. A szalagfeszültség (ami tulajdonképpen az iszapra ható nyomást biztosítja) növelése azonban problémákat is okozhat:
   2.1. a megnövekedett nyíróerők miatt az iszaplepény egy része az iszapvízzel együtt a szalagok közötti térből oldalirányban kinyomódhat,
   2.2. az iszap egy része a szalagszűrőn átpréselődhet,
   2.3. mindkét eset a szűrlet (iszapvíz) lebegőanyag-tartalma növekedését és nagyobb fenntartási követelményeket eredményezi.
3. *Ezért az optimális üzemeltetési nyomást úgy kell beszabályozni, hogy a lehető legnagyobb szárazanyag-tartalmú iszap keletkezzen, ugyanakkor az iszap a mozgó szalagok közötti térben maradjon.*
4. A nyomás *fokozatosan növelendő*, görgőről görgőre, zónáról zónára haladva. Hirtelen nyomásnövelés üzemzavarokra vezethet.

(D) A szalag mozgási sebessége és hidraulikai terhelése

A szalag mozgási sebessége

– az iszaphozamtól és
– a szalagra táplált iszap koncentrációjától (szárazanyag-tartalmától) függ.

Az üzemeltetési tapasztalatok szerint a mozgási sebesség, ezen tényezőktől, ill. változásaiktól függően 0,6–3,0 m/min tartományban választható meg.

a) Az iszapvíz zöme a gravitációs víztelenítési zónában szeparálódik, ezért ezen szalagfelület elegendő méretű legyen ahhoz, hogy a megfelelő mértékű víztelenítést biztosíthassa. Amint a szalag mozgási sebessége nő, a gravitációs víztelenítés számára nagyobb felület áll rendelkezésre és egyidejűleg nagyobb mennyiségű iszap víztelenítheto gravitációsan. Ha a gravitációs víztelenítés szalagfelülete elégtelen, akkor nagy mennyiségű gravitációs iszapvíz jut át a következő, alacsony nyomású víztelenítési zóna két mozgató szalagja közötti térbe, ahonnan az oldalirányban is kifolyva (washing out) *az elfolyó iszapvíz minőségét lerontja.*

Az üzemeltető *a gravitációs zóna szalagja optimális mozgási sebességét úgy válassza meg, hogy az alacsony nyomású víztelenítő zónában már minimális víztartalmú iszap lépjen át. Ehhez megfelelő üzemeltetői jártasság szükséges.*

b) Ha a szalagszűrő rendszerbe táplált iszap szárazanyag-tartalma nagyobb, a szalag mozgási sebessége kisebbre választandó. Az üzemeltető számára fontos alapelv: *minél kisebb legyen a szalag(ok) mozgási sebessége, csak akkora sebes-*

ségre van szükség, amelyiknél az iszapvíz a szalagok közötti térből oldalirányban nem folyik ki.

c) Az üzemeltető legyen tudatában annak is, hogy amint *a szalag mozgási sebessége csökken, az iszaplepény szárazanyag-tartalma nő, hiszen az iszap hosszabb ideig van nyomás és nyírás alatt.*

d) A szalag hidraulikai terhelése 180–450 m^3 iszap/m szalagszélesség · d. *Valamely* szalagszűrőprésre és *adott* iszapra az optimális hidraulikai terhelés

– a rendszer hatékonysága és
– az üzemeltetés állandósága

alapján határozható meg. A hidraulikai terhelés felső határán, ill. közelében

– már az iszapminőség és
– a kondicionálószer

csekély változása miatt is az iszapvíz egy része a szalagok közötti térből oldalirányban távozhat.

Az előzőkből nyilvánvaló: *az üzemeltető szerepe, jártassága a szalagszűrőprések fenntartásában rendkívül fontos.* A szalagszűrőprés *eleve nehezen tervezhető,* és ezt a problémát az üzemeltetőnek kell áthidalnia.

(E) A szűrőszalag típusai, megválasztásuk szempontjai

1. A szűrőszalag anyaga rendszerint fonott nejlon polipropilén, poliészter.
2. A szalag nyílásméretei a porozitásának mértékét szabják meg.
3. A szalagok szélessége 0,5–3,0 m, legtöbb esetben a 2,0 m szélesség alkalmazott.

3.1. Növekvő porozitásnál a szalag iszapvíz-áteresztő képessége nő.

3.2. Ha a porozitás túl nagy, az iszapszemcsék egy része átjut a szalagon, ami az iszapvíz minőségének romlásával jár együtt.

3.3. Ha a porozitás túl kicsi, a szalag nyílásai eltömődhetnek, melynek következtében az iszapvíz egy része a szalagok közötti iszaplepényből oldalirányban távozik.

3.4. A porozitás optimális mértékét mindenkor *helyi vizsgálatokkal* kell meghatározni.

4. A szalagszűrő megfelelő tisztításától, hatékony mosatásáról gondoskodni kell.

(F) Szalagszűrő mosórendszer

A szalagszűrő mosórendszer

– a nagynyomású szivattyút,
– néhány mosófejet (az alsó és felső szalagszűrő mosása céljából) és
– a mosófejtisztítót

foglalja magában.

A mosásra akkor kerül sor, amikor az iszaplepény minden szalagszűrőszakaszról eltávozott.

A mosáshoz ivóvíz vagy jó minőségű tisztított szennyvíz használható. Egyes szalagszűrőkhöz >3 l/s · m szalagszélesség fajlagos mosóvízhozamra van szükség. Gazdasági okok miatt *a tisztított szennyvíz alkalmazása célszerűbb.* A nagynyomású szivattyú, a csőrendszer és a mosófejek biztonságos üzemeltetéséhez azonban *jó minőségű, lebegőanyag-mentes, hatékonyan gyorsszűrt elfolyó szennyvizet kell produkálni a nagynyomású szivattyúra való mosóvíz-rávezetés előtt.* A mosófejek tisztításáról, hozzáférhetőségéről gondoskodni kell.

(G) Normál üzemeltetési menetrend

A különböző szalagszűrőprések szerkezeti kialakítása és üzemeltetése némileg eltérő, de a következő üzemeltetési menetrend a legtöbb esetben érvényes (Kerri et al., 1989; Tortorici és Stahl, 1989):

1. Polimeroldat megfelelő adagolásának előkészítése.
2. A mosóvizet és a szalagot mozgató hajtóművet be kell kapcsolni.
3. A szalag mozgási sebességét be kell szabályozni, és a mosóvízzel az egész szalagot be kell nedvesíteni. Ezt követően
4. A keverőtartály beindítása következik.
5. A megfelelő iszap- és polimer tolózárak kinyitása.
6. A polimerszivattyú megindítása és a kívánt polimeradag beállítandó.
7. Az iszaptápláló szivattyú beindítása.
8. *Csökkenteni kell a szalag mozgási sebességét, amennyire csak lehet, anélkül, hogy az iszapvíz a szalagok közötti térből oldalirányban kimosódna.*
9. A szalagfeszültség beszabályozandó.
10. A víztelenített iszaplepényt eltávolító szállítószalagot be kell indítani.

(H) Szagszabályozás

A szagprobléma a szalagszűrőprés-telepeken rendszerint jelentkezhet. A szagemisszió kellemetlen környezeti hatása a következő módokon csökkenthető, ill. küszöbölhető ki:

– az iszap friss legyen,
– a szalagszűrőprés-csarnokban az igényeknek megfelelő mértékű szellőztetésről gondoskodni kell,
– oxidáló vegyszert kell használni, például $KMnO_4$-t.

A káliumpermanganát, erős oxidálószer lévén, az iszap hidrogén-szulfid-tartalmát gyorsan és hatékonyan szagtalan szulfáttá oxidálja.

A káliumpermanganát-oldat közvetlenül az iszapszivattyú szívóoldalába táplálható, így a szivattyú egyben a bekeverés szerepét is betölti.

Ami még nagyon fontos: *a káliumpermanganát a polimerbetáplálási pont előtt legyen olyan távolságra, hogy a keverék áramlási útja kb. 1 min legyen* (Boll, 1986). A káliumpermanganát leghatékonyabb felhasználása így biztosítható. Egyes esetekben a káliumpermanganát helyett hidrogén-peroxidot (H_2O_2) alkalmaznak.

A káliumpermanganát hidrogén-szulfidot oxidáló hatásán túlmenően egyéb kedvező hatásai (Boll, 1986):

– az iszap víztelenithetőségét javítja, a szárazanyag-tartalom kissé nő,
– a polimer révén növelt iszaptermelődést csökkenti,
– a szalagszűrő iszapvize recirkuláltatásakor a szulfidmentes állapotot biztosítja.

(I) A szalagszűrőprés előnyei és hátrányai

A szalagszűrőprés előnyei és hátrányai az *57. táblázat*ban adottak (EPA, 1979).

57. táblázat. A szalagszűrőprés előnyei, hátrányai

Előnyök	Hátrányok
Nagynyomású berendezések nagyon száraz iszaplepényt produkálnak *(53. táblázat)*	A víztelenítendő iszap minőségi jellemzőire nagyon érzékeny
	A berendezések hidraulikai teljesítőképessége korlátozott
Energiaigény kevés	A szalagszűrő élettartama rövid (összehasonlítva a szűrőszövetet alkalmazó berendezéssel; *114/d ábra*)

(J) A szalagszűrőprés adatai, üzemeltetési hatékonysága

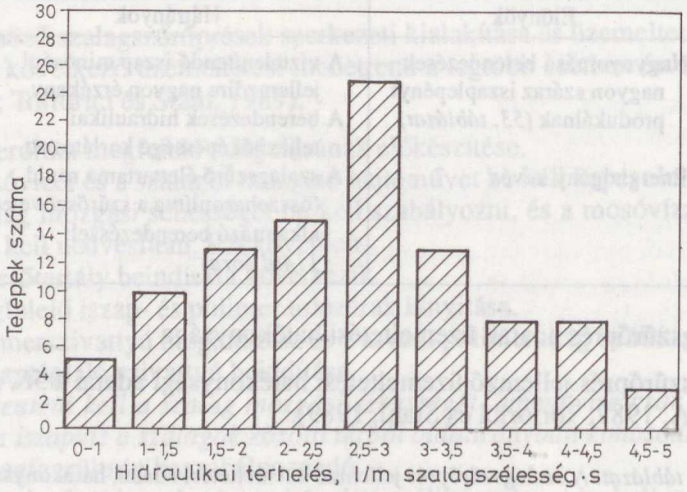
A szalagszűrőprés jellemző üzemeltetési hatékonysági adatai a *58. táblázat*ban adottak (EPA, 1987; Tortorici és Stahl, 1989).

58. táblázat. A szalagszűrőprés jellemző üzemeltetési adatai, hatékonysága

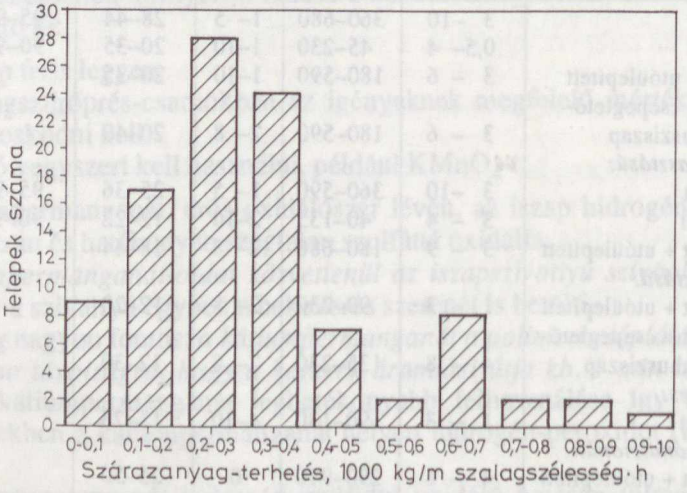
Iszapfajta	Víztelenítendő iszap szárazanyag-tartalma, %	Szárazanyag-terhelés, kg/m szalagszélesség · h	Polimeradag, g/kg	Iszaplepény szárazanyag-tartalma, %	Szuszpendált szilárdanyag-eltávolítás, %	Hidraulikai terhelés, l/m · s
Előülepített	3 –10	360–680	1– 5	28–44	95–99	2–5
Utóülepített	0,5– 4	45–230	1–10	20–35	90–99	1–3
Előülepített + utóülepített	3 – 6	180–590	1–10	20–35		
Előülepített + csepegtetőtestes humusziszap	3 – 6	180–590	2– 8	20–40		
Anaerob rothasztású:						
Előülepített	3 –10	360–590	1– 5	25–36	95–99	2–5
Utóülepített	3 – 4	40–135	2–10	12–22	90–95	1–3
Előülepített + utóülepített	3 – 9	180–680	2– 8	18–44		
Aerob rothasztású:						
Előülepített + utóülepített	1 – 3	90–230	2– 8	12–20		
Előülepített + csepegtetőtestes humusziszap	4 – 8	135–230	2– 8	12–30		
Tiszta oxigénes:						
Utóülepített	1 – 3	90–130	4–10	15–23		
Termikusan kondicionált:						
Előülepített + utóülepített	4 – 8	290–910	0	25–50		

(K) Statisztikus adatok szerepe az üzemeltetés optimalizálása szolgálatában

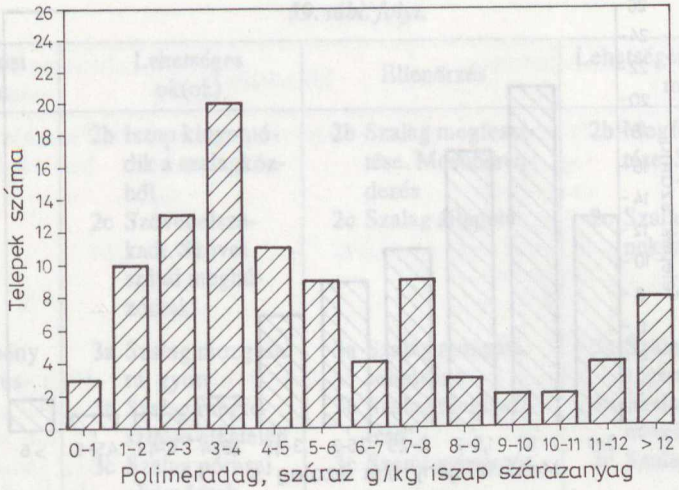
Az üzemeltető számára a statisztikus adatokat a döntéshozatalokhoz, fejlesztési koncepciók kialakításához, az üzemeltető meggyőződésének megerősítéséhez, az optimális üzemeltetés megteremtéséhez, a saját telepe üzemének bírálatához érdemes az USA több mint 100 szalagszűrőprésének egyes adatait idézni (*114/a–e ábra;* Task Committee on Belt Filter Presses, 1988). Ha az üzemeltető azt tapasz-



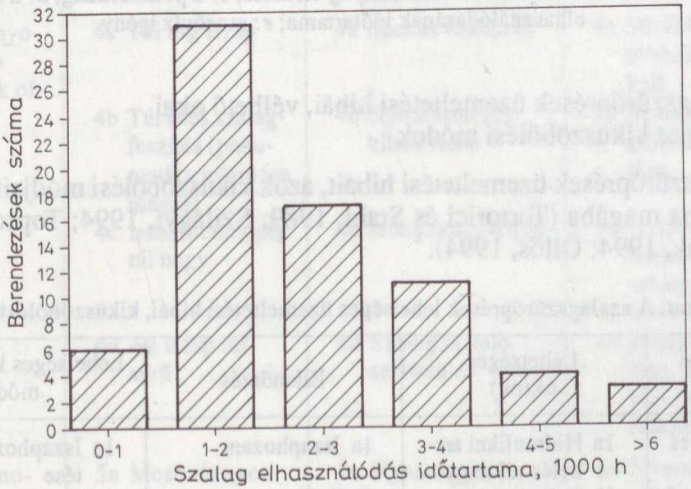
114/a ábra



114/b ábra

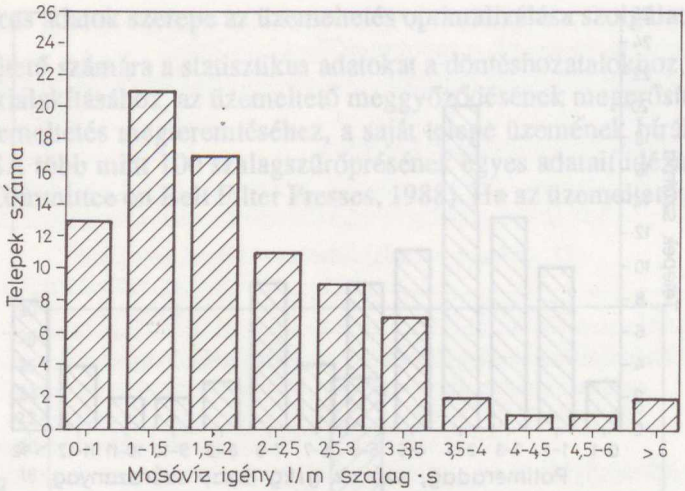


114/c ábra



114/d ábra

talja, hogy a *statisztikai úton kapott optimumtól* saját telepén az eltérés jelentős, természetesen a szalagszűrőprés fajtájától függően, *a vizsgálatok kezdeményezése nagyon hasznosnak bizonyulhat.*



114/e ábra

114/a–e ábra. Az USA több mint száz szalagszűrőprésének üzemeltetési statisztikus adatai. *a:* a hidraulikai terhelés; *b:* a szárazanyag-terhelés; *c:* a polimeradag; *d:* a szalag elhasználódásának időtartama; *e:* mosóvíz igény

(L) A szalagszűrőprések üzemeltetési hibái, vélhető okai, lehetséges kiküszöbölési módok

A szalagszűrőprések üzemeltetési hibáit, azok kiküszöbölési módjait az *59. táblázat* foglalja magába (Tortorici és Stahl, 1989; Szilágyi, 1994; Topschall, 1994; Karászi et al., 1994; Öllős, 1994).

59. táblázat. A szalagszűrőprések lehetséges üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük módjai

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód(ok)
1. Iszapvíz (és bizonyos mennyiségű iszap) a nyomás alatti zónában a szalagról oldalirányban kimosódik	1a Hidraulikai terhelés túl nagy 1b Polimeradag elégtelen 1c Szalag mozgása lassú 1d Szalagszűrő eltömődése	1a Iszaphozam 1b Polimerhozam és -oldat 1c Szalag mozgási sebessége 1d Mosóberendezések, polimer-túladagolás	1a Iszaphozam csökkentése 1b Az adag növelése 1c Szalag mozgási sebesség növelése 1d Mosóvízmennyiség növelése. Iszap- és polimeradagolás leállítása, szalagtisztítás. Polimer-túladagolás megszüntetése
2. Szűrlet (iszapvíz) gyenge minőségű	2a Iszapvíz oldalirányú kimosódása a szalagközből	2a Mint 1.	2a Mint 1.

59. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód(ok)
	2b Iszap kinyomódik a szalagközből	2b Szalag megfeszítése. Mosóberendezés	2b Megfeszítés csökkentése. Szalag mosása
	2c Szövet elszakadt. Szövet szálai meghúzódtak	2c Szalag állapota	2c Szalag hibás helyeinek műgyantázása
3. Iszaplepény túl nedves	3a Szalag mozgása túl gyors	3a Szalag mozgási sebessége	3a Szalagmozgás sebességének csökkentése
	3b Szalag megfeszítése elégtelen	3b Szalag megfeszítése	3b Szalagmegfeszítés növelése
	3c Szalag pórusai eltömődtek	3c Szemrevételezés	3c Szalagmosás javítása
	3d Víztelenítőtálca nyílásai eltömődtek	3d Víztelenítőtálca	3d Víztelenítőtálca mosása
4. Iszapkinyomódás a szalagok oldalánál	4a Túl híg iszap	4a Szemrevételezés	4a Sűrűbb iszap vagy több flokkulálószer kell
	4b Túl erős szalagfeszítés (pneumatika nyomása magas)	4b Nyomásmérők ellenőrzése	4b Szalagfeszítés (levegőnyomás) csökkentése
	4c Iszapmennyiség túl nagy	4c Adagolószivattyú	4c Iszapmennyiség csökkentése, vagy szalagsebesség növelése
	4d Az iszap túl sűrű	4d Szalagon való szétterülés	4d Iszapsűrűség beállítása. Terülés biztosítása (terelők, szalagfeszítők beállítása)
5. Szalagmosás nem kielégítő	5a Mosóvíz nyomása alacsony	5a Nyomásmérő	5a Nyomás előírt szintre való emelése (általában 3–6 bar)
	5b Iszap nagyon zsíros, kenődik, beragad a szalagba	5b Szemrevételezés	5b Nyomás további növelése (általában 8 bar-ig), esetleg fúvókacsere (az iszap jellegéhez jobban illeszkedő, más vízsugárképet mutató)
	5c Fúvókák elszennyeződtek	5c Szemrevételezés	5c Kézi működtetésű beépített kefével fúvókatisztítás
	5d Fúvókák kopottak	5d Laborvizsgálat	5d Fúvókacsere

59. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód(ok)
	5e Túl magas, vagy túl alacsony flokkulálószer-arány (mindkét esetben eltömítheti a vászon pórusait)	5e Laborvizsgálat	5e Flokkulálószer-arány beállítása
6. Szalagszakadás	6a Szalag félrement vagy meggyűrődött	6a Szemrevételezés	6a Szalagterelés működésének ellenőrzése, javítása, szalagfeszesség, párhuzamos futás ellenőrzése, növelése
	6b Összekötő varrat állapota nem megfelelő	6b Szemrevételezés	6b Összekötő varrat javítása, új kötődrótszál befűzése
	6c Szalagfeszítés nyomása túl nagy	6c Szalagfeszítés	6c Szalagfeszítés nyomásának csökkentése
	6d Lehúzókés kopott	6d Szemrevételezés	6d Új lehúzókés
	6e A szalag természetes kopása (kb. 2000 üzemóra)	6e Szalag állapota	6e Szalagcsere
7. Szűrőszalag félremegy, a gép gyakran letilt	7a Szalagterelés nem működik	7a Szemrevételezés	7a Szabályozó levegőszelep cseréje
	7b Szabályozó pneumatikahenger hibás	7b Pneumatikahenger	7b Pneumatikahenger felújítása vagy cseréje (olajozás ellenőrzése)
8. Nincs elegendő levegőnyomás a szabályozó pneumatikarendszerben	8a Kompresszor nem működik, vagy nem jó	8a Szemrevételezés	8a Kompresszor működésbe állítása, esetleg új kompresszor
	8b Levegővezeték szakadt, kilyukadt	8b Levegővezeték	8b Levegővezeték kijavítása
9. Présszalag nem indul	9a Hálózati feszültség hiányzik	9a Biztosíték	9a Biztosítékcsere
	9b A villanymotor nem hajtja a hajtóművet	9b Hőkioldó-ellenőrzés. Ellenőrizni a gumidugós tengelykapcsolót	9b Javítások vagy cserék

59. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód(ok)
	9c A hajtómű nem hajtja a hajtódobokat	9c Hajtólánc ellenőrzése. Láncfeszítő és láncfeszesség ellenőrzése	9c Ha a hajtólánc szakadt, ki kell cserélni
	9d A hajtódob a szűrőszalagot nem hajtja	9d Szűrőszalag	9d Be kell állítani a kellő szalagfeszességet
10. Szalagprés zajosan üzemel		10a Tengelykapcsoló állapota. Hajtómű olajszintje. Hajtólánc feszessége. Hajtó- és préshenger-csapágyak	10a Gumidugócsere. Szimeringcsere, olajfeltöltés. Láncfeszesség beállítása. Csapágycsere, csapágyzsírzás
11. Elégtelen mértékű víztelenítés	11a Nincs iszap	11a Az iszapsűrítő kiürült. A szivattyú és a sűrítő közötti vezeték eldugult. Az iszapszivattyú az iszapot nem szállítja	11a Iszappal feltölteni a sűrítőt. Elindítani a keverőszivattyút. Vissza kell mosatni az iszapvezetéket. Ki kell tisztítani a csigaházat és a szivattyú előtti csőszakaszt. Ellenőrizni a szivatytyú tömszelencéit és utánállítani. Ellenőrizni a grafitgyűrűs kuplungot, grafitgyűrűcsere. A szivattyú nyomóvezetéke eldugult. Újra kell keverni a vegyszert. Szívó nyomószelep tisztítása. Membránellenőrzés, -csere. Szivattyúműködtető olaj utántöltése
	11b Nincs vegyszer	11b Ellenőrizni a vegyszertartályt. Ellenőrizni a vegyszerszivatytyút. Ellenőrizni a vegyszervezetéket	
12. Az iszap lefolyik a vászonról	12a Sok a feladott iszap mennyisége	12a Csökkenteni kell az iszapszivattyú fordulatát	12a Kitisztítani a vegyszervezetéket

59. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód(ok)
	12b Kevés az iszaphoz adagolt vegyszer mennyisége	12b Vegyszer szivattyús feladása	12b Növelni kell a vegyszer szivattyús feladását
	12c A szalagszűrő eltömődött	12c Szalagmosató fúvókák ellenőrzése. Csökkent a mosatóvíz nyomása	12c Ki kell szerelni a fúvókákat és ki kell tisztítani. El kell indítani a nyomásfokozó szivattyút. Ki kell tisztítani a mosató vízszűrőt
	12d Nem az iszapnak megfelelő vegyszer van bekeverve	12d Vegyszerellenőrzés	12d Megfelelő vegyszer bekeverése
13. A víztelenített iszap ragad a szalagra	13a Túl sok a vegyszer mennyisége	13a Csökkenteni kell a szivattyú szállító teljesítményét	13a Vegyszermennyiség csökkentése
	13b Túl tömény a bekevert vegyszer	13b Vegyszermennyiség	13b Vegyszer-koncentráció hígítása
	13c Nem működik a szalagkaparó	13c Ellenőrizni a lekaparólemezeket, nem túl kopottak-e. Ellenőrizni a lemezek ellensúlyát (feszítősúly)	13c Ki kell szerelni a lekaparólemezt. Beállítani a feszítő ellensúlyokat, ill. ellenőrizni a lemezek forgástengelyét, nem szoros-e
14. A szalagok egy oldalra elcsúsznak	14a Feszítőhengerek nem párhuzamosak	14a Hengerek párhuzamossága	14a A hengerek párhuzamosságát a szalagfeszesség figyelembevételével be kell állítani
	14b Iszapterítő lemez hibás üzeme	14b Beállítani a terítőlemezt és a szalag síkjának azonosságát	14b A billenő lemeznek könnyen kell mozogni
15. A szűrővásznak egymáshoz képest elcsúsznak	15a A terelőhengerek hibás működése	15a Levegőnyomás a pneumatika működtetéséhez. Érzékelő automatika működése	15a Levegőnyomás biztosítása a pneumatika működtetéséhez
	15b A feszítőhenger (görgők) esetleges elakadása	15b Hengerkaparó lemezek	15b Hengerkaparó lemezek beállítása

59. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód(ok)
16. Az iszapvíz olajos	16a A vegyszerszivattyú membránja átszakadt	16a Membrán	16a Membráncsere
17. Szalagvezérlő mágnesszelepek meghibásodása	17a Mágnesszelepek hibás üzeme	17a Állandóan folyik rájuk a víz	17a Csere
18. Szalagvezető hengerek (görgők) csapágyainak meghibásodása	18a Hengerek hibás üzeme	18a Állandóan folyik rájuk a víz	18a Csapágycsere
19. Szalagösszefogó acélhuzal törése	19a Anyag elöregedése	19a Acélhuzal	19a Csere
20. Préselt iszapot kihordó szállítószalag görgőinek meghibásodása	20a Szállítószalag görgőinek hibás üzeme	20a Nedves, párás környezet	20a Csapágy-, csapágylánccsere
21. Vegyszerbekeverő hajtómű meghibásodása	21a Hajtómű hibás üzeme	21a Nedves, párás környezet	21a Csapágytengelycsere
22. Szalagszűrő meghajtás alkatrészeinek meghibásodása	22a Lánc nyúlása	22a Lánc	22a Lánc-, lánckerékcsere
23. Gyenge teljesítmény	23a Víztelenítendő iszap kis szárazanyag-tartalma (hígult utórothasztó, ill. utószűrő miatt)	23a Szárazanyag-tartalom. Utórothasztó, ill. utósűrítő üzeme	23a Utórothasztó, ill. utósűrítő üzemének optimalizálása
	23b Szalagmosás nem megfelelő. Eltömődött mosatófúvóka	23b Szalagmosás. Mosatófúvókák üzeme	23b Mosatófúvókák kefés (gépen kiépítve) tisztítása. Fúvókák cseréje

59. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód(ok)
	23c Mosatóvíz nyomása kicsi	23c Mosatóvíz nyomása	23c Lengéscsillapító, légüstbe légpárna létrehozása. Szivattyúk szívókosarának, valamint a szivattyúpatron tisztítása
	23d Szalagszűrő kopott	23d Szalagszűrő állapota	23d Szalagcsere
	23e Iszapfeladó szivattyú teljesítménye kevés	23e Szivattyú üzeme24a Levegőellátás	23e Állórész cseréje24a Kompresszor, ill. vezetékek javítása
24. Szalag félrefut	24a Levegőellátás rossz		
	24b Munkahenger „leragad"	24b Munkahenger üzeme	
	– Rossz a vezérlőszelep	– Vezérlőszelep	– Vezérlőszelep-csere
	– Eldugult vezérlőszelep	– Vezérlőszelep üzeme	– Vezérlőszelep tisztítása
	– Rossz páraleválasztás	– Páraleválasztás	– Levegőrendszerben vízleválasztás, levegő „olajozás" ellenőrzése, javítása
	– Levegő elszökése	– Levegővezeték	– Levegővezeték
	24c „Vezetőlemezek" elkoptak	24c „Vezetőlemezek"	24c „Vezetőlemezek" cseréje
	24d Helyzetérzékelő nem működik	24d Helyzetérzékelő üzeme	24d Érzékelő cseréje
25. Szalagszűrőprés környékén „erős" (mosatóvíz) köd létezik	25a Fúvókasor rossz beállítása	25a Fúvókasor üzeme	25a Fúvókasor elforgatása
	25b Légcsere nem megfelelő	25b Légcsere	25b Befúvó- és elszívóventilátorok ellenőrzése, javítása. Plusz elszívó beépítése
26. Iszap roszszul (vagy egyáltalán nem) pelyhesedik; iszaplepény nyúlós; szűrletvíz magas lebegőanyag-tartalmú, habzik	26a Nem megfelelő fajtájú polielektrolit	26a Laboratóriumi mérés	26a A megfelelő fajtájú polielektrolit kiválasztása, célszerű adagolásának beállítása, laboratóriumi méréssorozattal
	26b Nem megfelelő iszap/vegyszer-arány	26b Adagolóberendezések (szivattyúk, szerelvények, csövek) ellenőrzése	26b Megfelelő üzemállapotok beállítása, szükséges javítások elvégzése

59. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges kiküszöbölési mód(ok)
	26c Polielektrolit oldása nem megfelelő	26c A préselt iszapban fehér szemcsék láthatók	26c Megfelelő hőmérsékletű oldóvíz használata, oldási idő betartása
	26d Iszap és vegyszer keveredése nem kielégítő	26d Keverőberendezés működésének ellenőrzése	26d Megfelelő keverési idő, fordulatszám beállítása
	26e Polielektrolit-túladagolás	26e Szűrletvíz habzik, síkos tapintású; iszap ragadós	26e Vegyszeradagolás korrekciója
	26f Polielektrolit-hiány, flokkuláció egyáltalán nem következik be	26f Vegyszeradagoló berendezések ellenőrzése	26f Beállítások elvégzése, dugulások elhárítása
27. Szalag eltömődik	27a Polimer-túladagolás	27a A szűrőfelület a fölös mennyiségű vegyszerrel filmszerűen bevonódik 27b „Kimosódás" (iszapvíz és iszap) jelentkezik a szalag oldalainál	27a Polimer-túladagolás megszüntetése
28. A berendezés jól üzemel, az iszap a szalagközben marad, a szűrlet jó minőségű, az iszaplepény nem a kívánt szárazságú	28a Szalag mozgása túl gyors Szalagmegfeszítés elégtelen	28a Szalag mozgása Szalagmegfeszítés	28a Szalag mozgását lassítani kell Szalagmegfeszítés növelendő
29. Iszapszivattyú üzeme hibás, bizonytalan (általában 40%-ban ez a fenntartási hiba)	29a Rongyok, egyéb szennyezőanyagok eltömődést okozhatnak	29a Iszapszivattyú üzeme	29a Iszapszivattyú kitisztítása

Ezzel a táblázattal kapcsolatban az üzemeltető a következőket vegye figyelembe, például:

1. a táblázat adatai többféle típusú szalagszűrőtípusra vonatkoznak,
2. a víztelenítendő iszapok minősége eltérő,
3. a víztelenítést befolyásoló tényezők súlya, változatos kombinációk szerint éreztetik hatásukat,
4. egyes felsorolt hibák az üzemeltetés fogyatékosságai miatt jelentkezhetnek.

A lehetséges hibák tehát rendkívül komplex természetűek, ill. eredetűek lehetnek, ezért jelentkezik a táblázatban a sokféle hibakombináció. Az üzemeltetőnek azonban fel kell tudni ismerni, hogy valójában milyen üzemeltetési hibával, vagy többé-kevésbé egyidejűen jelentkező, esetleg különböző súlyú üzemeltetési hibákkal áll szemben. A felismeréshez természetesen megfelelő szintű üzemeltetői jártasság szükséges.

(M) Kérdések

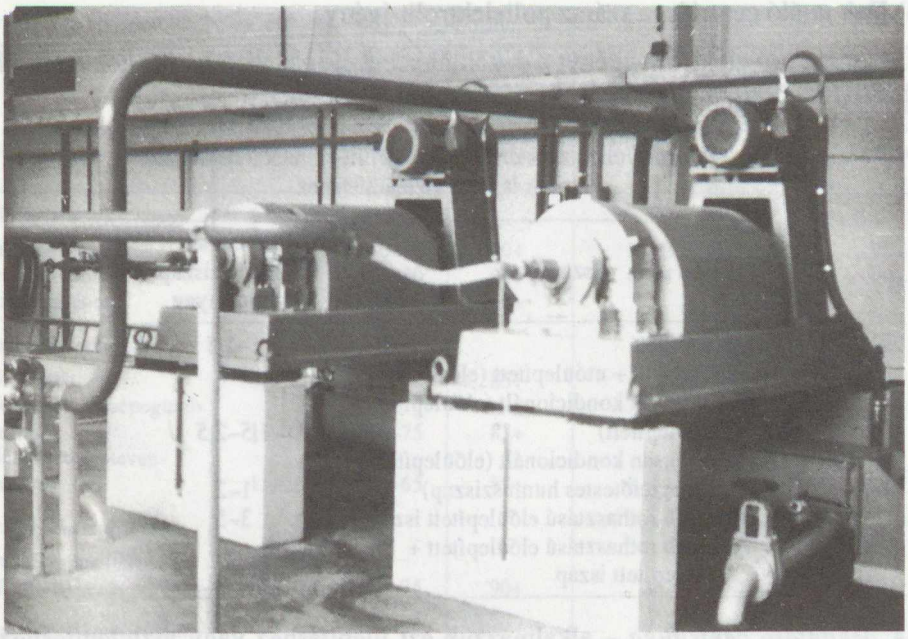
1. Melyek a szalagszűrőprés-víztelenítés alapfolyamatai? (4.4.8.4. fejezet; *111. ábra.*)
2. Mi a célja az iszapkondicionálásnak szalagszűrő esetében? [4.4.8.4. (A) fejezet.]
3. Mi a szerepe a gravitációs víztelenítő zónának? [4.4.8.4. (A) fejezet.]
4. Melyek a kondicionálószer-bekeverés követhető módjai és iszaphoz adagolásának megoldásai? [4.4.8.4. (A) fejezet.]
5. Mi a szerepe az alacsony nyomású és a nagynyomású víztelenítő zónának? [4.4.8.4. (A) fejezet.]
6. Melyek a szalagszűrőprés alternatív eljárásai? [4.4.8.4. (B) fejezet.]
7. Melyek a szalagszűrőprés hatékonyságát befolyásoló tényezők? [4.4.8.4. (A) és 4.4.8.4. (C) fejezet.]
8. Mi a szerepe a szalagmozgási sebesség meghatározásának? [4.4.8.4. (D) fejezet.]
9. Miért kell a szűrőszalag típusát az adott iszaphoz gondosan megválasztani? [4.4.8.4. (E) fejezet.]
10. Miért célszerű utótisztított szennyvizet mosóvízként használni? [4.4.8.4. (F) fejezet; *114/e ábra.*]
11. Miként befolyásolja a szalag mozgási sebessége a víztelenítés hatékonyságát? [4.4.8.4. (D) fejezet.]
12. Miként valósítható meg a szagszabályozás? [4.4.8.4. (H) fejezet.]
13. Melyek a szalagszűrőprés előnyei, hátrányai? [4.4.8.4. (I) fejezet.]
14. Milyen mértékű a szalagszűrőprés hatékonysága különböző iszapok esetében? [4.4.8.4. (J) fejezet.]
15. Melyek a szalagszűrőprés jellegzetes üzemeltetési hibái? [4.4.8.4. (L) fejezet; *59. táblázat.*]

4.4.8.5. CENTRIFUGÁS ISZAPVÍZTELENÍTÉS

(A) Centrifugatípusok az iszapvíztelenítéshez

A víztelenítő centrifugák a

– szakaszos üzemű dobcentrifuga *(70. ábra)* és a
– folyamatos üzemű dekantáló centrifuga (*68.* és *115. ábra*, Öllős nyomán).



115. ábra. Víztelenítő dekantáló centrifuga (Szlovákia; a szerző felvétele)

Az iszap centrifugás sűrítése és víztelenítése között a fő különbségek:

– A betáplált iszap koncentrációja víztelenítéskor valamennyivel nagyobb, mint sűrítéskor.

– A víztelenítéskor a cél rendszerint nagyobb szárazanyag-tartalmú iszap nyerése, mint a sűrítés esetében. Minthogy víztelenítéskor a centrifuga szilárdanyag-terhelése nagyobb, a dekantáló centrifuga forgási sebessége viszonylag nagyobb kell hogy legyen.

– Minden más tekintetben a víztelenítő centrifugákra vonatkozó ismeretekre gyakorlatilag az 4.2.3. fejezet alatti, a sűrítő centrifugákra vonatkozó ismeretek tekintendők mértékadóknak. Így például a sűrítésre vonatkozó üzemeltetési hibák (4.2.3.5. fejezet) a víztelenítő centrifugákra is irányadók.

Sok perforálatlan dobcentrifuga előtt nem alkalmaznak kondicionálást víztelenítéskor, de az üzemeltetési tapasztalatok szerint 0,5–1,5 kg száraz polimer/t betáplált szárazanyag-adagolás az általános üzemeltetési költségeket jelentősen csökkenti. A csökkentés oka az, hogy a dobcentrifugákat a híg, nehezen víztelenít hető iszapokhoz (mint az anaerob úton rothasztott, a huzamos idejű levegőztetésre és a nitrifikációs iszapokhoz) használják. A polimerköltséget az üzemeltetési időtartam rövidülése ellensúlyozza, ezért az üzemeltetők rendszerint a polimer adagolása mellett döntenek.

A dekantáló centrifugás víztelenítés rendszerint polielektrolit-igényű, mert ezáltal lehet hatékonyan üzemeltetni.

(B) Dekantáló centrifuga száraz polielektrolit-igénye

A száraz polielektrolit-igényt a dekantáló centrifugás víztelenítéshez a *60. táblázat* (EPA, 1979; a gyártó cégek adják meg) tünteti fel.

60. táblázat. Jellemző száraz polielektrolit-szintek a dekantáló centrifugás iszapvíztelenítéshez

Iszaptípus	kg száraz polimer/t iszap szárazanyag
Előülepített	1–2,5
Előülepített + utóülepített (eleveniszap)	2–5
Termikusan kondicionált (előülepített + utóülepített)	1,5–2,5
Termikusan kondicionált (előülepített + csepegtetőtestes humusziszap)	1–2
Anaerob rothasztású előülepített iszap	3–5
Anaerob rothasztású előülepített + utóülepített iszap	3,5–5

A dekantáló centrifuga – alkalmazzuk ezt ülepítéshez vagy víztelenítéshez – *rugalmas üzemeltetési tulajdonsága ismert,* ami nagy előny. Például, a centrifuga a szűrőprés előtt sűrítésre alkalmazható, így a kondicionálószer mennyisége csökkenthető, szilárdanyag-terhelése pedig nő. De a szűrőprés leállításakor annak alternatívájaként is szolgálhat. A dekantáló centrifuga a tervezettnél nagyobb terheléseket is elviseli. Így az időszakos hidraulikai terhelés vagy szilárdanyagkoncentráció-növekedést a nagyobb polimerdózis révén, a hatékonyság fennmaradásával eltűri. Az iszaplepény szárazanyag-koncentrációja valószínűleg csökken, de a nagyobb szilárdanyag-terhelést képes fogadni.

(C) Jellemző víztelenítési hatékonyság dekantáló és dobcentrifuga esetében

A dekantáló és a dobcentrifuga jellemző, víztelenítő hatékonysága a *61. táblázat*ban adott (EPA, 1979).

61. táblázat. A dekantáló és dobcentrifuga jellemző hatékonysága

Iszapfajta	Dekantáló centrifuga			Dobcentrifuga		
	iszaplepény szárazanyag-tartalma, %	szilárdanyag-eltávolítás, %		iszaplepény szárazanyag-tartalma, %	szilárdanyag-eltávolítás, %	
		vegyszer nélkül	vegyszerrel		vegyszer nélkül	vegyszerrel
Nyers (untreated)						
Előülepített	25–35	75–90	90+	25–30	90–95	95+
Előülepített + csepegtetőtestes humusziszap	20–25	60–80	90+	7–11	90+	90+
Előülepített + utóülepített	12–20	55–65	90+	12–14	–	90+
Előülepített + forgó merülőtárcsás iszap				17–24	85–90	95+

61. tábl. folyt.

Iszapfajta	Dekantáló centrifuga			Dobcentrifuga		
	iszaplepény szárazanyag-tartalma, %	szilárdanyag-eltávolítás, %		iszaplepény szárazanyag-tartalma, %	szilárdanyag-eltávolítás, %	
		vegyszer nélkül	vegyszerrel		vegyszer nélkül	vegyszerrel
Utóülepített						
Csepegtetőtestes	10–20	60–80	90+	9–12	90+	95+
Eleveniszapos	5–15	60–80	90+	8–14	85–90	90+
Tiszta oxigénes	10–20	60–80	90+			
Anaeorob rothasztású						
Előülepített	25–35	65–80	85+			
Előülepített + csepegtető-testes	18–25	60–75	85+			
Előülepített + eleven-iszapos	15–20	50–65	85+	8–14	75–80	85
Aerob rothasztású						
Eleveniszapos (utó-ülepített)	8–10	60–75	90+			
Termikusan kondicionált						
Előülepített + csepegtető-testes	30–40	60–70	90+			
Előülepített + eleven-iszapos	30–40	75–85	90+			

(D) Kérdések

1. Mi a különbség a centrifugás sűrítés és víztelenítés között? (4.4.8.5. fejezet.)
2. Milyen típusú centrifugák alkalmazhatók az iszapok víztelenítéséhez? [4.4.8.5. (A) fejezet.]
3. Miért kell a dekantáló centrifuga forgási sebességének nagyobbnak lenni víztelenítéskor, a sűrítéshez hasonlítva? [4.4.8.5. (A) fejezet.]
4. Milyen a víztelenítő centrifugák polielektrolit-igénye? [4.4.8.5. (B) fejezet.]
5. Miben nyilvánulhat meg a dekantáló centrifuga rugalmas üzemeltetési tulajdonsága? [4.4.8.5. (A) fejezet.]
6. Milyen mértékű a víztelenítő centrifugák hatékonysága? [4.4.8.5. (C) fejezet; *61. táblázat.*]

4.4.8.6. A NORMÁL ISZAPVÍZTELENÍTÉSEN TÚLMENŐ ISZAPTÉRFOGAT-CSÖKKENTÉS

A térfogatcsökkentés célja

A térfogatcsökkentés eljárásai:

a) komposztkészítés,
b) termikus iszapszárítás,
c) iszapégetés,
d) mikrohullámú hamuégetés.

A következőkben, tekintettel az egyes eljárások elterjedésére, az *a)* és a *c)* pont alatti eljárásokkal foglalkoznak. Az *a)* pont alatti eljárás részletesen például Öllős, 1991, 12. fejezetében, a *b)–d)* pont alatti eljárások a 11.9. fejezetében értelmezettek.

A szennyvíziszapok térfogata a 4.4. fejezetben tárgyalt normál víztelenítési módszereken túlmenően tovább csökkenthető. Az eközben keletkező anyagok már könnyen, biztonságosan kezelhetők, tározhatók és a mezőgazdasági területeken hasznosíthatók; az esetenként igényelt további iszapkezelési folyamatok gazdaságosabbak.

Az iszap szárítása és égetése az iszaptömeget *tetemesen csökkenti*, ezért ezek az eljárások *kimondottan térfogatcsökkentő eljárások.*

A szárítás és az égetés között az alapvető különbség az, hogy a szárítás az iszap víztartalmát a szilárd anyagok elégetése nélkül távolítja el.

A hővel való szárítás és az égetés, a magas hőmérséklet következtében, az iszapban lévő patogén mikroorganizmusokat is elpusztítja.

(A) A komposztkészítés alapelve

A komposztkészítés közben az iszap szerves anyagai a biológiai lebontás révén stabil végtermékekké alakulnak. A lebontást elsősorban a termofil (magas, 45 °C feletti hőmérsékletet kedvelő) fakultatív aerob baktériumok végzik. A komposztkészítésben azonban tulajdonképpen három fő mikroorganizmus-csoport vesz részt: baktériumok, aktinomicéteszek és gombák (Obrist, 1963). Ennek eredményeként

– közegészségügyi szempontból már elfogadható,
– ártalmatlan, szagmentes,
– humusszerű

anyag keletkezik (*116. ábra;* EPA nyomán, 1984). Az illékony szerves szilárd anyagok kb. 20–30%-a vízzé és szén-dioxiddá alakul át. Amint az iszapban lévő szerves anyagok a fejlődő hő hatására lebontódnak, a készülő komposzt terében az enterikus patogén mikroorganizmusokat elölő 50–70 °C hőmérsékleti tartomány fejlődik ki.

Az üzemeltető munkája tehát olyan legyen, hogy *a termofil baktériumok számára a környezeti feltételek kedvezőek legyenek.* Ennek a célnak az érdekében számos kritériumot kell kielégíteni.

A komposztkészítéssel kapcsolatos kutatások, az üzemeltetési szemlélet az utóbbi évtizedben vált tudományosan is megalapozottá (Caballero, 1985; Haug, 1980; Hay et al., 1984; 1987; 1990; Iacoboni et al., 1983; EPA, 1984; Wassenberg és Pluim, 1994; Clark et al., 1984; Tortorici és Stahl, Kerri et al., 1989; Öllős, 1991, 12. fejezet).

A komposztkészítés elvileg anaerob vagy aerob állapotú lehet. *Minden esetben az aerob módszer alkalmazott, mert a szervesanyag-lebontás aerob úton gyorsabb, és a patogén szervezetek elöléséhez igényelt magasabb hőmérséklet is ily módon biztosítható.* Az aerob lebontással a kellemetlen szagképződés minimalizálható.

116. ábra. Humuszszerű komposztanyag

(B) Komposztkészítő rendszerek

Háromféle komposztkészítő rendszer ismert: *a)* a prizmás (windrow system); *b)* a mesterséges levegőztetésű komposztdepónia (statik pile system); *c)* a tartályos rendszer (in-vessel composting).

A prizmás rendszerek a legelterjedtebbek. Ezeknek kétféle típusát alkalmazzák: a kevésbé komplex kialakítású és üzemű hagyományos prizmás rendszert *(118. ábra)* és a mesterségesen levegőztetett prizmás rendszert *(119. ábra)*.

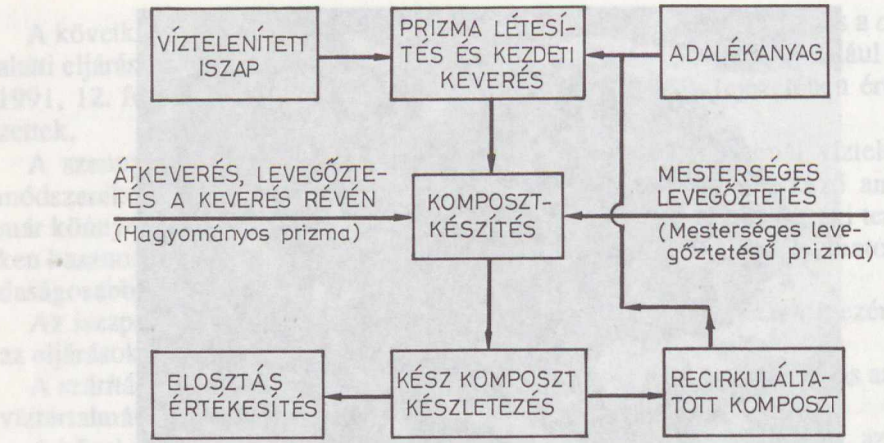
A hagyományos prizmás rendszer természetes levegőztetésű, az iszaplepény és adalékanyag (bulking agent) keverékéből hosszú, párhuzamos elhelyezésű prizmákat létesítenek. A prizmák anyagát többhetes komposztkészítési időszak alatt gyakran átforgatják mobil géppel.

*A mesterséges levegőztetésű prizmás rendszer*be ventilátor nyomja (vagy szívja) a levegőt. A rendszer létesítése üzemeltetési szempontból tehát a hagyományos prizmás rendszer elemeinek zömét is magába foglalja.

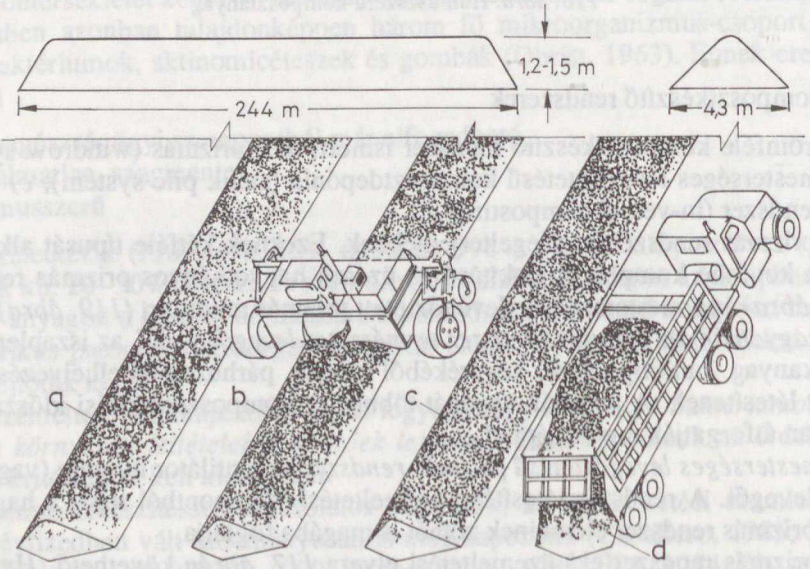
A prizmás rendszer(ek) üzemeltetési elve a *117. ábrán* követhető (Hay et al. nyomán, 1990).

A hagyományos prizmás rendszer létesítése, ill. üzemeltetése a *118/a–d ábrán* értelmezhető (Iacoboni nyomán, 1983).

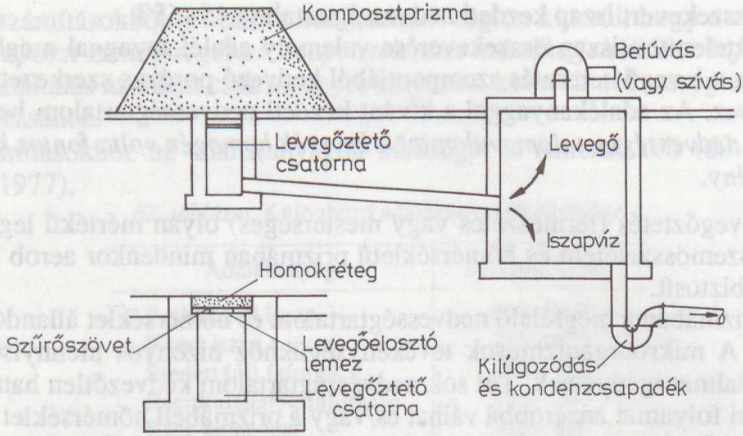
A mesterséges levegőztetésű komposztprizmás rendszer működési elve a *119. ábrán* adott.



117. ábra. A prizmás komposztkészítő rendszer(ek) általános üzemeltetési elve



118/a–d ábra. Hagyományos komposztprizma-rendszer létesítése és üzemeltetése. *a:* szerves anyagok lebontódása a már átforgatott prizmában; *b:* átforgató és prizmaformázó gép; *c:* átforgatásra váró prizma; *d:* helyszínre szállított komposzt összekeverése közben a gép ("flow-bay" trailer) prizmát létesít



119. ábra. Mesterséges levegőztetésű komposztprizma-rendszer működési elve

(C) Üzemeltetési szemlélet és tapasztalatok

1. A komposztrendszert a következő fő tényezők befolyásolják (Ehreth és Walker, 1977):

– iszap fajtája, tulajdonságai, illékonyanyag-tartalma,
– kezdeti nedvességtartalma és a keverék homogenitása,
– a levegőztetés vagy a komposztprizma-forgatás gyakorisága, oxigéntartalom,
– a biológiai úton lebontható szén/nitrogén-arány,
– pH,
– éghajlati, időjárási viszonyok,
– a kész komposzt kívánt nedvességtartalma (mint igény),
– az iszap komposztkészítést megelőző stabilizálása (az aerob vagy anaerob úton rothasztott iszap a komposztálást segítő berendezések méretét, a szükséges területet mintegy 40%-kal mérsékelheti),
– a víztelenítés módja,
– az alkalmazott kondicionálószerek.

2. Az iszap fajtája és tulajdonságai a komposztkészítést alapvetően befolyásolják.

– A prizmás komposztkészítés általában a rothasztott iszapra korlátozódik. Összetétele: víztelenített rothasztott iszap, amihez adalékanyagot [recirkuláltatott kész komposzt *(117. ábra)*, faforgács, fűrészpor, fakéreg, őrölt hulladékanyagok stb.] kevernek.

A kémiailag stabilizált és a nedves oxidációs iszapok a komposztkészítésre általában alkalmatlanok. A kémiai stabilizálás a termofil populáció számára alkalmatlan környezetet eredményez. A megoldást az iszap neutralizálása jelentheti.

A nedves oxidációs iszapból ugyan lehetséges komposztot készíteni, de az ártalmas szagemisszióval eleve számolni kell. Így a komposztprizmát vagy fedél alá kell telepíteni, vagy a szagvegyületeket tartalmazó levegőt kell megtisztítani.

– Az összekevert iszap kezdeti nedvességtartalma 45–65%.

– A víztelenített iszap összekeverése valamely adalékanyaggal meglehetősen egyforma, a levegőáteresztés szempontjából kedvező porózus szerkezetű iszapot eredményez. Az adalékanyaggal a kívánt kezdeti nedvességtartalom beállítható. *A kezdeti nedvességtartalom, valamint a keverék homogén volta fontos kiindulási követelmény.*

3. A levegőztetés (természetes vagy mesterséges) olyan mértékű legyen, ami az adott szemösszetételű és hőmérsékletű prizmában mindenkor aerob lebontási állapotot biztosít.

4. A prizmában a megfelelő nedvességtartalom és hőmérséklet állandóan fenntartandó. A mikroorganizmusok tevékenységükhöz bizonyos mennyiségű nedvességtartalmat igényelnek. Túl sok nedvességtartalom kedvezőtlen hatású, mert a lebontási folyamat anaerobbá válhat és/vagy a prizmabeli hőmérséklet oly mértékben csökkenhet, ami a mikroorganizmusok számára elfogadhatatlan.

5. A rothasztott előülepített és utóülepített iszap komposztkészítésre egyaránt alkalmas. De a víztelenített utóülepítőiszapból képlékeny tulajdonsága és nagy víztartalma miatt nehezebben készíthető komposzt, mint az előülepített iszapból. A víztelenített utóülepített iszap, a komposzt adalékanyaggal való összekeverése közben hajlamos összeállni, és így belőle csomók képződnek. Ezek a prizma kerülete mentén lévő zónában jól víztelenednek, de a prizma belsejében nedvességtartalmukat megőrzik. Esetenként ez a jelenség anaerob zónák keletkezéséhez, ezáltal szagképződésre és alacsony hőmérsékleti gócokra vezet. Gondot jelent a víztelenítéshez adagolt polimer kondicionálószer is, hiszen ez az iszapot ragadóssá teszi.

6. A recirkuláltatott komposzt mennyiségét valamely kezdeti keverék nedvességtartalom-eléréséhez

– a víztelenített iszap nedvességtartalma és
– és a recirkuláltatott komposzt nedvességtartalma befolyásolja.

A recirkuláltatott iszap mennyisége (kg/d), valamely kívánt keverék nedvességtartalom-eléréséhez a következőképpen számítható.

A víztelenített *iszap* nedvességtartalma:

$$\text{Iszap nedvességtartalma, \%} = 100\% - \text{iszap szárazanyag-tartalma, \%}. \tag{35}$$

$$\text{Keverék nedvességtartalma, \%} = \frac{\begin{array}{c}\text{Iszap, kg/d} \cdot \text{iszap nedvességtartalom, \%} + \\ + \text{recirkuláltatott komposzt, kg/d} \cdot \\ \cdot \text{recirkuláltatott komposzt nedvességtartalma, \%}\end{array}}{\text{Iszap, kg/d} + \text{recirkuláltatott komposzt, kg/d}}. \tag{36}$$

Adott *keverék*-nedvességtartalom beállításához a naponta *recirkuláltatott komposzt mennyisége:*

$$\text{Recirkuláltatott komposzt, kg/d} = \frac{\begin{array}{c}\text{Iszap, kg/d} \cdot \text{iszap szárazanyag-tartalma, \%} - \\ - \text{iszap, kg/d} \cdot \text{keverék nedvességtartalma, \%}\end{array}}{\begin{array}{c}\text{Keverék nedvességtartalma, \%} - \\ - \text{recirkuláltatott komposzt nedvességtartalma, \%}\end{array}}. \tag{37}$$

Ilyen számításokból, a számszerűsítésekből rögtön kiderül, hogy *a recirkuláltatott komposzt mennyiségét az iszapvíztelenítés mértéke jelentősen befolyásolja.* A recirkuláltatás azonban csak az egyik tényező a keverék nedvességtartalmának szabályozásához.

A számításokhoz az adalékanyagok sűrűségét is ismerni kell (*62. táblázat;* Wilson, 1977).

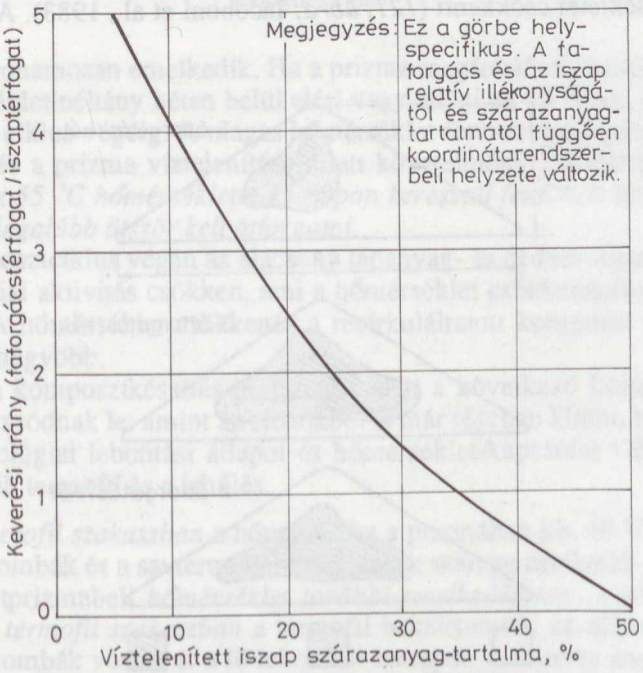
62. táblázat. Különböző adalékanyagok sűrűsége

Adalékanyag	Sűrűség, kg/m³
Rothasztott iszap	900–1000
Nyers iszap	780–1000
Eredeti (új) faforgács	260– 330
Recirkuláltatott faforgács	350– 370
Kész komposzt	550– 620

7. Az aerob lebontáshoz a prizma optimális nedvességtartalma 50–60%.

8. Ha az iszap + adalékanyag nedvességtartalma 60%-nál nagyobb, a prizma kívánt stabilitása nem biztosítható, és az iszap a prizma rézsűjén lecsúszik.

9. *Az adalékanyag-mennyiség megfelelő megválasztása* (*120. ábra;* Golueke nyomán, 1972) *a komposztkészítés sikerét vagy sikertelenségét eleve jelentősen befolyásolhatja.* Egyes adalékanyagok a recirkuláltatott komposztnál kedvezőbb



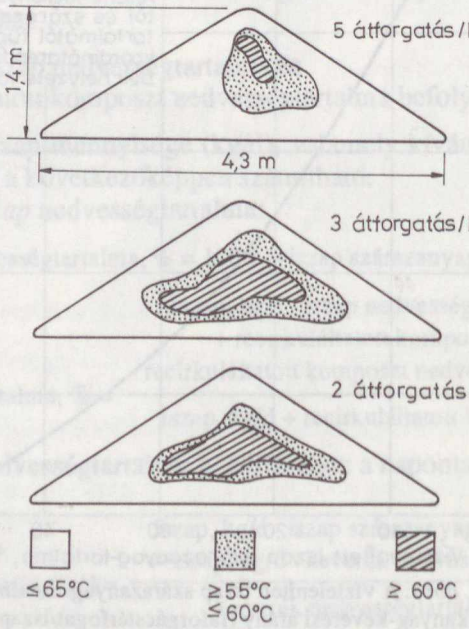
120. ábra. A víztelenített iszap szárazanyag-tartalma és az adalékanyag-keverési arány (faforgácstérfogat/iszaptérfogat) közötti kapcsolat

hatásúak: a prizma kezdeti porozitása nagyobb, ami nagyobb mértékű oxigénbehatolást és oxigénellátást eredményez.

10. A komposztprizma porozitása, nedvességtartalma, keresztmetszeti méretei elegendők legyenek *(118. ábra)* a termofil lebontás kialakulásához és fenntartásához. *A termofil baktériumok által termelt hő mennyisége a prizmából távozó hőveszteségnél nagyobb legyen.* A prizma méretét (elsősorban keresztmetszetét) növelve a hőveszteség mértéke csökken, hiszen a felszín/térfogat-arány csökken, miáltal a belső hőmérséklet emelkedik. Például: a prizmakeresztmetszet minden 0,5 m^2-nyi növelésével a hőmérséklet kb. 1,2 °C-kal emelkedik (Hay et al., 1984). Ezért a prizma lehetőleg nagy keresztmetszetű legyen, igazodva a prizmát készítő gép teljesítményéhez. A nagyobb méretű komposztprizma a csapadék hatását is mérsékelheti.

11. Miután a prizmák készítése befejeződött, a prizmák anyagát az első öt napon át minimum kétszer át kell keverni, hogy a komposztkészítés folyamata beinduljon és a homogén keverék létrejöhessen. Ezt követően a prizma anyagát a levegőztetés, és az atmoszféra szárító hatása fokozása céljából, naponta egyszer–hetente egyszer elég átforgatni. Az üzemeltetési tapasztalatok azonban arra is figyelmeztetnek, hogy a kezdeti keverések gyakoriságát növelve, a prizma lehűlhet, ezáltal a hőmérséklet nem emelkedik 55 °C-ra. Különösen ez lehet a helyzet télen (Hay et al., 1984).

12. *Ha a komposztkészítés már beindult,* a folyamatot *az átforgatás gyakorisága* jelentősen befolyásolja. Az átforgatás gyakorisága a komposztkészítés kezdeti időszakaszában a prizma hőmérsékletét kevésbé befolyásolja, a későbbi időszakban a hőmérsékletet csökkenti *(121. ábra;* Iacoboni et al., 1983). Az ábra szerint

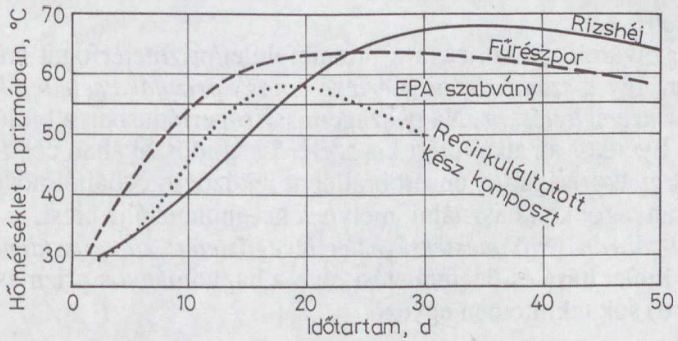


121. ábra. A prizmaanyag átforgatásának hatása a prizmahőmérsékletre

a gyakrabban átkevert prizmákban a meleg zónák kisebb kiterjedésűek (≥55 °C zónák). A heti háromszori átkeverés

– megfelelő mértékű patogénszervezet-elölést és
– megfelelő száradási mértéket biztosít (Iacoboni et al., 1983).

13. A keverék komposztté válásához 30–50 nap szükséges. Azonban a csapadékos állapotok és a hideg külső hőmérséklet a komposztciklust számos héttel meghosszabbíthatja. Amint a *122. ábra* szemlélteti, a hőmérséklet a prizmában



122. ábra. Belső hőmérséklet a komposztprizmában az üzemeltetés időtartama alatt

az első héten rohamosan emelkedik. Ha a prizma megfelelően létesült és átforgatott, a hőmérséklet néhány héten belül eléri vagy átlépi az 55 °C-ot, és ezen szint felett marad a ciklus végéig. A magas hőmérséklet fenntartása a patogén szervezetek elölése és a prizma víztelenítése miatt követelmény. Általában az a vélemény, hogy *az 55 °C hőmérsékletet 15 napon keresztül fenn kell tartani, a komposztot pedig legalább ötször kell átforgatni.*

14. A komposztciklus végén az alacsony tápanyag- és nedvességtartalom miatt a mikrobiológiai aktivitás csökken, ami a hőmérséklet csökkenését eredményezi *(122. ábra)*. A hőmérséklet-csökkenés a recirkuláltatott komposzt adalékanyag esetében a legnagyobb.

Valójában a komposztkészítés időtartama alatt a következő komplex részletfolyamatok játszódnak le: amint az előzőkből is már részben kitűnt, három jellegzetes mikrobiológiai lebontási állapot és hőmérséklet-kapcsolat váltogatja egymást: a mezofil, termofil és a lehűlés.

A kezdeti mezofil szakaszban a hőmérséklet a prizmában kb. 40 °C-ig emelkedik. Ekkor a gombák és a savtermelő baktériumok szerepe uralkodó.

A komposztprizmabeli *hőmérséklet további emelkedésekor*, a 40–70 °C tartományban, *a termofil szakaszban* a termofil baktériumok, az aktinomicéteszek és a termofil gombák veszik át a fő lebontási szerepet. A szerves anyagok legnagyobb mértékű stabilizálása ebben a termofil szakaszban játszódik le.

15. *A lehűlési szakaszban* a mikrobiológiai teret mezofil baktériumok és gombák váltják fel. A lehűlési időszakban további iszapvíz-elpárolgás, a pH stabilizálása és a huminsavképződés befejeződése a jellemző.

16. Az eső a komposzttelep üzemeltetését oly módon is befolyásolja, hogy a burkolatlan felületek sárszerűvé válnak, így a mozgó prizmakészítő és -átforgató gépek munkája lehetetlenné válik: új prizma nem létesíthető, a kész komposzt nem távolítható el, az iszap átforgatása az esőt követően nem lehetséges (Hay et al., 1984). Az intenzív csapadék a prizmát lehűti és a populációk aktivitását csökkenti.

17. A hideg levegő a komposzttermelődés mértékét csökkenti: a szárítás időtartamát növeli.

18. A szagzavarok gyakorisága a prizmafelület/prizmatérfogat-aránnyal kapcsolatban van. Így *a szagemisszió mértéke a nagy prizmák esetében kisebb, mint a kis prizmák üzemeltetéskor.* Nagy szagemisszió-periódusban a biológiai aktivitás csökken. Ilyenkor az átkeverést kis szélerősség időszakában célszerű beiktatni, a keverés gyakoriságát az anaerob állapot leküzdése céljából növelni kell, és olyan adalékanyagot kell használni, melynek szagpotenciálja kicsi.

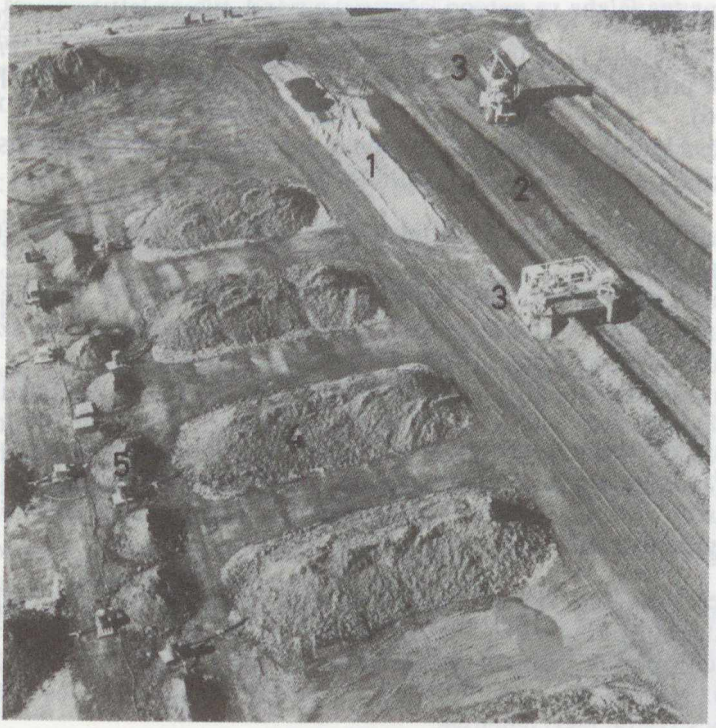
19. A *119. ábrán* lévő *mesterségesen levegőztetett komposztdepónia* (static pile system) kialakítása és üzemeltetési elve a hagyományos prizmás rendszerével *(118. ábra)* sok tekintetben egyező.

Előnyei:

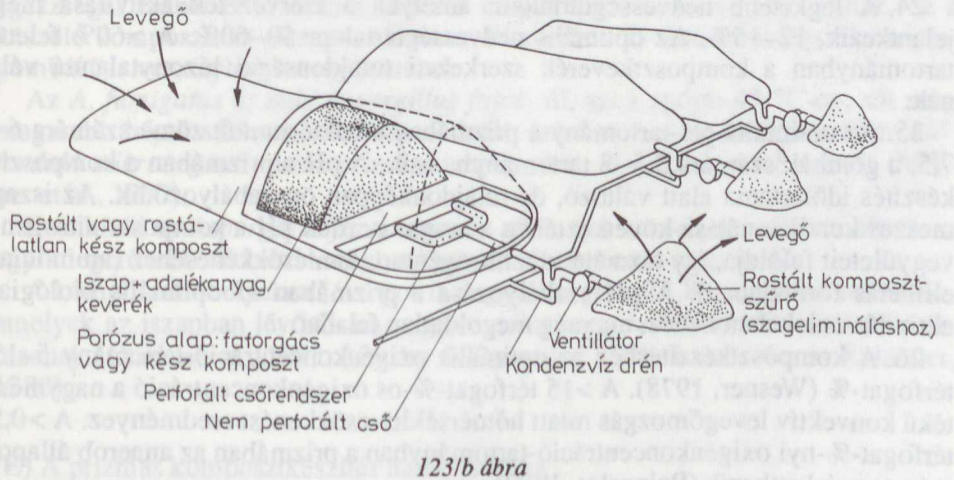
– területigény kisebb,
– a szagszabályozás hatékonyabb,
– a szárítás mértéke kedvezőbb és
– jobb a folyamatszabályozás és a hatékonyság a kedvezőtlen időjárásviszonyok időszakában is,
– az aerob állapot a teljes prizmában mindenkor fenntartható,
– az állandó aerob állapot kedvező hatása miatt több energia szabadul fel, így a hőmérséklet magasabb és a szárítás intenzívebb. *Kb. hússzor annyi energia szabadul fel az aerob reakciók során, mint az anaerob reakciók közben,* ami a hőmérséklet alakulása szempontjából nagyon fontos.

Hátrányai: beruházási költségek nagyobbak, mint a hagyományos prizmás rendszer esetében, amit a költséges levegőztető és szagszabályozó (pl. levegőszűrő) berendezések alkalmazása okoz.

20. A mesterséges levegőztetés módja pozitív (amikor a levegőt benyomják a prizmába), vagy negatív (amikor a levegőt elszívják a prizmából) folyamatú lehet. *A vákuumos levegőztetést előnyben részesítik (123/a–b. ábra;* EPA, 1984 nyomán), mert így a szaganyagok a prizmából összegyűjthetők és a levegő szagtalanító berendezésen keresztül bocsátható az atmoszférába. A prizma felszínét kész komposztréteggel fedik le, így a prizma jól elszigetelhető, és a prizma teljes keresztmetszetében megfelelő hőmérsékleti szint beszabályozását és fenntartását segíti. *Ez esetben az iszap átforgatása természetesen elmarad,* a folyamat felgyorsulása következtében a komposztálódási idő rövidebb lesz, így csökken a területigény.



123/a ábra



123/b ábra

123/a–b ábra. Mesterséges (vákuumos) prizmás komposztkészítés.
a ábra: Beltsville-i (Maryland) komposztkészítő telep (1); víztelenített iszap és faforgács összekeverése, majd természetes levegőzésű prizmákba rakása (2); ezt a prizma gépi úton való átkeverése, egyben intenzívebb levegőztetése követi (3). A komposztdepóniát (4) vákuumos úton levegőztetik *(b ábra);* a levegőt a komposztdepóniából szintén a vákuummal szívják el és komposztszűrővel (5) tisztítják

21. A mesterséges levegőztetés esetében gondos üzemeltetés (oxigén- és hőmérsékletméréssel a prizmán belül) révén *a túllevegőztetést el kell kerülni,* mert különben a prizma lehűl, és így a komposztkészítés folyamata lassul (Kuchenrither, 1986).

22. A kész komposzt nitrogéntartalma minden más iszapfajtánál kisebb, a következő okok miatt (Hornick et al., 1984):

– az iszap kondicionálása és víztelenítése közben a nitrogénvegyületek egy része eliminálódik,
– a komposzthoz kevert adalékanyagok miatt a tápanyagok „hígulnak", azonban az adalékanyagok (mezőgazdasági hulladék, szeparált városi szemét stb.) talajstruktúra-javítás szempontjából rendkívül kedvezőek,
– a komposztkészítés közben ammónia-nitrogén-veszteség keletkezik.

Ettől függetlenül, *a komposzt kitűnő talajkondicionáló tulajdonságokkal rendelkezik, és tápanyagai a talajban számos éven át lassan használódnak fel.*

23. *Az iszap nem válik teljesen inert anyagokká a komposztkészítés közben,* mely akkor tekinthető befejezettnek, ha a kész komposzt

– a keverék további, alacsony hőmérsékleten történő stabilizálás céljából tárolható anélkül, hogy környezetére szagártalmat okozna,
– patogén mikroorganizmus-koncentrációja olyan szintre csökkent, ami elhelyezését, az ezzel járó tevékenységeket (pl. szállítás, elterítés füves területen) minimális kockázattal teszi lehetővé.

A komposztban maradt szerves anyagok kitűnő talajjavítók.

24. A legkisebb nedvességtartalom, amelyen a szervezetek aktivitása még jelentkezik, 12–15%. Az optimális nedvességtartalom 50–60%. A >60% feletti tartományban a komposztkeverék szerkezeti tulajdonságai bizonytalanná válnak.

25. Az optimális pH-tartomány a prizmában a baktériumok zöme számára 6–7,5, a gombák számára 5,5–8 tartományba esik. A pH a prizmában a komposztkészítés időtartama alatt változó, de tulajdonképpen önszabályozódik. Az iszap meszes kondicionálása következtében a magas kezdeti pH a komposzt nitrogénvegyületeit feloldja, így hozzájárul a nitrogéntartalom csökkenéséhez (ammóniaelillanás formájában). A pH szabályozása a prizmában az optimális biológiai aktivitás érdekében nehéz, ma még megoldatlan feladat.

26. A komposztkészítéshez az optimális oxigénkoncentráció-tartomány 5–15 térfogat-% (Wesner, 1978). A >15 térfogat-%-os oxigénkoncentráció a nagymértékű konvektív levegőmozgás miatt hőmérséklet-csökkenést eredményez. A >0,5 térfogat-%-nyi oxigénkoncentráció-tartományban a prizmában az anaerob állapot még nem jelentkezik (Poincelot, 1977).

27. Ha a komposztkészítés befejeződött, az adalékanyagot (pl. faforgácsot) a komposztból rendszerint rostálással távolítják el, majd recirkuláltatják az iszap- és az adalékanyag-keverési ponthoz, újrahasznosítás céljából. A finom adalékanyag-frakció azonban a kész komposztban marad, mert az a rostán keresztülha-

lad a kész komposzttal együtt. Ezért a tervezési ponton az adalékanyag-veszteség pótlására friss adalékanyagot is kell az iszaphoz keverni.

28. A komposzt érettségére vonatkozó, MSZ 10–509/91 szabvány szerinti megállapítások: *a komposzt érettnek tekinthető,* amennyiben

– színe: érettségétől függően barna és a fekete-barna között van,
– szaga: földszagú, kismértékben iszap-, penész- vagy gombaszagú. Ha a komposzt szaga bűzös, akkor nem felel meg,
– nedvessége: földnedves, lapátolható, szórható,
– érettsége: az adalék-, ill. a felszívatásra szolgáló szálas anyagok könnyen szakíthatók.

(D) Egészségügyi kockázat a komposzttelep üzemeltetésekor

Az üzemeltetők a komposzttelepi környezetben számos életképes Gram-negatív baktérium- és gombafajta, valamint mikrobiológiai termék, mint az endotoxin (lipopolyszaccharid, LPS), egészségügyi veszélyének vannak kitéve (Clark et al., 1984).

A komposztkészítés közben, amint az előzőkből is már kitűnik, a legtöbb mikroorganizmus, a vírusokat is beleértve, inaktiválódik.

A közegészségügyi kockázat mégis megmarad, mert a komposztban keletkezett hő, a Gram-negatív baktériumokban lévő LPS és egyéb, a komposztban lévő mikrobiológiai termékek detoxikáló hatása elégtelen. A készülő komposztban fejlődő hő ideális hőmérsékletnek bizonyul számos termofil mikroorganizmus (mint az aktinomicétesz, üszöggomba és különösen az *Aspergillus fumigatus*) nagymértékű elszaporodásához. A komposzttal dolgozó személyek nemcsak az iszapban lévő enterális patogén mikroorganizmusok (elsődleges patogének, mivel ezek az egészséges ember fertőződését képesek megindítani) veszélye alatt állnak, de a készülő komposztban elszaporodó termofil gombák és aktinomicéteszek (sugárgombák) is veszélyhelyzetet jelentenek.

Az *A. fumigatus és más Aspergillus fajok,* ill. azok spórái 45 °C-on, sőt még magasabb hőmérsékleten is elszaporodnak, ezért *ezek a legáltalánosabban előforduló mikroorganizmusok a komposzttelepeken, ill. a komposzthelyeken* (Millner et al., 1977).

Ezenkívül az *Aspergillus flavus,* amely aflatoxint termel, az emberre nézve az egyik legerősebb rákkeltő hatású, a komposztban szintén szaporodik.

A komposztálóhelyeken lévő por is nagymennyiségű LPS-terméket tartalmaz, amelyek az iszapban lévő Gram-negatív mikroorganizmusok aktivitásából származnak (Clark et. al., 1983; Matsby és Rylander, 1978; Lundholm és Rylander, 1980).

(E) A prizmás komposztkészítés hatékonysága

A prizmás komposztkészítés jellemző hatékonysága a *63. táblázat*ban adott (Kerri et al., 1989; Tortorici és Stahl, 1989).

63. táblázat. A prizmás komposztkészítés jellemző hatékonysága

Iszapfajta[1]	Keverékanyag-arány[2], kg/kg	Kezdeti nedvesség-tartalom, %	Maximális komposzt-hőmérséklet, °C	Kész komposzt nedvesség-tartalma, %	Komposzt-készítés időtartama, d
Előülepített	0,5:1–1:1	45–65	54–60	30–25	8–15
Utóülepített[3]	1:1–1,5:1	45–65	54–60	30–25	15–25

Megjegyzések:

[1] Az iszap rothasztott és víztelenített.

[2] Keveréshez komposztanyagot alkalmaznak. Az arány kg komposzt/kg iszap.

[3] Utóülepített iszap esetében a keverékanyag-arány nagyobb, a komposztkészítés időtartama pedig növekszik, mert az utóülepített iszap nedvességtartalma az előülepített iszapéhoz képest általában nagyobb.

A táblázat nyári időszakra vonatkozik. Gondolni kell arra, hogy a prizmás komposztkészítést az időjárási viszonyok nagymértékben befolyásolhatják. Csapadékos időben, hideg évszakban, ill. hideg éghajlat alatt a komposztkészítés időtartama 2–3-szoros is lehet.

Az utóülepített iszap esetében nehezebb homogén keverékanyagot előállítani.

A táblázat alapján megállapítható: minthogy *a komposztkészítés tervezése is csak eleve kisebb-nagyobb közelítéssel lehetséges, az üzemeltető szakértelme, jártassága, gondos munkája rendkívül nagy szerepet játszik.*

(F) Monitorprogram a komposztkészítéshez

A komposztkészítés javasolt monitorprogramját a *64. táblázat* tartalmazza (Haug és Haug, 1977–1978).

64. táblázat. A komposztkészítés monitorprogramja

Megfigyelés, tevékenység időpontja	Komponens	Analízis	Gyakoriság
Komposztálás előtt	Iszap és adalékanyag	Nehézfémek	Havonta
Komposztkészítés közben	Természetes levegőztetésű prizma vagy mesterségesen levegőztetett komposztdepónia (*123/a ábra*, 4)	Elfogadható idő, hőmérséklet, oldott oxigén-kapcsolatok, 55 °C és 5–15 térfogat-% oxigénkoncentráció 3–5 napra	Hőmérséklet- és oxigéntartalom-mérés, legalább 6 naponként az első 2 hét alatt (néha további mérések szükségesek a tényleges átlag számításához)
Komposztkészítés után	Komposzt eladás, elhelyezés előtt	Bizonyos szelektált indikátor nehézfémek és patogének	Havonként vagy kéthavonként, a komposzthasznosítástól függően

64. tábl. folyt.

Megfigyelés, tevékenység időpontja	Komponens	Analízis	Gyakoriság
Megfigyelések a teljes üzemeltetési időszakban	Üzemeltető	Fizikai vizsgálat, alkalmazás előtt és azt követően periodikusan	Évenként
		Védőberendezés és védőruha szükséges	Folyamatosan
	Szagemisszió	Szagerősség	Folyamatosan, de különösen a csapadékos időszakban, időjárás-változáskor, kis szél vagy szélcsend időszakában
		Szageliminálló rostált komposztszűrő halom *(118. ábra)* hatékonysága	Folyamatosan
		Szagpanaszok naplózása	Folyamatosan
	Por	A porszemcse-koncentráció becslése	Folyamatosan, de különösen száraz, szeles időszakban
	Komposztprizmából származó csurgalékvíz (iszapvíz) és felszíni csapadékvíz-lefolyás	BOI_5- és lebegőanyag-koncentráció	Havonta hátszél esetén, ahol a lakosság számára kritikus helyzet állhat elő
	Légi úton szállított spórák	Transzportált spórák mennyisége (száma)	Havonta
	Mikrometeorológiai	Hőmérséklet a talajfelszín felett 1,5 m-re, 7,6 m-re	Folyamatosan
		Szélsebesség	Folyamatosan
		Szélirány	Folyamatosan

(G) A prizmás komposztkészítés lehetséges üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük módjai

A prizmás komposztkészítés jellemző üzemeltetési hibái, azok okai, kiküszöbölésük módjai a *65. táblázat*ban adottak (Tortorici és Stahl, 1989; Szilágyi, 1994; Szombati, 1994; Öllős, 1994)

65. táblázat. A prizmás komposztkészítés üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük módjai

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Kiküszöbölés
1. Utóülepített iszap + adalékanyag-keverék túl nedves	1a Víztelenített iszap túl nedves	1a Víztelenítési eljárás, ill. folyamat. Szagemisszió. Keverék komponensek aránya	1a Iszaplepény szárazanyag-tartalma növelendő. Keverékarány változtatása (több adalékanyag bekeverése)
	1b Polimer-túladagolás	1b Víztelenítés folyamata	1b Polimeradag csökkentése
	1c Iszap + adalékanyag összekeverése tökéletlen	1c Összekeverés művelete	1c Összekeverési művelet javítása
2. Alacsony komposzthőmérséklet	2a Iszap + adalékanyag keveréke csomósodik	2a Mint 1.	2a Mint 1.
	2b Prizma nedvességtartalma	2b Prizma nedvességtartalom	2b További kész komposzt- vagy egyéb adalékanyag-adagolás
	2c Levegőztetés gyakorisága túlzott	2c Levegőztetés gyakorisága. Prizma nedvességtartalma	2c Recirkuláltatott komposzt- vagy egyéb adalékanyag-adagolás növelése
3. Anaerob állapot	3a Levegőztetés (átkeverés) gyakorisága elégtelen	3a Levegőztetés gyakorisága és prizmahőmérséklet	3a Levegőztetés gyakoriság növelése
	3b Prizma kezdeti nedvességtartalma az optimális 45–65%-nál nagyobb	3b Prizma nedvességtartalma, hőmérséklete, csomósodás a prizmában	3b További komposzt- (oltóanyag-) vagy egyéb adalékanyag-adagolás
	3c Csomósodott keverék a prizma belső terében nem víztelenedik	3c Mint 1.	3c Mint 1.

65. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Kiküszöbölés
4. Túlzott mértékű hőveszteség a prizmából	4a Átkeverés gyakorisága túlzott. Termofil komposztáló mikroszervezetek számára kedvezőtlen a környezet	4a Átkeverés gyakorisága. Prizmahőmérséklet. Termofil mikroszervezetek	4a Átkeverés gyakoriságát csökkenteni kell. Prizma monitorrendszer *(124. ábra)* létesítése (*64 táblázat;* Haug és Haug, 1977–1978)
5. Komposztkészítés időtartama hosszabbodik	5a Csapadékos időjárás. Hideg időszak	5a Csapadék. Környező levegőhőmérséklet	5a Prizma lefedése (amennyiben lehetséges). Területigény nő
	5b Nagy C/N-arány	5b Baktériumszaporodás sebessége	5b C/N-arány beállítása (*120. ábra* példát ad erre; Poincelot, 1977)
6. Prizma átázik, hőveszteségfokozódás, a területen gépekkel nehéz dolgozni	6a Csapadék	6a Csapadék	6a Mint 5.
7. A víztelenített utóülepítőiszapból készített komposzt nedvességtartalma nagyobb, mint az előülepített iszapból készített komposzté	7a Víztelenített iszap nedvességtartalma nagy	7a Víztelenített iszap nedvességtartalma	7a Utóülepített iszap esetében hosszabb a komposztkészítési időtartam és nagyobb mennyiségű adalékanyag adagolása szükséges
8. Szagemisszió	8a Prizmafelület/térfogat-arány nem optimális a szagemisszió szempontjából	8a Prizmafelület/térfogat-arány[1]	8a Az arány változtatása (a nagyobb prizma kedvezőbb) Mint 3.
9. Nitrogéneliminálódás jelentős	9a A prizma nagy kezdeti pH-jú (meszes kondicionálás miatt)	9a Nitrogénvegyületek oldódása. Ammóniaelillanás	9a pH-szabályozás nem megoldott

65. tábl. folyt.

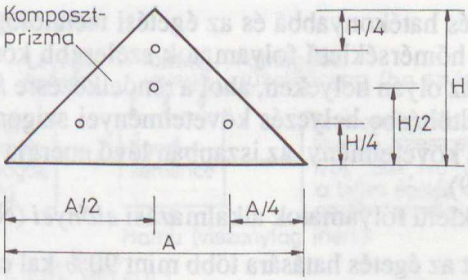
Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Kiküszöbölés
	9b Kis C/N-arány	9b Ammóniaelillanás	9b C/N-arány beállítása[2] (C a biológiailag lebontható szerves anyag)
10. Komposztreakciók nem önfenntartók	10a W>10 volta (W = az összekevert komposzt kezdeti víztartalma / a komposztkészítés közben lebontódott szerves anyagok mennyisége)	10a W meghatározása	10a A reakció önfenntartása a $W \leq 10$ tartományban lehetséges (Haug és Haug, 1977–1978). A komposzt akkor rendelkezik megfelelő energiával a hőmérséklet növeléséhez és a víz elpárologtatásához[3]
	10b Lebontható szervesanyag-koncentráció elégtelen	10b Lebontható szervesanyag-koncentráció	10b Többlet lebontható szervesanyag-adagolás. (Ezek az anyagok rendszerint szárazak, növelik az illékony frakciót, csökkentik a keverék nedvességtartalmát, így a W csökkenthető)
11. A folyamat nem indul be	11a C/N-arány nem megfelelő	11a C/N-arány	11a Adalékanyag-menynyiség növelése
	11b Nagy nedvességtartalom	11b Nedvességtartalom	11b Adalékanyag-menynyiség növelése
	11c Nehézfémek inhibitor hatása	11c Nehézfémek	11c Nehézfém-szennyeződés megszüntetése

Megjegyzés:

[1] Jellemző prizmaszélesség 4,5 m és a magasság 1–2 m. A prizma keresztmetszete háromszög vagy trapéz alakú lehet, amit elsősorban a keveréshez, prizmaépítéshez és átkeveréshez használt mozgó gép típusa befolyásol *(118. ábra)*. A kívánt komposztkeresztmetszet fenntartását az adalékanyag, a komposztanyag-keverék porozitásának fennmaradása is segíti.

[2] A rothasztott eleveniszap C/N-aránya 9–15:1. Ha az adalékanyag faforgács, akkor a keverék C/N-aránya kb. 20–30:1.

[3] A W=10 arányszám nem abszolút, mert a klimatikus állapotok a termodinamikai energiaigényeket befolyásolják. Hideg éghajlat, ill. évszak esetében a komposzt energiaigénye nagyobb a prizma normál üzemeltetési hőmérsékletének biztosításához, így a $7<W<10$ tartomány lehet mértékadó (Haug és Haug, 1977–1978). A prizmában azonban a konvektív levegőmozgás nagyon fontos, mert a mikroorganizmusok oxigénellátására a W-szabályozás egyik fontos alaptényezője.



124. ábra. Hőmérséklet- és oxigénészlelő pontok a prizmában

(H) Kérdések

1. Melyek a kimondottan iszaptérfogat-csökkentő eljárások? (4.4.8.6. fejezet.)
2. Mi a különbség iszapszárítás és iszapégetés között? (4.4.8.6. fejezet.)
3. Mi a célja a komposztkészítésnek? [4.4.8.6. (B) fejezet.]
4. Milyen mikroszervezetek működnek közre a komposztkészítésben? [4.4.8.6. (B) fejezet.]
5. Miért előnyös az aerob állapotú komposztkészítés? [4.4.8.6. (A) fejezet.]
6. Milyen fő komposztkészítő rendszerek léteznek? [4.4.8.6. (B) fejezet; *118.* és *119. ábra.*]
7. Miért kell a komposztot prizmában vagy depóniában készíteni, és milyen környezeti feltételeket kell biztosítani? [4.4.8.6. (A) fejezet.]
8. A kémiailag stabilizált és a nedves oxidációjú iszap általában miért nem alkalmas komposztkészítésre? [4.4.8.6. (C) fejezet.]
9. Melyek a komposztkészítés környezeti kritériumai? [4.4.8.6. (C) fejezet.]
10. Milyen tényezők befolyásolják a komposztkészítést? [4.4.8.6. (C) fejezet.]
11. Miért jelentkezik a komposztkeverék csomósodása? Értelmezzük a folyamatot és annak következményeit. [4.4.8.6. (C) fejezet.]
12. Milyen adalékanyagok léteznek? Céljuk, s a recirkuláltatás szerepe. [4.4.8.6. (C) fejezet.]
13. Milyen folyamatok befolyásolják a prizma hőháztartását? [4.4.8.6. (C) fejezet; *122. ábra.*]
14. Miért kell a prizma anyagát átforgatni? [4.4.8.6. (C) fejezet; *121. ábra.*]
15. Mennyi idő szükséges a komposztkészítéshez? Melyek a befolyásoló tényezők? [4.4.8.6. (C) fejezet.]
16. Milyen a hatása a klimatikus viszonyoknak a komposztkészítésre, a hatás milyen folyamatokban nyilvánul meg? [4.4.8.6. (C) fejezet.]
17. Mi a szerepe az oxigén jelenlétének és koncentrációjának a komposztkészítéskor? [4.4.8.6. (C) fejezet.]
18. Milyen tulajdonságokkal rendelkezik a kész komposzt? [4.4.8.6. (C) fejezet.]
19. Mekkora a komposztkészítés hatékonysága? [4.4.8.6. (E) fejezet; *63. táblázat.*]
20. Melyek a komposztkészítés jellegzetes üzemeltetési hibái? [4.4.8.6. (G) fejezet; *65. táblázat.*]

4.4.8.7. ISZAPÉGETÉS

Az iszapégetés a *magas hőmérsékletű folyamatok* csoportjába tartozik. Elterjedésüket kezdetben az korlátozta, hogy a szennyvíziszapok komplexebb összetételűekké váltak. Az utóülepített és a szennyvíz-utótisztításból származó iszapokat nehezebb víztelenníteni. Emiatt az égetés fűtőanyagigénye növekedett.

Az iszapvíztelenítés hatékonyabbá és az égetési technológiák fejlettebbé válása azonban a magas hőmérsékletű folyamatok szélesebb körű alkalmazását tette lehetővé, különösen az olyan helyeken, ahol a rendelkezésre álló földterület kevés, a depóniába, ill. a feltöltésbe helyezés követelményei szigorúak, a toxikus anyagok megsemmisítése követelmény, az iszapban lévő energia visszanyerése fontos szempont (EPA, 1979).

A magas hőmérsékletű folyamatok alkalmazási *előnyei* (Niessen, 1978):

1. Az iszaptérfogat az égetés hatására több mint 90%-kal csökken, így az iszapelhelyezési probléma könnyebbé válik.
2. A toxikus anyagok megsemmisíthetők vagy csökkenthetők, amelyek különben környezeti problémákat okoznának (Shen et al., 1978).
3. Az égetés révén energia nyerhető vissza, ezáltal az általános energiaköltségek mérsékelhetők.
4. A hamu a peszticidektől, vírusoktól és patogén szervezetektől mentes.

Hátrányai:

1. A beruházási, üzemeltetési és fenntartási költségek (pótfűtőanyag-igényt is beleértve) általában minden más eljárásénál magasabbak.
2. A magas üzemeltetési hőmérséklet miatt a fenntartási igények nagyok, és a berendezés megbízhatósága csökkenhet.
3. Jártas és tapasztalat üzemeltetőkre van szükség.
4. Az atmoszférába (szennyezőanyag-részecskék, toxikus, ártalmas emissziók), felszíni vizekbe (gázmosó vizek) és a természetbe (égésből származó maradékanyagok) való kibocsátás megakadályozása céljából széles körű tisztításokra lehet szükség (Dunn, 1975).

A leginkább alkalmazott iszapégető eljárások:

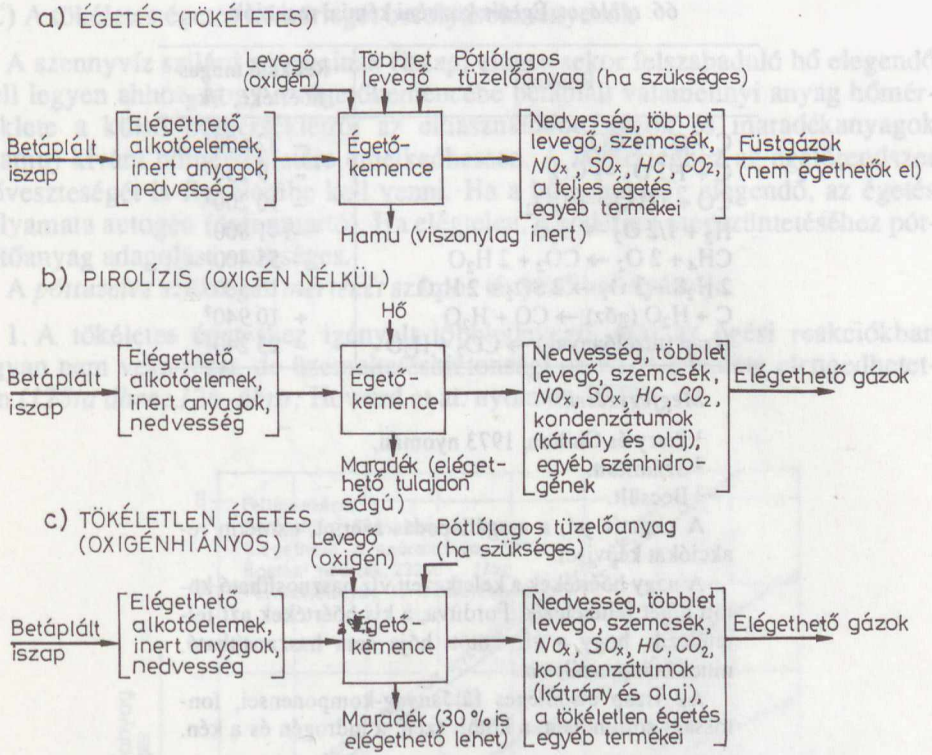
– az etázskemence,
– a forgó csőkemencés és
– a fluidizációs kemence.

(A) Magas hőmérsékletű égetési folyamatok alapelvei

A magas hőmérsékletű égetés a fűtőanyag (szennyvíziszap) elégethető elemeinek gyors, exoterm (hőleadással járó) oxidációja.

A magas hőmérsékletű égetési folyamatok *alapelemei* a *125/a–c ábrán* értelmezhetők (EPA, 1979 nyomán). Az *a ábra a tökéletes elégetést biztosító iszapégetésre* vonatkozik. A *b ábra* a *pirolízis (oxidáció nélküli)* égetést képviseli, amikor a szerves, szilárd anyagok részlegesen oxidálódnak és elpárolognak, miközben hőértékű végtermékek (elégethető gázok) keletkeznek. A *c ábra* a *tökéletlen (oxigénhiányos)* égetés folyamatát szemlélteti.

A folyamatok részletes jellemzését például Öllős, 1991, 11.9. fejezet, ill. Benedek–Valló, 1976, III. 3.8. fejezete tartalmazza.



125/a–c ábra. A magas hőmérsékletű oxidációs eljárások alapfolyamatai

(B) Az iszap fűtőértéke

Az égetési folyamatokhoz a szilárd tüzelőanyag (iszap)

– illékony szilárd anyagként és
– összes tüzelőanyagként

analizálandó. A két mért érték közötti különbség a kötött szén.

Az illékony szilárd anyagok levegő jelenléte nélkül, a tüzelőanyag hevítésével, az összes tüzelőanyag 725 °C-os égetésével határozható meg. A két súlyveszteség különbsége a kötött szén.

Az égetés közben lejátszódó kémiai reakciók a *66. táblázat*ban adottak.

66. táblázat. Égetés közbeni kémiai reakciók

Reakció	Reakció magas hőértéke, J/kg
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	− 32 600[1]
$C + 1/2\ O_2 \rightarrow CO$	− 9 250[1]
$CO + 1/2\ O_2 \rightarrow CO_2$	− 10 200[1]
$H_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O$	−141 800[1]
$CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$	− 55 400[1]
$2\ H_2S + 3\ O_2 \rightarrow 2\ SO_2 + 2\ H_2O$	− 16 500[1]
$C + H_2O$ (gőz) $\rightarrow CO + H_2O$	+ 10 940[2]
Iszap (tüzelőanyag) $\rightarrow CO_2 + H_2O$	− 23 240[3]

Megjegyzések:

[1] Perry és Chilton, 1973 nyomán.

[2] Számított.

[3] Becsült.

A negatív jel, a megállapodás szerint, exoterm reakciókat képvisel.

A nagy hőértékek a keletkezett víz hasznosítható kötött hőjét feltételezik. Fordítva, a kis hőértékek azt feltételezik, hogy a víz kötött hője nem hasznosítható, nincs kompenzált víz.

Az iszap elsődleges fűtőanyag-komponensei, fontossági sorrendben, a kötött szén, a hidrogén és a kén.

A nagy elégethető anyaghányadot tartalmazó iszapok (pl. zsíranyagok, úszóiszap) nagy fűtőértékűek. A sok inert anyagot (pl. homok, kémiai csapadékok) tartalmazó iszapok fűtőértéke kicsi. Sőt a kémiai csapadékok jelentős hőigényűek lehetnek a magas hőmérsékletű oxidáltatás során, ami a tényleges tüzelőanyag-értéküket tovább csökkenti.

Egyes iszapfajták fűtőértékét, összehasonlítás céljából, a *67. táblázat* érzékelteti (Owen, 1957).

67. táblázat. Az iszapok fűtőértéke

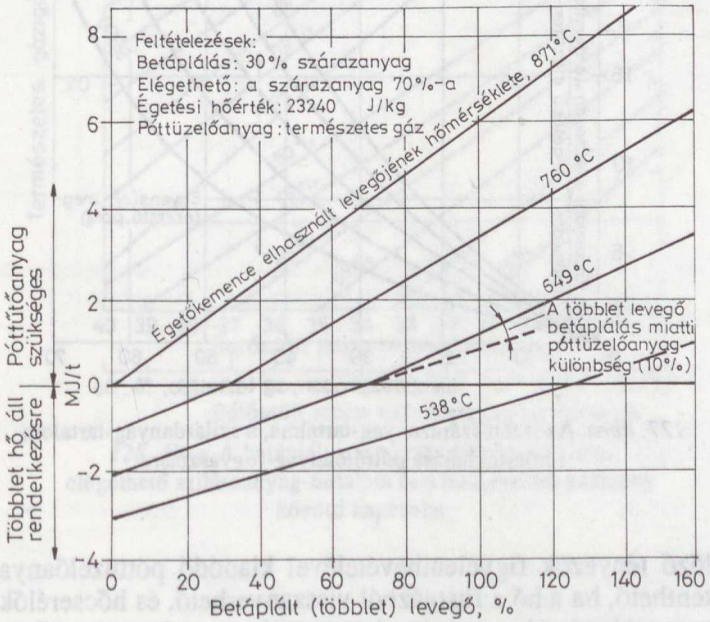
Iszapfajta	Elégethető hányad, %	Szárazanyag magas fűtőértéke, J/kg
Zsíranyagok, úszóiszap	88	38 600
Nyers szennyvíz szilárd anyagai	74	24 000
Finomrács-szűrő szemét	86	20 900
Rothasztott iszap	60	12 300
Kémiai csapadék szilárd anyagai	57	17 400
Homok, törmelékanyagok	33	9 300

(C) A tökéletes égetés hőmérlegét befolyásoló tényezők

A szennyvíz szilárd anyagainak (iszap) elégetésekor felszabaduló hő elegendő kell legyen ahhoz, hogy az égetőkemencébe betáplált valamennyi anyag hőmérséklete a külső hőmérsékletről az elhasználódott gázok és maradékanyagok (hamu) kívánt hőmérsékletére emelkedhessen. A hőmérleghez az égetőrendszer hőveszteségét is figyelembe kell venni. Ha a hőmennyiség elegendő, az égetés folyamata autogén (önfenntartó). Ha elégtelen, a hődeficit megszüntetéséhez pótfűtőanyag adagolása szükséges.

A *póttüzelés szükséges mértékét* számos tényező befolyásolja.

1. A tökéletes égetéshez igényelt többletlevegő, ami az égési reakciókban ugyan nem vesz részt, de üzemeltetésbiztonsági okokból jelenléte elengedhetetlen (*125/a ábra; 126. ábra;* Howard et al. nyomán, 1979).

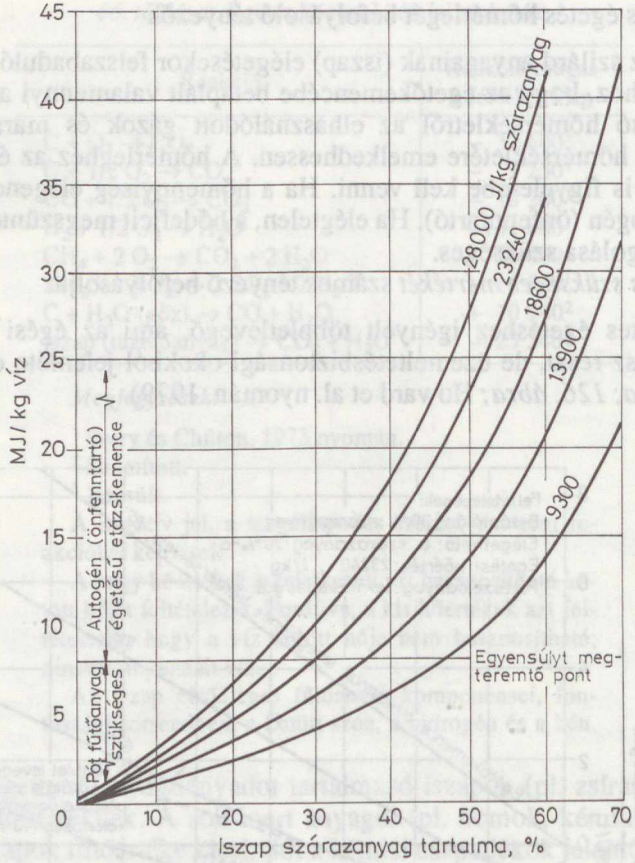


126. ábra. A többletlevegő és többlethőmérséklet hatása a póttüzelőanyag-igényre

2. Az iszap szárazanyag-tartalma, a szilárdanyag-tartalom fűtőértéke (*127. ábra;* EPA nyomán, 1979).

3. A kémiai kondicionálás során a kondicionáló vegyszernek (pl. mésznek, ferrikloridnak) nincs hőértéke, ezért az égetőkemencébe betáplált iszap szilárdanyag-hányadát csökkenteni kell.

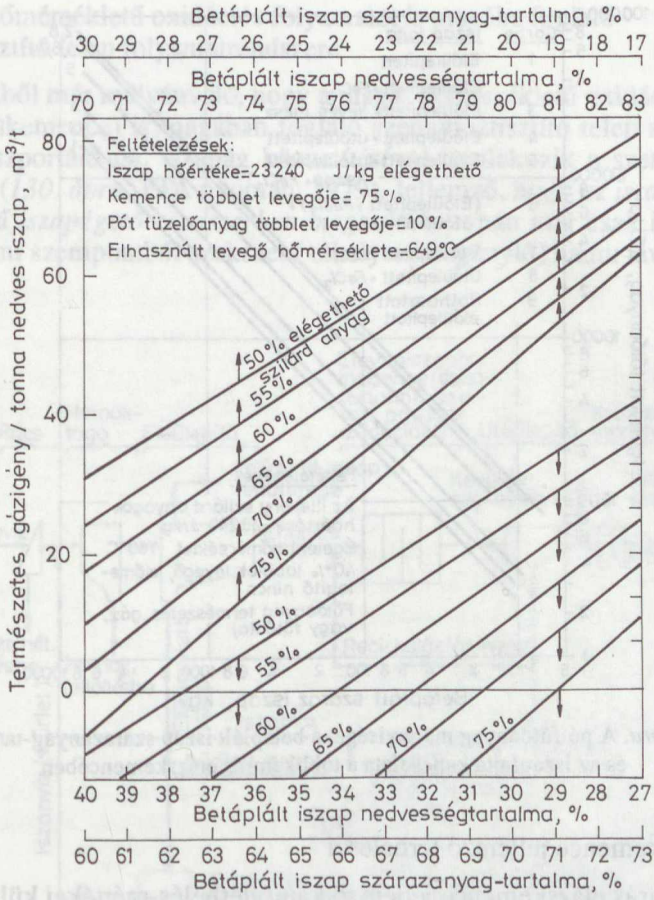
4. A kemencébe táplált iszap szárazanyag-tartalma (víztelenítés mértéke) és elégethető szilárdanyag-tartalma közötti kapcsolat a *128. ábrán* adott (EPA nyomán, 1979).



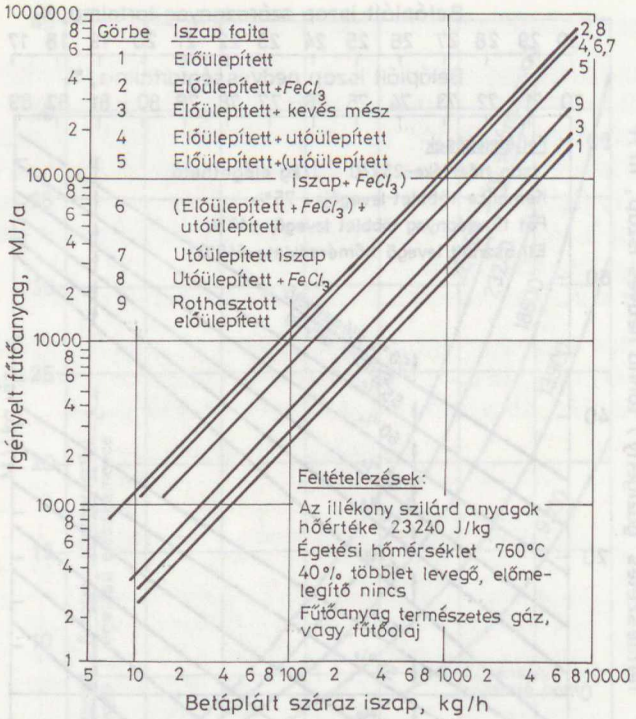
127. ábra. Az iszap szárazanyag-tartalma, a szilárdanyag-tartalom fűtőértékhatása pótfűtőanyag-fogyasztásra

5. Az előző tényezők figyelembevételével kiadódó póttüzelőanyag mennyisége csökkenthető, ha a hő a füstgázból visszanyerhető, és hőcserélők segítségével újra hasznosítható. (Az energia-visszanyerés a rendszer termikus hatékonyságát jelentősen javítja, a visszanyeréshez szükséges berendezés beruházási költsége azonban nagy lehet, ezért alkalmazása indoklásához alapos gazdasági számítások szükségesek.)

6. A póttüzelőanyag mennyiségét a betáplált száraz iszap mennyisége (kg/h) és az iszap fajtája is befolyásolja (*129. ábra;* USEPA nyomán, 1978c).



128. ábra. A betáplált iszap szárazanyag-tartalma, elégethető szilárdanyag-tartalma és a természetes gázigény közötti kapcsolat



129. ábra. A pótfűtőanyag mennyisége, a betáplált iszap szárazanyag-tartalma és az iszapfajta kapcsolata a többkamrás etázskemencében

(D) Az etázskemence jellemző terhelései

A többkamrás etázskemence jellemző kamraterhelés-mértékei különböző iszapokra a *68. táblázat*ban adottak (EPA, 1979):

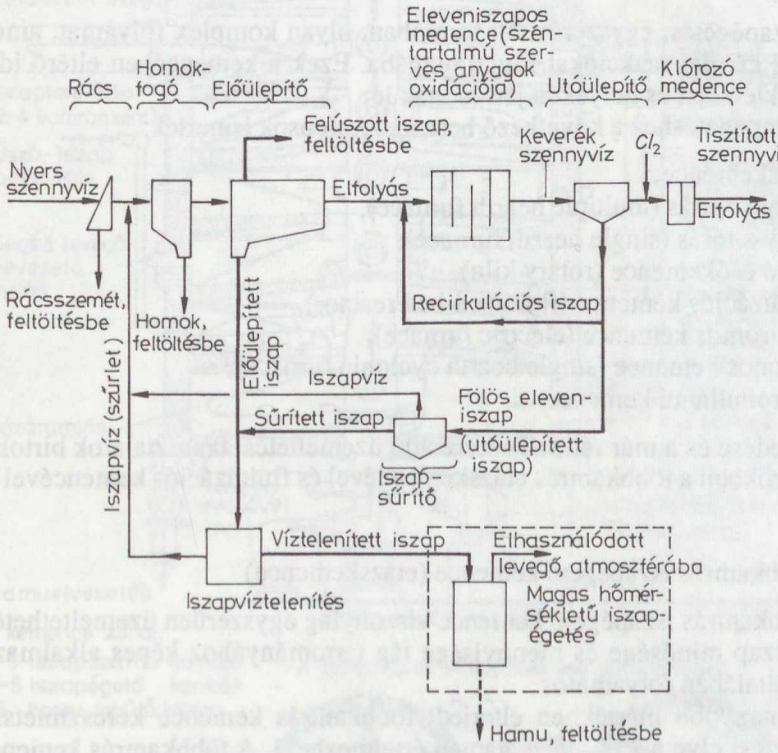
68. táblázat. Többkamrás etázskemence jellemző kamraterhelései

Iszapfajta	Szárazanyag, %	Elégethető, %	Kémiai koncentráció, mg/l	Jellemző nedves-iszap-terhelés,* $kg/m^2 \cdot h$
Előülepített	30	60	Nincs alkalmazható adat	34,2–58,8
Előülepített + $FeCl_3$	16	47	20	29,4–49,0
Előülepített + kevés mész	35	45	298	39,2–58,8
Előülepített + utóülepített	16	69	Nincs alkalmazható adat	29,4–49,0
Előülepített + (utóülepített + $FeCl_3$)	20	54	20	31,9–54,0
(Előülepített + $FeCl_3$) + utóülepített	16	53	20	29,4–49,0
Utóülepített	16	80	Nincs alkalmazható adat	29,4–49,0
Utóülepített + $FeCl_3$	16	50	20	29,4–49,0
Anaerob rothasztású előülepített	30	43	Nincs alkalmazható adat	34,2–58,8

Megjegyzés: * A kis értékek a kis telepekhez, a nagy értékek a nagy telepekhez alkalmazhatók.

(E) Magas hőmérsékletű oxidációs folyamatot is magába foglaló szennyvíztisztító telep folyamatrendszere

Az előzőkből már nyilvánvaló, hogy a magas hőmérsékletű oxidációt (pl. többkamrás etázskemence) is magában foglaló szennyvíztisztító telep a víztelenített iszapot transzportáló ún. iszapág közvetítésével csatlakozik a szennyvíztisztító rendszerhez (*130. ábra;* EPA nyomán, 1979). Jellemző, hogy *az iszapág a magas hőmérsékletű iszapégető rendszerben megszűnik,* onnan már csak inert (de környezetvédelmi szempontból szakszerű elhelyezést igénylő) hamu távozik.



130. ábra. Magas hőmérsékletű oxidációt is magába foglaló szennyvíztisztító rendszer

(F) Az iszapégetés célja, folyamata, berendezéstípusok

Az iszapégetés célja a hatékonyan víztelenített (vagy esetleg szárított) iszaplepényben lévő víz, ill. az illékony szerves anyagok szén-dioxiddá és vízzé alakítása. Ezek folyamata eredményeként *az iszap térfogata lényegesen, mintegy* legalább *90%-kal csökken.* Az iszaplepényből csupán az inert anyagokat tartalmazó hamu marad hátra.

Az iszapégetés tehát kétlépcsős oxidációs folyamat:

– először az iszap szárítására, majd
– égetésére

kerül sor. Ez a két művelet vagy önálló berendezésekben, vagy egymás után azonos berendezésben (pl. többkamrás etázskemencében) valósítható meg.

A szárítás és az égetés fázisai:

– a betáplált iszap hőmérsékletét 100 °C-ra kell emelni,
– az iszapvizet el kell párologtatni, ami a vízgőz- és a levegőhőmérséklet növelésével érhető el, majd
– a kiszárított iszap illékony anyagainak hőmérsékletét az izzítási pontig kell növelni.

Az iszapégetés, egyszerűsített formában, olyan komplex folyamat, amely termikus és kémiai reakciókat foglal magába. Ezek a kemencében eltérő időkben, hőmérsékleteken és helyeken játszódnak le.

Az iszapégetéshez a következő berendezéstípusok ismertek:

– etázskemence,
  – többkamrás (multiple hearth furnace),
  – egykamrás (single hearth furnace),
– forgó csőkemence (rotary kiln),
– fluidizációs kemence (fluidized-bed reactor),
– elektromos kemence (electric furnace),
– ciklonos kemence (single hearth cyclonic furnace),
– mikrohullámú kemence.

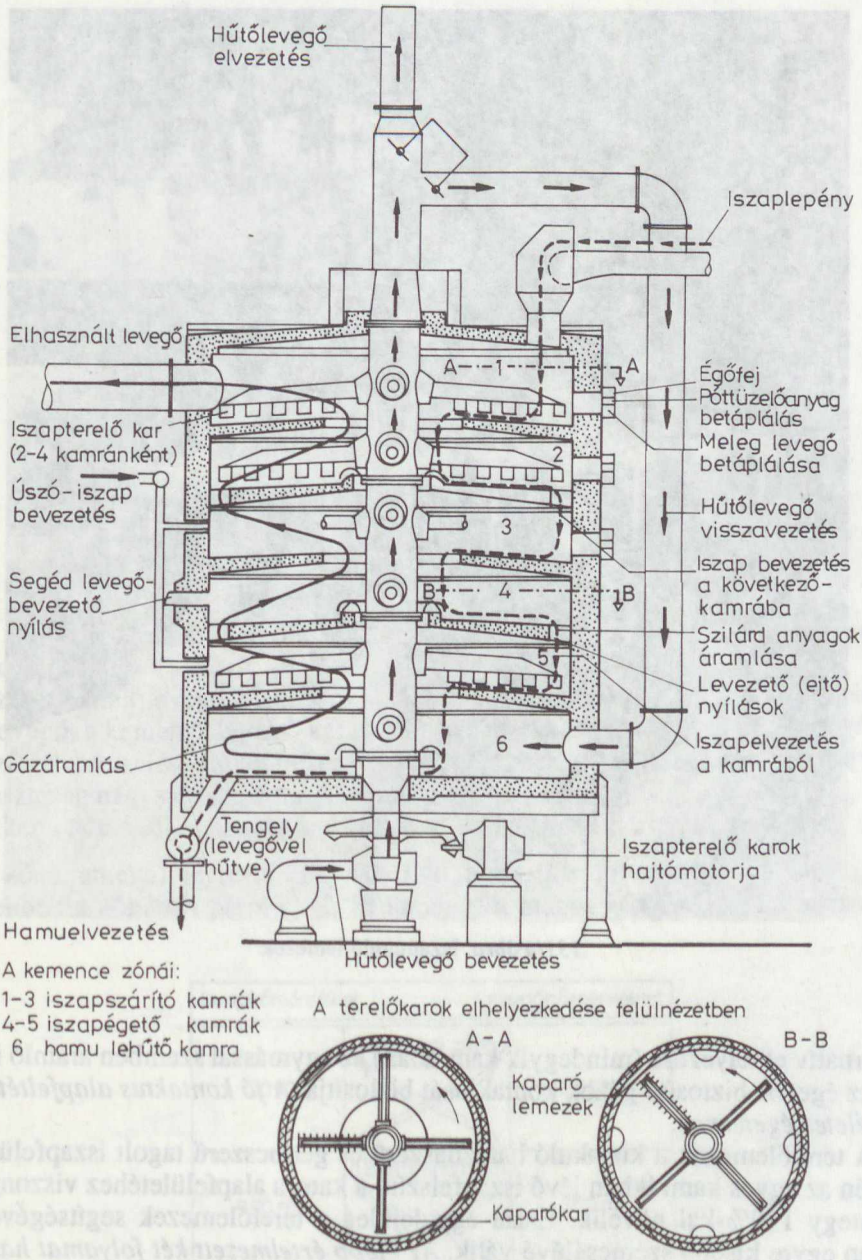
Elterjedése és a már rendelkezésre álló üzemeltetési tapasztalatok birtokában a következőkben a többkamrás etázskemencével és fluidizációs kemencével foglalkozunk.

(G) Többkamrás iszapégető kemence (etázskemence)

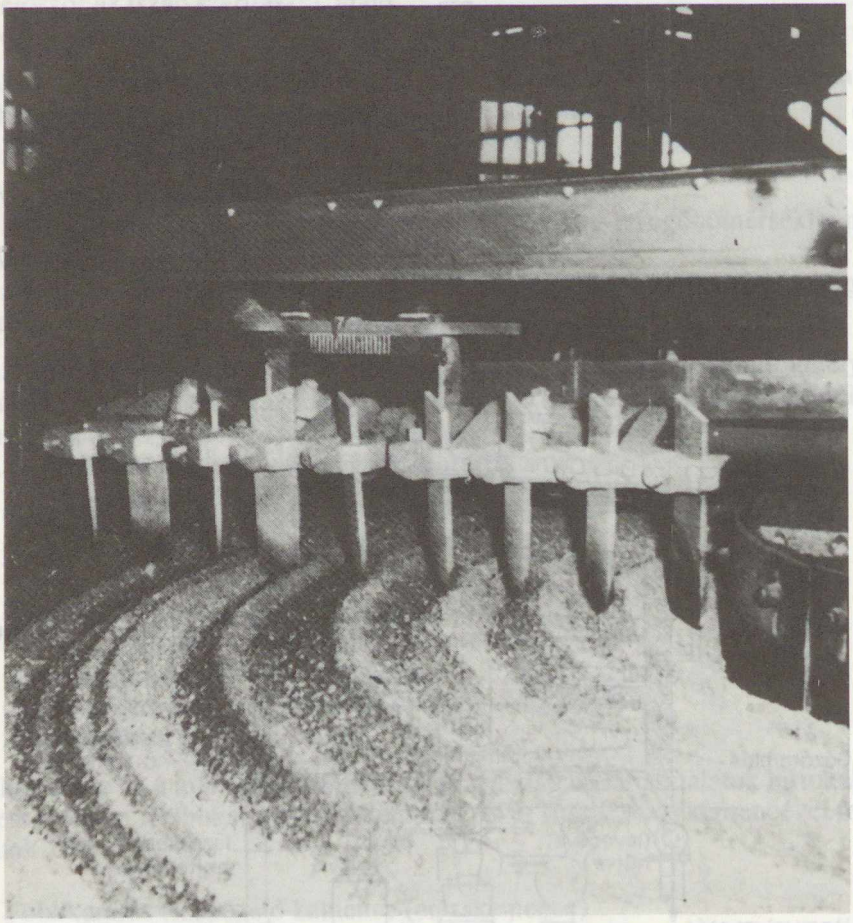
A többkamrás iszapégető kemence viszonylag egyszerűen üzemeltethető, a betáplált iszap minősége és mennyisége tág tartományához képes alkalmazkodni. Üzeme általában folyamatos.

A legnagyobb mértékben elterjedt többkamrás kemence keresztmetszete és üzemeltetési elve a *131. ábra* alapján értelmezhető. A többkamrás kemence függőleges, hőszigetelt, hengeres alakú, burkolattal ellátott acélanyagú szerkezet, amely több egymás felett elhelyezett kamrát tartalmaz. A kemence 1,4–8,8 m átmérőjű lehet, és benne 4–14 égetőkamra alakítható ki.

A berendezés közepén, aljától a tetejéig, forgó, központi tengely létezik, amelyhez az egyes kamrákban lévő iszapterelő karok csatlakoztathatók. Kamránként két vagy négy iszapterelő kar létesül. Mindegyik forgó karhoz számos terelőlemez csatlakozik, melyek az iszapot a kamrában spirális pályán terelik *(131/a ábra)*. Az iszap a legfelső kamra tetején, kerülete közelében táplálható a rendszerbe. Az iszap onnan terelés közben a kamra közepe felé halad és ott a következő kamrába hull. Az iszap a második kamrában a kamra külső kerületénél lévő nyílásokhoz transzportálódik, majd lehull a következő kamrába. Az iszapleejtő nyílások



131. ábra. Többkamrás iszapégető kemence (etázskemence) keresztmetszete és működési elve

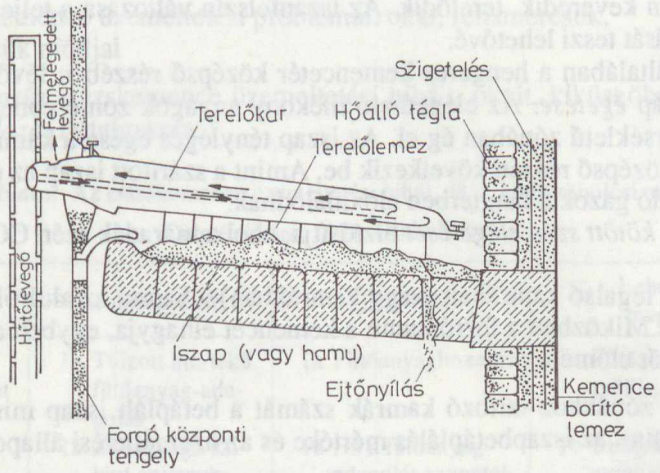


131/a ábra. Iszapterelő lemezek

alternatív elhelyezése (mindegyik kamrában) az egymással szemben áramló iszap és az égetést biztosító gázok kontaktusát biztosítja. *A jó kontaktus alapfeltétele a tökéletes égetésnek.*

A terelőlemezek a kialakuló barázdaszerű és gerincszerű tagolt iszapfelületek révén az egyes kamrákban lévő iszapfelszínt a kamra alapfelületéhez viszonyítva mintegy 130%-kal növelik. Ezzel egyidejűleg a terelőlemezek segítségével az iszap egyre kisebb szemcséjűvé válik. *Az előbb értelmezett két folyamat hatásaként létrejövő nagy iszapfelület* a forró, áramló gázokkal kerül kontaktusba. *A gyors és tökéletes szárítás, ill. égetés így jöhet létre.*

A rendkívül magas hőmérsékletek miatt a központi tengely és a terelőkarok üregesek. Így a kemence alatt elhelyezett ventilátorral atmoszférabeli (hideg) levegő vezethető a központi tengely közvetítésével a terelőkarok üregeibe, miáltal az a terelőkarokat hűti (*132. ábra;* EPA nyomán, 1979).



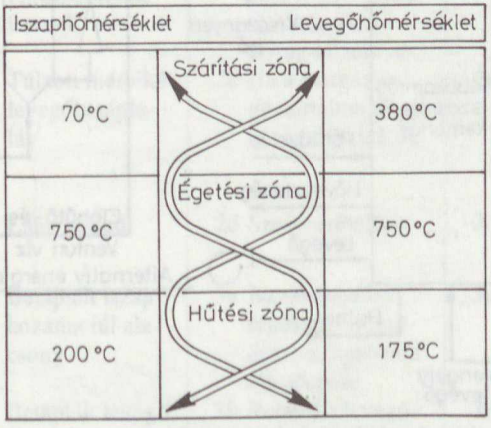
132. ábra. Hűtőlevegő-rendszer a terelőkarokban, többkamrás iszapégető kemencében

A központi akna szabályozható forgási sebességű. Forgási sebessége fél-másfél percenként.

Az elhasznált levegő (füstgázok) vagy az atmoszférába, vagy mint előmelegített levegő, a kemence legalsó kamrájába vezethető *(131. ábra)*. A hűtőlevegő atmoszférába vezetése hőveszteséget jelent, melynek mennyisége kb. a kemence-hőveszteség nagyságrendjének felel meg.

A kemence 4 folyamatzónára tagolódik (*133. ábra;* EPA nyomán, 1979):

1. zóna: amely a legfelső kamrákból áll, a *szárítást* biztosítja. Az iszapvíz zöme ebben a zónában párolog el. Itt az iszap a magas hőmérsékletű kamrákban



133. ábra. A többkamrás iszapégető kemence folyamatzónái (egyszerűsített formában)

folyamatosan keveredik, terelődik. Az iszapfelszín változása a teljes iszaptömeg gyors szárítását teszi lehetővé.

2. zóna: általában a hengeres kemencetér középső részében lévő kamrák feladata az iszap *égetése*. Az elégethető illékony anyagok zöme ebben a 760–927 °C-os hőmérsékletű zónában ég el. Az iszap tényleges égése a kamra forgó terelőkarjának középső részén következik be. Amint a szárított iszap az égéstérbe jut, a felszabaduló gázok a lángtérben eloxidálódnak.

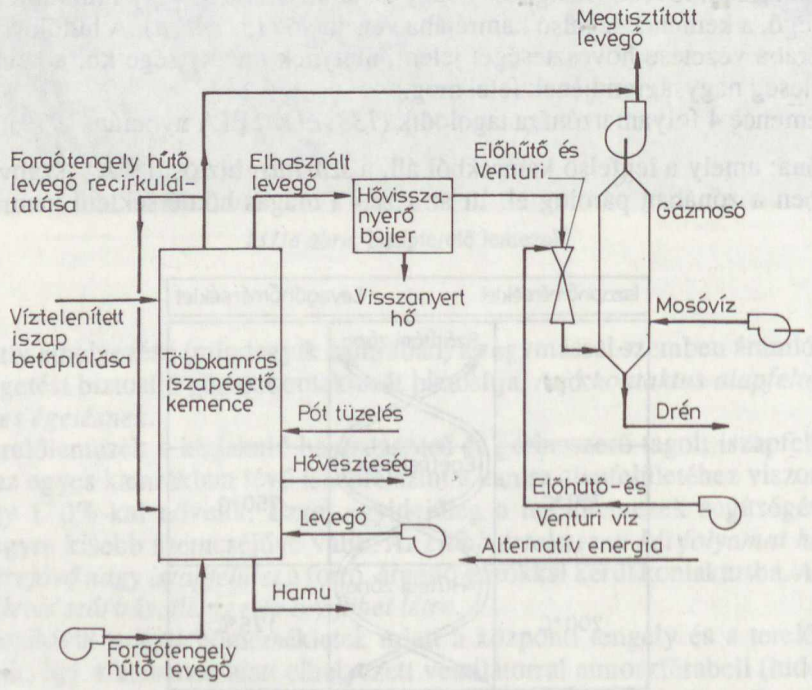
3. zóna: *a kötött szén elégetését* biztosítja, ahol a maradék szén CO_2-gázzá oxidálódik.

4. zóna: a legalsó kamrában (vagy kamrákban) a hamut az alulról betáplált levegő hűti le. Miközben a forró hamu a kemencét elhagyja, egyben az alulról betáplált levegőt előmelegíti.

Az egyes zónákhoz tartozó kamrák számát a betáplált iszap minősége (nedvességtartalma), az iszapbetáplálás mértéke és az üzemeltetési állapotok befolyásolják.

(H) A füstgázok tisztítása

Ahogy az iszaplepény elégett, a meleg levegőt és a gázokat a kemencéből el kell távolítani, és az atmoszférába bocsátás előtt tisztítórendszeren kell átvezetni (*134. ábra;* EPA nyomán, 1979).



134. ábra. A többkamrás iszapégető kemence füstgázainak tisztítási folyamatrendszere

(I) Az etázskemence üzemeltetési problémái, okai, felismerésük, kiküszöbölésük módjai

A többkamrás etázskemence üzemeltetési hibáit, okait, kiküszöbölésük módjait a *69. táblázat* tartalmazza.

69. táblázat. Az etázskemence üzemeltetési hibái, okai, kiküszöbölési módjai (Culp és Heim, 1978; Öllős, 1994)

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
1. Kemence-hőmérséklet túl magas	1a Túlzott mértékű fűtőanyag-adagolás	1a Fűtőanyaghozam	1a Fűtőanyaghozam csökkentése
	1b Zsíranyagú szilárd anyagok rendszerbe kerülése	1b Ha a fűtőanyag-adagolás szünetel és a hőmérséklet nő, ez lehet az ok	1b Betáplált levegő mennyiségét növelni kell, vagy a betáplált iszap mennyisége csökkentendő
	1c Hőérzékelő kiégett	1c Ha a hőmérséklet-mérő méréshatárnál nagyobb hőmérsékletet mutat, valószínűleg ez az ok	1c Hőérzékelő-csere
2. Kemence-hőmérséklet túl alacsony	2a A betáplált iszap nedvességtartalma nagyobbá vált	2a Iszap nedvesség-tartalma és az iszapvíztelenítő rendszer	2a Betáplált fűtőanyag-hozamot növelni kell, míg az iszapvíztelenítő rendszer üzeme megfelelővé válik
	2b Fűtőanyag-rendszer hibás üzemű	2b Fűtőanyag-rendszer (tolózárállás, nyomás, fűtőanyag-ellátás stb.)	2b Megfelelő üzemeltetésű fűtőanyag-adagoló rendszer biztosítása
	2c Túlzott mértékű levegőbetáplálás	2c Ha a füstgáz oxigéntartalma nagy, az a valószínű ok	2c Betáplált levegő hozamát csökkenteni kell, vagy a betáplált iszap hozamát növelni
	2d Láng kialudt	2d Szemrevételezés	2d Kemence újbóli begyújtása
3. Füstgáz oxigéntartalma túl magas	3a Betáplált iszap hozama túl alacsony	3a Iszapbetápláló rendszer eltömődése, iszaphozam ellenőrzése	3a Eltömődés, meghibásodás kijavítása, megfelelő iszaphozam beállítása
	3b Betáplált levegő mennyisége túl sok	3b Betáplált levegő-hozama	3b Betáplált levegő hozamának csökkentése

69. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
4. Füstgáz oxigéntartalma túl alacsony	4a Az iszap illékony- vagy zsíranyagtartalma nagyobbá vált	4a Iszap összetétele	4a Betáplált levegő hozamának növelése vagy a betáplált iszap hozamának csökkentése
	4b Betáplált levegő hozama túl kevés	4b Levegőellátó rendszer hibás működése és a betáplált levegő hozamának ellenőrzése	4b Betáplált levegő hozamát növelni kell
5. Kemence nehezen elégethető anyagainak átalakítása kedvezőtlenné vált	5a A kemence üzembe helyezése és leállítása túl gyors	5a Üzemeltetés adatai	5a Megfelelő felfűtés és hűtés biztosítása
6. Szokatlanul nagy lehűlési folyamat két egymást követő kamra között	6a Levegőszigetelés	6a Kemence, ajtók elvezetőcső, központi tengely szigetelése, levegő pillangószelepek az aktív kamráknál	6a Levegőelszivárgás megszüntetése
7. Kemence élettartama rövid	7a Egyenetlen tüzelés	7a Kamrákat csak egyetlen égőfejjel üzemeltetik	7a Kamrákat mindkét oldalon egyenletesen kell fűteni
8. Kemence gázmosó hőmérséklete túl magas	8a Kicsi a vízhozam a gépmosóhoz	8a Gázmosó víz áramlása	8a Megfelelő mosóvízhozam biztosítása
9. Füstgáz-hőmérséklet túl alacsony (127–157 °C) és szagemisszió keletkezik	9a Elégtelen fűtőanyag-betáplálási hozam, vagy túlzott betáplált iszaphozam	9a Fűtőanyag- és iszapbetáplálás hozama	9a Fűtőanyag-mennyiség növelése vagy az iszaphozam csökkentése
10. Füstgáz-hőmérséklet túl magas (342–522 °C)	10a Iszap nagy hőértéke, vagy túlzott mértékű betáplált fűtőanyaghozam	10a Iszapjellemzők, fűtőanyag-betáplálás mértéke	10a Több levegőt kell adagolni vagy a fűtőanyag-betáplálás mértéke csökkentendő

69. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
11. Kemence-égők elsalakosodnak	11a Égőtervezés	11a Égő üzeme	11a Égők újabb tervezésű égőkre cserélése, melyek az elsalakosodást minimalizálják
12. Kaparókarok deformálódnak, lehajlanak	12a Túlzott kemence-hőmérsékletek vagy hűtőlevegő-veszteség	12a Üzemeltetési adatok; zsíranyagok, felúszott iszap betáplálása a kemencébe	12a Hőmérsékletek fenntartása a megfelelő tartományban és a hűtőlevegő-ellátás megfelelő fenntartása; felúszott iszap kemencébe táplálásának megszakítása
13. Füstgázok túl sok szennyező anyagot tartalmaznak	13a Elégtelen elégetés a kevés levegő miatt	13a Füstgázok el nem égett NO-, CO-tartalmának mérése	13a Leveg/fűtőanyag-arány növelése a tökéletesebb égetés céljából
	13b Hibásan üzemelő levegőszennyeződés-szabályozó berendezés	13b Szennyeződés-szabályozó berendezés	13b Meghibásodott berendezés javítása vagy cseréje
14. Berobbanás vagy robbanás	14a Felúszott iszap vagy zsíranyag	14a Iszapminőség	14a Felúszott iszap és zsíranyagok eltávolítása iszapégetés előtt
15. A betáplált levegő lehűti a kamrabeli levegőt; fűtőanyag-fogyasztás nő	15a A levegőt az égési zónában táplálják a kemencébe	15a Égési zónabeli hőmérséklet	15a A levegőt az égési zónába vagy az a feletti térbe csak indokolt (hűtési célból) esetben szabad adagolni
16. A kemencében füstképződés figyelhető meg	16a Szénhidrogének nem égnek el tökéletesen	16a Szénhidrogének elégési mértéke	16a A tökéletes égést biztosító oxigéntartalmat biztosítani kell (így az illékony – éghető – anyagok kontaktusa az oxigénnel a szükséges mértékig létrehozható)
	16b A kemence oxigénkoncentrációja elégtelen	16b Az égési zónában a lángok UV-spektruma nem látható, füst észlelhető	

69. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
17. Sötét láng	17a Levegőhiány	17a Oxigéntartalom	17a Betáplált levegő mennyiségét növelni kell
18. Világos, erős láng	18a Túlzott mértékű levegőbetáplálás (mennyiségére azonban nem utal)	18a Levegőbetáplálás mértéke	18a A túlzott mértékű levegőbetáplálást csökkenteni kell (ami az elégett fűtőanyag mennyiségét csökkenti) mindaddig, míg az égésnél jelentkező füst fekete, világoskék, vagy barna színűvé válik
19. Rövid, kék láng az alsóbb kamrákban	19a Betáplált levegő mennyisége megfelelő	19a Kötött szén elégése	19a Ezt az üzemeltetési állapotot (fölös levegőmennyiséget) kell elérni, ill. fenntartani
20. A füstgáz oxigéntartalma fluktuáló	20a A fölös oxigén gyors csökkenése rendszerint a tűz erősödését, ill. az oxigéntartalom elfogyását jelzi	20a Iszapkiégés (l. 23.)	20a Fölös oxigén biztosítása
21. Kemence oxigénigénye változik	21a Túl sok betáplált hideg levegő (fűtőanyagfogyasztás nő) 21b Túl kevés hideg levegő betáplálása (füstképződés)	21a Fűtőanyagfogyasztás 21b Füstképződés	21a–b Megfelelő mennyiségű levegőt kell betáplálni (a kemence igényét kiegészítve)
22. A recirkuláltatott füstgáz mennyisége túlzott	22a Pernye képződik 22b A recirkuláltatott levegő nem oszlik el egyenletesen a kemencében	22a–b Recirkuláltatott levegő mennyisége	22a–b Optimális recirkuláltatás beszabályozása

69. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
23. Kemence kiégése	23a Iszapbetáplálás megszűnik, az égetés folytatódik	23a Kiégési hőmérséklet	23a 55 °C-nál nagyobb hőmérsékleti növekedés az iszap kiégése alatt nem engedhető meg. Ehhez optimalizálandó paraméterek: tűz helyzete, tengely forgása, hőmérsékletek, fölös oxigén
24. Salak- (klinker-) képződés a kemencében	24a Kamrák közötti iszapleejtő nyílások eltömődhetnek 24b Iszapkaparó lemezek eltömődhetnek	24a Égők lánghőmérséklete a hamut megolvasztja, ami lehűléskor megdermed	24a Égőfejek megfelelő elosztása a kemencében. (Célszerű, az égőfejet szeparált kamrába helyezve, alacsony hőmérsékleten üzemeltetni; vagy az iszapbetáplálás mértéke csökkentendő; a lepény ásványi összetételét és a polielektrolit túlzott mértékét analizálni kell)
25. Égés nem stabilizálható	25a Iszapbetáplálás mértéke nem megfelelő	25a Iszapbetáplálás mértéke	25a Kemence lepényterhelése állandó kell legyen, a nedvességtartalom vagy az illékonyanyag-tartalom kismértékű változását vagy változatlan voltát kell elérni
26. Füstgázban szén-monoxid, korom és hidrogénkarbonátok vannak	26a Tökéletlen égés	26a Szén-monoxid	26a Tökéletes égetés biztosítása elegendő oxigén jelenlétében (a kemencében megfelelő mértékű negatív nyomás – vákuum – biztosításával)[1]
27. Javítási igény gyakori	27a Indítási és leállási folyamatok hibásak	27a Indítási és leállási folyamatok	27a Indítási és leállási folyamatok optimalizálása
28. Szag jelentkezik	28a Gyenge, tökéletlen égetés	28a Égetés hatékonysága	28a Tökéletes égetés biztosítása levegőadagolás-növeléssel

69. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
29. A kemence indításához szükséges fűtőanyag az előző indításhoz felhasznált fűtőanyag-mennyiségtől jelentősen eltér	29a Üzemeltetés nem optimális	29a Fűtőanyag mennyisége; üzemeltetés felülvizsgálata	29a Zavar(ok) kiküszöbölése
30. Szén-monoxid-koncentráció nő a füstgázban	30a Tökéletlen égetés	30a Égetés hatékonysága	30a A levegő mennyiségét növelni kell (75–100%-nyi többletlevegő kell; >100% többletlevegő fűtőanyag-veszteséget eredményez)
31. Szén-monoxid-koncentráció nő, miközben az oxigénkoncentráció változatlan maradt	31a Tökéletlen égetés; iszapkaparás (keverés) tökéletlen és az égést biztosító levegő gyenge minőségű	31a Égetés hatékonysága[2]	31a Az iszap a normálisnál nem lehet nedvesebb[3]; üzemeltetés optimalizálása

Megjegyzés:

[1] A felfelé irányuló levegőáramlás a kemencében az égő által létrehozott felmelegített levegő hatására jelentkezik. A levegő áramlása a kemence fenekétől a tetejéig tart. A kemence fenekén a hő hatására felszálló levegő *negatív nyomást*, tehát *vákuumot* idéz elő (draft process). Ennek hatására a hidegebb, külső levegő a kemence aljába hatol be, ahol az felmelegszik és felemelkedik. A „draft" normál tartománya a kemencében az 1,3–5,1 mm vízoszlop.

[2] Az égetés kémiai reakció, amelyhez oxigén fűtőanyag és hő szükséges. A kemencében az oxigént a levegő biztosítja. Az elsődleges fűtőanyag az iszap, a hő az égő iszapból származik. A pótfűtőanyag elégetése az iszap égését segíti, és a kemencét az égetési hőmérsékletre melegíti.

[3] Az üzemeltetőnek tisztában kell lenni azzal, hogy az iszapégetés az iszapkezelő rendszer része, amely az iszapsűrítést, víztelenítést, az égető táplálórendszert, elhasznált levegőt tisztító rendszert, hamut kezelő berendezéseket és az ezekkel kapcsolatos szabályozórendszereket foglalja magába. Az iszapsűrítési és víztelenítési folyamatok szerepe nagyon fontos, mert az iszap nedvességtartalma a kemence fűtőanyag-oxigénjét nagymértékben befolyásolja.

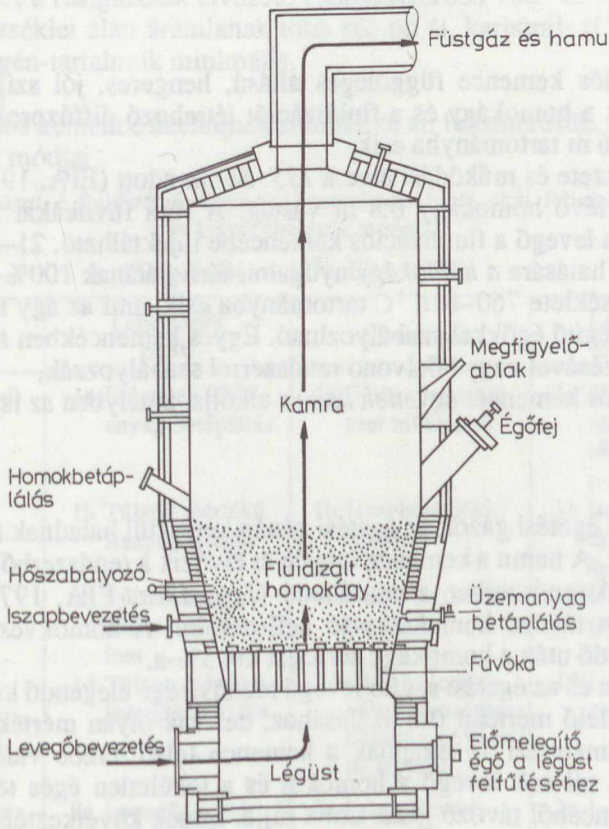
(J) Kérdések

1. Melyek a magas hőmérsékletű égetési folyamatok alapelvei? [4.4.8.7. (A) fejezet; *125/a–c ábra.*]
2. Miként befolyásolja az iszapfajta a fűtőértéket? [4.4.8.7. (B) fejezet; *67. táblázat.*]
3. Melyek a tökéletes égetés hőmérlegét befolyásoló tényezők? [4.4.8.7. (C) fejkezet; *125/a ábra.*]
4. Mi a különbség iszapszárítás és iszapégetés között? (4.4.8.7. fejezet.)
5. Milyen iszapégetési eljárások léteznek? [4.4.8.7. (F) fejezet.]
6. Melyek az iszapégetés oxidációs folyamatai? [4.4.8.7. (F) fejezet.]
7. Melyek az iszapégetés jellemző berendezéstípusai? [4.4.8.7. (F) fejezet.]
8. Mi a jellemzője az etázskemence kialakításának és folyamatainak? [4.4.8.7. (G) fejezet.]
9. Miként tisztíthatók a füstgázok? [4.4.8.7. (H) fejezet; *134. ábra.*]
10. Melyek az etázskemence jellemző üzemeltetési hibái? [4.4.8.7. (I) fejezet; *69. táblázat.*]

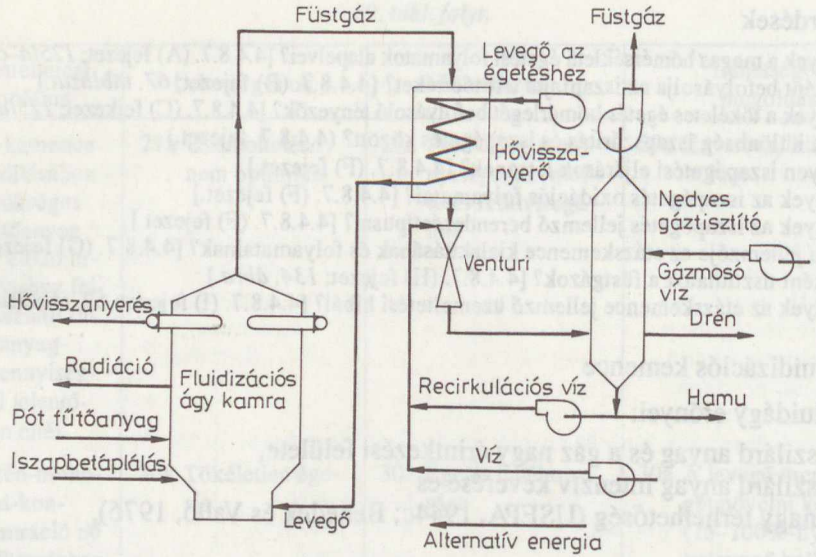
(K) Fluidizációs kemence

A fluidágy előnyei:

– a szilárd anyag és a gáz nagy érintkezési felülete,
– a szilárd anyag intenzív keverése és
– a nagy terhelhetőség (USEPA, 1944c; Benedek és Valló, 1976).



135. ábra. Fluidizációs kemence keresztmetszete és működési elve



136. ábra. A fluidizációs iszapégetés folyamatrendszere

A fluidizációs kemence függőleges állású, hengeres, jól szigetelt műtárgy. Hozzá tartozik a homokágy és a fluidizációt létrehozó diffúzorok. Átmérője általában 2,7–7,6 m tartományba esik.

Keresztmetszete és működési elve a *135. ábrán* adott (EPA, 1979 nyomán). A hőálló rácson lévő homokágy 0,8 m vastag. A rács fúvókákat foglal magába, amelyeken át a levegő a fluidizációs kemencébe injektálható, 21–34 kN/m^2 nyomáson. Ennek hatására *a homokágy* nyugalmi térfogatának 100%-ával *expandál.* Az ágy hőmérséklete 760–816 °C tartományba esik, ami az ágy felett vagy alatt elhelyezett kisegítő égőkkel szabályozható. Egyes kemencékben a hőmérsékletet víz bepermetezésével vagy hőelvonó rendszerrel szabályozzák.

A fluidizációs kemencét *egyetlen kamra* alkotja, amelyben az iszap

– szárítása és
– égetése

lejátszódik. Az égetési gázok az égetési zónán keresztül haladnak át, tartózkodási idejük több sec. A hamu a kemence tetején át távozik a rendszerből és rendszerint a levegőtisztító rendszerben szeparálható (*136. ábra;* EPA, 1979 nyomán). A hamuval együtt távozó homokot után kell pótolni. A homokveszteség minden 300 órai üzemidő után a homokágy-térfogat kb. 5%-a.

A fluidizálást és az égetést segítő levegő mennyisége elegendő kell legyen a homokágy megfelelő mértékű fluidizálásához, de csak olyan mértékű lehet, amely még nem eredményezi az iszapnak a kemence felső terébe való emelkedését, flotálódását. A túl sok levegő a homokot és a tökéletlen égés termékeit az elhasznált, kemencéből távozó gázáramba fújja. Ennek következtében a kemencebeli hőenergia csökken, a fűtőanyag-fogyasztás pedig nő. *Az iszaplepényben lévő*

valamennyi illékony anyag tökéletes égéséhez igényelt minimális oxigénmennyiséget ismerni kell. A hőmérsékletnek elég magasnak kell lenni a teljes szageliminációhoz, de alacsony legyen, hogy a szigetelések, a hőcserélő és az elhasznált levegőt elvezető csőrendszer ne menjen tönkre. A betáplált többlet levegőmennyiség 20–45% legyen, ezáltal a fűtőanyagköltség minimalizálható. *A fluidizációs kemence a többkamrás égetőkemencéknél kevesebb többletlevegővel üzemeltethető. Így a fluidizációs kemencék hőhatékonysága nagyobb.*

A szilárd anyagok és a gázok intenzív és erőteljes keverése következtében a

– hőmérséklet- és
– részecskeméret-eloszlás a kemencében egyforma,
– a gázok és a szilárd szemcsék közötti hőátadás a nagy összfelületük miatt rendkívül gyors.

A fluidizációs kemencét viszonylag egyszerű üzemeltetni:

– mechanikai berendezései viszonylag kisszámúak,
– beruházási költségigénye a többkamrás etázskemencékhez viszonyítva valamivel kevesebb.

A hőmérséklet a füstgázokat elvezető csőrendszerben 760 °C. Mivel a füstgázok ezen hőmérséklet alatt áramlanak több sec-on át, karbonil- (CO-) és el nem égett szénhidrogén-tartalmuk minimális.

(L) A fluidizációs kemence üzemeltetési hibái, okai, felismerésük, kiküszöbölésük módjai

70. táblázat. A fluidizációs kemence üzemeltetési hibái, okai, felismerésük és kiküszöbölésük módjai

(Culp és Heim, 1978; EPA, 1979)

Üzemeltetési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
1. Homokágy (bed) hőmérséklete csökken	1a Elégtelen fűtőanyag-betáplálás	1a Fűtőanyag-rendszer működése	1a Fűtőanyaghozam növelése vagy a hibás fűtőanyag-rendszer javítása
	1b Túlzott mértékű iszapbetáplálás	1b Iszapbetápláló rendszer	1b Iszapbetáplálás mértékének csökkentése
	1c Túlzott iszapnedvesség-tartalom	1c Iszapvíztelenítő rendszer	1c Iszapvíztelenítő rendszer üzemének optimalizálása
	1d Túlzott mértékű levegőbetáplálás	1d Füstgáz (elhasznált gáz) oxigéntartalma a 6%-ot ne lépje át	1d Levegőmennyiség csökkentése
2. Kevés (<3%) az oxigén a füstgázban	2a Levegőáramlás elégtelen	2a Levegőhozam	2a Levegőbefúvás mértékének növelése

70. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
	2b Fűtőanyag-betáplálás túl nagy mértékű	2b Fűtőanyag-hozam	2b Fűtőanyag-betáplálás mértékének csökkentése
3. Sok (>6%) az oxigén a füstgázban	3a Iszapbetáplálás túl kevés	3a Iszapbetáplálás mértéke	3a Iszapbetáplálás mértékét növelni kell. Fűtőanyag-betáplálás beszabályozása avégből, hogy a homokágy-hőmérséklet állandósuljon
4. Változó homokágy- (bed) vastagságot jeleznek a műszerek	4a Nyomásmérő-csatlakozás a homokágynál eltömődött	4a Nyomásmérő	4a Csatlakozás mechanikus tisztítása üzemszünetben 4b Szennyeződés kifúvása üzem közben, sűrített levegővel (a biztonsági előírások keretei között)
5. Előmelegítő égő meghibásodása, riasztójelzés	5a Őrláng nem kap táplálást	5a Üzemanyag-ellátáshoz tartozó nyomások és elzárószerelvények	5a Zárószerelvények nyitása, üzemanyag-ellátás beszabályozása
	5b Őrlánggyújtás nem működik	5b Gyújtógyertya tisztítása, gyertyák cseréje	5b Hibás berendezés cseréje
	5c Nyomásszabályozó hibás	5c Nyomásszabályozó	5c Nyomásszabályozó szétszerelése és tisztítása
	5d Őrlángellenőrző érzékelő hibásan működik	5d Érzékelő működése	5d Érzékelő ablakának tisztítása, hibás érzékelő cseréje
6. Homokágy-hőmérséklet túl magas	6a Fűtőolaj-adagolás túlzott mértékű	6a Fűtőolaj-adagolás mértéke	6a Fűtőolajhozam csökkentése
	6b Fűtőolaj-befecskendező lezárt, de a hőmérséklet még mindig magas a zsiradékanyagok betáplá-	6b Iszapminőség	6b Betáplált levegő mennyiségének növelése vagy a betáplált iszap mennyiségének

70. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
	lása vagy az iszap fűtőérték-növekedése miatt		
7. Homokágyhő-mérséklet-mérő méréshatárnál nagyobb hőmérsékletet mutat	7a Hőérzékelő kiégett	7a Hőérzékelő üzeme	7a Hőérzékelő-csere
8. Gázmosóbemenetnél a hőmérséklet túl magas	8a Gázmosóban nincs vízáramlás	8a Víznyomás és elzárószerelvények állása	8a Elzárószerelvények nyitása
	8b Permetezőfúvókák eltömődtek	8b Fúvókák ellenőrzése, külső tápvízellátáshoz való csatlakoztatásuk	8b Fúvókák és szűrők tisztítása
	8c Mosóvíz-recirkuláció szünetel	8c Szivattyúüzem, eltömődött gázmosó	8c Szivattyú javítása szervizben, a szennyezések eltávolítása a gázmosóból
9. Reaktor-tápszivattyú meghibásodik	9a Homokágy-hőmérséklet miatt az automatika reteszelte a szivattyú üzemét	9a Homokágy-hőmérséklet	9a Mint 1. és 6.
	9b Szivattyú beszorult	9b Iszap túl sűrű	9b Betáplált iszap hígítása vízzel
10. Homokágy-fluidizáció kismértékű	10a Üzemszünet alatt homok jut át a levegőelosztó lemezen	10a Fluidizáció	10a Levegőelosztó havonta tisztítandó
11. Iszapbetápláló csiga eltömődött (az iszap közvetlen ágyra táplálásakor)	11a Az iszap túl víztelenített 11b Iszap összepréselődik az injektálás helyén	11a–b Iszap nedvességtartalma	11a–b Iszapvíztelenítés optimalizálása
12. Permetezőfúvókák alkalmazásakor a hőérzékelők esetenként kiégnek	12a Berendezés anyaga nem megfelelő	12a Hőérzékelő	12a Hőérzékelő anyagának változtatása

70. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás
13. Gázmosóban néha nagymértékű eróziós problémák jelentkeznek	13a Homokágy anyaga igen nagy mértékben eltávozik (carry-over)	13a Homok kijutása a kemencéből	13a Fluidizáció mértékének beszabályozása
14. 1093 °C feletti hőmérsékleten történő égetéskor számos mellékhatás (hamumegolvadás, magas hőmérsékletű korrózió, bevonatképződések, salakképződés) jelentkezhet	14a Magas hőmérséklet	14a Hőmérséklet a kemencében	14a Hőmérséklet optimalizálása

(M) Kérdések

1. Mi a fluidizációs kemence működésének elve? [4.4.8.7. (K) fejezet.]
2. Mi az eltérés az etázskemence és a fluidizációs kemence között? [4.4.8.7. (K) fejezet.]
3. Melyek a fluidizációs kemencés iszapégetés előnyei az etázskemencés égetéssel szemben? [4.4.8.7. K) fejezet.]
4. Melyek a fluidizációs kemence legjellemzőbb üzemeltetési hibái? [4.4.8.7. (L) fejezet.]

4.4.8.8. ISZAPÉGETŐBŐL KIKERÜLŐ HAMU MINŐSÉGE, KEZELÉSE, ELHELYEZÉSE

(A) Hasznosítási módok

Számos nagyobb település környezetében a víztelenített szennyvíziszap általános elhelyezési módja

– a feltöltés (landfilling) vagy
– az égetés (incineration).

Ahol a feltöltés számára a terület biztosítása gondot okoz, az égetés tekinthető megfelelőbb megoldásnak.

Az égetés révén kb. 20% hamu (ash) keletkezik. Ez a maradék anyag (residue) általában feltöltésbe, lagúnába helyezhető (Schoenberger és Fungaroli, 1971). Ha a terület nem biztosítható, akkor alternatív elhelyezéshez, *hasznosításhoz* kell folyamodni, ami például lehet

a) téglakészítés (Malisch et al., 1970),
b) aszfaltkeverék (Walter, 1976),
c) betonkészítéshez alkalmazható (Lauer, 1979; Tay et al., 1982),
d) a hamuban lévő veszélyes anyagok rögzítése a hamu olvasztásával (mikrohullámú égetővel; Kubo, 1984) érhető el, ami lehűléskor üvegszerűvé dermed, gyorsan kis golyókká keményedik, amelyeket a betontechnológiában javasolnak felhasználni.

(B) A hamu minőségi tulajdonságai

A szennyvíziszap-hamuk *kémiai analízisét* az USA 7 szennyvíztisztító telepén végzett vizsgálatok alapján a *71. táblázat* foglalja össze (Gray és Penessis, 1972).

71. táblázat. Szennyvíziszap-hamu kémiai analízise

Hamu eredete	Összetétele, %										Égetési veszteség, %
	SiO_2	A_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	B	P_2O_5	SO_3	
Pontiac, Mich.[1]	32,54	9,60	9,47	2,07	36,92	0,41	0,66	0,015	7,01	0,01	1,0
St. Paul, Minn.	24,87	13,48	10,81	2,61	33,35	0,26	0,12	0,006	9,88	2,71	1,62
Kansas City[2], Mo.	57,67	15,00	8,50	0,85	8,64	0,45	0,35	0,02	4,43	3,42	0,31
Saginaw, Mich.[3]	28,18	4,63	8,68	2,20	29,86	0,32	0,07	0,01	3,86	2,87	15,13
South Tahoe*[4],	23,85	16,34	3,44	2,12	29,76	0,73	0,14	0,02	6,87	2,79	2,59
Calif.	23,72	22,10	2,65	2,17	24,47	0,35	0,11	0,02	15,35	2,84	2,24
Cromwell, Conn.	14,39	4,73	24,40	1,35	26,39	0,13	0,07	0,01	8,63	1,68	14,67
Cuyahoga, Ohio	28,85	10,20	14,37	2,13	26,37	0,18	0,25	0,01	9,22	5,04	1,94

Megjegyzés:

* A második analízist az első analízis után 1 hónappal végezték. Rendelkezésre álló iszapfajta és kondicionálási adatok:

[1] Rothasztott iszap és némi előülepített iszap; meszes kondicionálás.

[2] Előülepített iszap; polimerkondicionálás.

[3] Előülepített iszap; meszes és ferrikloridos kondicionálás.

[4] Előülepített és utóülepített + nagy foszfát- és mésztartalmú iszap (a szennyvíz-utótisztító lépcsőből); polimerkondicionálás.

Valamennyi minta száraz hamu, kivéve a cromwelli, amely nedves állapotú.

72. táblázat. Szennyvíziszap-hamu fizikai és kémiai analízise

Hamu eredete	Természetes nedvességtartalom, %	Szemeloszlás				pH*	Kilúgozódás				Összes sókoncentráció[1], mg/100 mg száraz hamu	Elektromos ellenállás[2], ohm/cm
		Sűrűség, g/l	0,06–2	0,002–0,06	<0,002		KOI, mg/l	sókoncentráció mg/100 mg száraz hamu				
			mm					Fe	PO_4	Ca+Mg		
Pontiac, Mich.	0,2	2,95	7	93	0	11,4	10	0,15	0,0	293	463	8 700
St. Paul, Minn.	1,2	22,85	53	47	0	10,7	130	0,2	0,15	1570	1780	27 600
Kansas City, Mo.	0,2	2,44	23	70	7	11,3	20	0,15	0,3	784	850	8 900
Saginaw, Mich.	0,8	2,77	16	82	2	10,7	110	0,15	0,4	1350	2140	2 000
South Tahoe, Calif.	0,3	2,87	12	88	0	12,8	10	0,15	0,15	1390	3800	2 500
Cromwell, Conn.	64,7	2,85	16	71	13	11,5	110	0,0	0,3	1170	1740	2 800
Cuyahoga, Ohio	0,2	2,96	6	94	0	11,5	60	0,0	0,3	1090	1525	7 400

Megjegyzés:

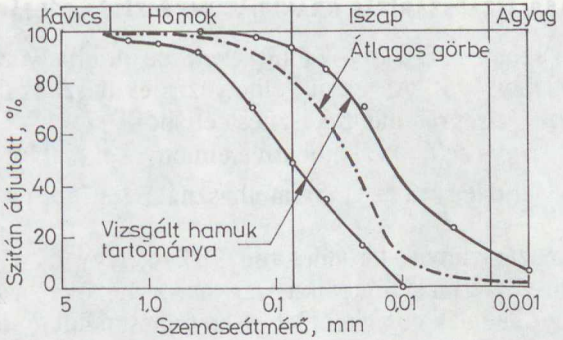
* 1:5 hamu szuszpenzió desztillált vízben.

[1] 125 g hamu, 21 g desztillált vízzel mosva.

[2] Sókoncentráció = $1280 \frac{100}{125}$ elektromos vezetőképesség optimális nedvességtartalmú mintákkal mérve.

A *71.* és *72. táblázat* adatai alapján a szennyvíziszap-hamu kémiai és fizikokémiai sajátosságára nézve a következők jellemzők (Gray és Penessis, 1972):

1. A hamu fő alkotóelemei a szilícium, az alumínium, a kalcium és a vas.
2. A kalcium az iszapkondicionáláshoz meszet alkalmazó szennyvíztisztító telepek iszapjának fontos alkotóeleme (Saginaw, Pontiac, St. Paul).
3. A kalcium mint alkotóelem kisebb mennyiségű azokon a telepeken, melyek szerves polimereket alkalmaznak mész helyett (Kansas City).
4. A foszfor mennyisége minden települési szennyvíziszapban tetemes (4–9%), amint az a szennyvizek eredetéből következik is.
5. A hamu szilárd anyagainak sűrűsége szűk tartományba (2,75–2,96) esik.
6. A hamukat zömmel iszapméretű (0,002–0,06 mm átmérőjű) szemcsék alkotják (*137. ábra;* Gray és Penessis, 1972).
7. A vizsgált hamukra a $10{,}7 < pH < 12{,}8$ tartomány jellemző. Egyes hamuk erősen lúgos jellege az égetést megelőző iszapkezelési folyamatokhoz adagolt mésznek tulajdonítható.
8. Az iszaphamu oldódása vízben nem jelentős. A kilúgozódó anyagok mennyisége a száraz iszap súlyának 1–2%-a.
9. A hamu akkor korrozív hatású, ha elektromos ellenállása $\lesssim 2000$ ohm-cm körüli (Saginaw, South Tahoe, Cromwell; Booth et al., 1967).
10. *A szennyvíziszap-hamu alkotó komponensei szoros kapcsolatban vannak*
   – *a hamu eredetével,*
   – *a szennyvíztisztítás módjával és*
   – *az iszapkezelés folyamataival.*
11. Minthogy a szennyvíz szennyező anyagai változnak, folyamatosan új szennyező anyagok jelennek meg, így a hamu elhelyezésére is gondos környezetvédelmi megfontolások szükségesek.



137. ábra. Hamu-szemeloszlási görbék

(C) Hamukezelési módok

Ha a hamu hasznosítására nem kerül sor, figyelembe véve a hamu minőségét, akkor általában a következő kezelési-elhelyezési módok alkalmazhatók.

(D) Nedves hamurendszer

A legegyszerűbb hamukezelő rendszer a *nedves hamurendszer*. A hamu a többkamrás kemencéből keverőtartályba hull és ott az adagolt tisztított szennyvízzel folyamatosan összekeverhető. A hamutartalmú zagy *lagúnába* szivattyúzható, ahol az leülepszik, a folyadék pedig a tisztítórendszer elejére vezethető vissza. A visszamaradó hamu száradás után a környezetvédelmi követelmények betartásával elhelyezhető.

(E) Száraz hamurendszer

A száraz hamurendszerben a hamu a többkamrás etázskemencéből szállítócsigába hull, amiből az a hamut felemelő berendezésbe jut, majd a tárolóba kerül, elszállítás céljából. A tároló egyben hamukondicionáló szerepkört is betölt. A hamut vízsugarakkal nedvesítik, így a transzportálás közben por nem keletkezik, ill. a szél nem ragadja el.

(F) Kérdések

1. Melyek a szennyvíziszap általános elhelyezési módjai? [4.4.8.8. (A) fejezet.]
2. Mely esetben a legindokoltabb iszapégetést alkalmazni? [4.4.8.8. (A) fejezet.]
3. Mennyi hamu keletkezik a szennyvíziszapból? [4.4.8.8. (A) fejezet.]
4. Hova helyezhető el a hamu? [4.4.8.8. (A) fejezet.]
5. Melyek a hamu fő kémiai és fizikokémiai jellemzői? [4.4.8.8. (B) fejezet.]
6. Mi a jellemzője a hamu szemeloszlási görbéjének? [4.4.8.8. (B) fejezet; *137. ábra.*]
7. Milyen mértékű a kilúgozódás a hamuból? [4.4.8.8. (B) fejezet; *72. táblázat.*]
8. Miként akadályozható meg a kilúgozódás? [4.4.8.8. (A) fejezet.]

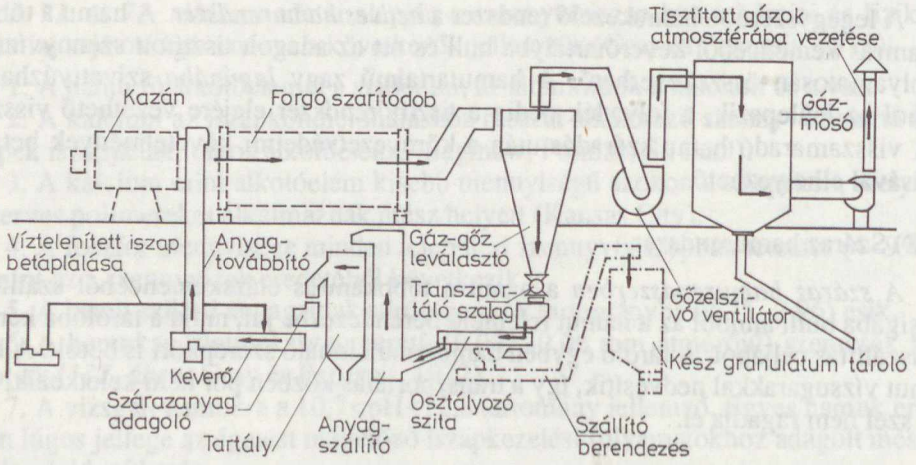
A víztelenített szennyvíziszap további kezelése, ill. elhelyezése, hasznosítása többféle módon lehetséges. Az egyik, elhelyezés és hasznosítás szempontjából kedvező mód a *szárítás*, granulátumkészítés céljából.

Ez a *termikus iszapkezelés* az alábbi követelményeket kell hogy kielégítse:

– a lehető legkisebb legyen az energiafelhasználás, egészen az energia-önfenntartásig,
– a granulátum szárazanyag-tartalma min. 90%-os legyen,
– a granulátum-végtermék higiénikus legyen, a mezőgazdaságban tápanyagként vagy talajjavító adalékanyagként lehessen felhasználni,
– a gázmosóban kis mennyiségű szennyezett víz keletkezzék,
– a gázmosóból az atmoszférába távozó gázok szag-, por- és egyéb minőségi paraméterei az előírásokat elégítsék ki.

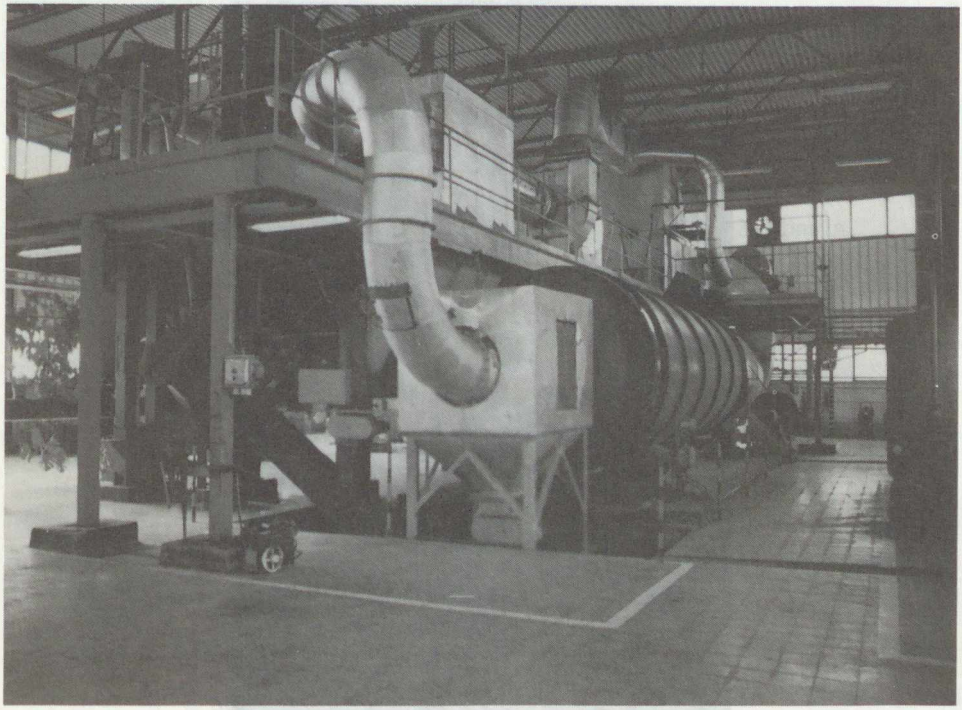
(A) A szárítórendszer működési elve

A TCW iszapgranuláló rendszer folyamatsémája a *138. ábrán* értelmezhető (Solti nyomán, 1994a; Pécsi Vízmű).



138. ábra. A TCW szennyvíziszap-granuláló rendszer folyamatsémája

A rendszerbe centrifugával víztelenített, 25% szárazanyag-tartalmú iszapot táplálnak be. A szárítandó iszap keverőbe jut, ahol az a már szárított anyaggal keveredik. A keverék a szállítóberendezésen keresztül a forgó szárítódobba kerül (*139. ábra;* Solti nyomán). A dobon áthaladás közben a hozzá kapcsolódó kazánból forró gázt kap, amely az iszapot kiszárítja. Ezt követően a gáz és a vízgőz a száraz iszaptól különválik. A szárított iszap szitára kerül, ahol a porszerű anyag és a granulátum szétválik. A porszerű anyagot a szárítórendszer elejére recirkuláltatják, ahol az szállító közegként hasznosul.



139. ábra. A szennyvíziszap-granuláló rendszer látképe

Az iszapszárítással kapcsolatos fejlődés tekintetében különösen az Escher Wyss-eljárástechnológiára érdemes felfigyelni (Sulzer–Escher Wyss GmbH).

(B) A granulátum hasznosítása

A 2–4 mm ∅-jű anyag a granulátumsilóba kerül, amelyhez granulátumcsigán keresztül adaléksiló van hozzákapcsolva, százalékos bekeverőkészülékkel. Az adaléksilóba foszfor, kálinitrogén adagolható, és így dúsított granulátum hozható létre.

A granulátum 2–4 mm ∅-jű, ömlesztve vagy zsákokba csomagolva (*140. ábra;* Solti nyomán) elszállítható.

A granulátum víztartalma kb. 4,5%, szervesanyag-tartalma 70% feletti.

A forrógőz-tartalmú hulladékgázok ventilátor közvetítésével a gázmosóba, onnan az atmoszférába továbbíthatók.

A szervestrágya-granulátum a mezőgazdaságban jól hasznosítható. A nagyüzemek gépparkjukkal, minimális élőmunka-ráfordítással tudják a mezőgazdasági területeken szétteríteni.

A toxikus anyagtartalmú granulátumot útépítési alapokban, aszfaltkeverékben és cementgyártásnál lehet felhasználni. Azok a szennyvíziszapok, amelyek nehézfém- vagy egyéb szennyezőanyag-tartalmuk miatt nem hasznosíthatók, szárítás után tüzelőanyagként használhatók fel. Ez esetben azonban a levegőszennyezés kérdését az üzemeltetőnek szem előtt kell tartani.

140. ábra. A zsákokba csomagolt szennyvíziszap-granulátum

(C) Szennyvíziszap-granuláló rendszer üzemeltetési hibái, okai, ellenőrzése, kiküszöbölési módok

73. táblázat. Szennyvíziszap-granuláló rendszer üzemeltetési hibái, okai, ellenőrzése, kiküszöbölési módjai

(Solti, 1994b)

Üzemeltetési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Kiküszöbölés módjai
1. Végtermék (granulátum) túl nedves	1a Keverési arány nem megfelelő (kezdeti nedvesség a betáplált iszapban túl nagy)	1a Szárítómérleggel, ill. szemmel (tapasztalat alapján)	1a Betáplált iszap szárazanyag-tartalma legalább 50% kell legyen
	1b Hordozóanyag nem kerül be (dugulás vagy a siló üres)	1b Szemrevételezés	1b Duguláselhárítás vagy a siló feltöltése
	1c Dob kilépő hőmérséklete túl kicsi	1c Hőmérséklet	1c Anyagráhordás beállítása; a rendszer feltöltése

73. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Kiküszöbölés módjai
	1c Dob kilépő hőmérséklete túl kicsi	1c Hőmérséklet	1c Anyagráhordás beállítása; a rendszer feltöltése
2. Végtermék túl száraz	2a Keverési arány nem megfelelő (a betáplált iszap kezdeti nedvességtartalma túl kicsi)	2a Mint 1a	2a Mint 1a
	2b Nedvesanyag-bevezetés nincs (dugulás, üres siló, adagolótolattyú zárva)	2b Mint 1b	2b Mint 1b
	2c Hőmérséklet a dob kilépési oldalán túl magas	2c Mint 1c	2c Rendszer lehűtése
3. Üzemzavar az égőnél	3a Hőmérséklet a dob kilépési oldalán nem megfelelő	3a Hőmérséklet	3a Rendszer felfűtése vagy lehűtése
	3b Égő előtt nincs megfelelő gáznyomás	3b Nyomásmérés	3b Nyomás beszabályozása
	3c Zárt gázszelepek	3c Mint 3b	3c Elektromos hiba kijavítása
	3d Gáznyomás a gyújtószerkezethez túl kicsi	3d Mint 3b	3d Gázpalackcsere
	3e Gyújtóelektróda elszennyeződött	3e Szemrevételezés	3e Elektróda tisztítása
4. Elektromos üzemzavar	4a Motorvédelem a típustáblán megadott értékekkel nem egyezik meg	4a Egyeztetés	4a Helyes beállítás
	4b Rövidzárlat a motorban	4b Mérőműszeres ellenőrzés	4b Javítás szakműhelyben vagy motorcsere
	4c Motor túlterhelt	4c Áramfelvételmérés	4c Túlterhelés megszüntetése
5. A szárított termék ég a berendezésben	5a Szabályozótermosztát nem működik	5a Mérőműszeres ellenőrzés	5a Termosztátcsere
	5b „Maximális hőmérséklet", termosztát nem működik	5b Mérőműszeres ellenőrzés	5b Termosztátcsere
	5c Víztelenített iszap (nedvesanyag) adagolása	5c Szemrevételezés	5c Kimaradás okának (dugulás, üres siló stb.) megszüntetése

73. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges okok	Ellenőrzés	Kiküszöbölés módjai
6. Álló szárítódob	6a Indítókuplungban az olaj túl kevés	6a Ellenőrzés szívócsavarral	6a Olajfeltöltés
	6b Szárítóteljesítmény túl nagyra állított (túltöltött dob)	6b Szemrevételezés	6b Betáplálás (ráhordás) leállítása, dob kiürítése, teljesítmény optimális beállítása
	6c Hőkioldó hibás üzemű	6c Méréssel	6c Hőkioldócsere
	6d Fordulatszám-érzékelő nem működik	6d Méréssel	6d Szennyeződés eltávolítása, ill. érzékelőcsere

(D) Kérdések

1. Milyen szennyvíziszap szárítható? [4.4.8.9. (A) fejezet.]
2. Mi a szennyvíziszap-granuláló rendszer folyamata? [4.4.8.9. (A) fejezet.]
3. Miként jellemezhető a granulátum? [4.4.8.9. (A) fejezet.]
4. Miként hasznosítható az iszapgranulátum? [4.4.8.9. (B) fejezet.]

4.4.9. IRODALOM

Albertson, O. E., Kopper, M. (1983): Fine coal-aided centrifugal dewatering of waste activated sludge. *JWPCF*, 55 (2).

Andersson, C. (1981): Flotative Schlammeindickung. In: *Fortschritte bei der Anwendung des Flotationsverfahrens in der kommunalen Abwasserreinigung*. TU Karlsruhe.

AQUAFILTER: *RSDS Rapid Sludge Dewatering System*. AQUAFILTER Környezetvédelmi Innovációs Kft. Magyar–angol vegyes vállalat. Kaposvár.

Austin, E. P. (1978): The filter belt press-application and design. *Filtration and Separation*, July/August.

Basso, A. J. (1977): Getting the Most Out of Filter Aids. *Chemical Engineering*. September 12.

Beardsley, J. A. (1976): *Sludge Drying Beds Area Practical. Water and Sewage Works*. Part 1. July; Part 2. August.

Belt Filter Press Survey Report. ASCE (1985): New York. NY.

Benedek P., Valló S. Szerk. (1976): *Víztisztítás – Szennyvíztisztítás*. Zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

Bitton, G. (1980): *Introduction to Environmental Virology*. Wiley, New York.

Boll, J. E. (1986): *Potassium Permanganate for Sludge Odor Control*. Carus Chemical Co., LaSalle, IL.

Booth, G. H. et al. (1967): Criteria of Soil Agressiveness Towards Burried Metals. *British Corrosion J.*, 2, 106.

Bradeny, L., Bragstad, R. E. (1955): Concentration of activated sludge by centrifuge. *Sewage and Industrial Waste*, Vol. 27.

Bryan, F. L. (1977): Disease transmitted by foods contaminated by wastewater. *J. Food Protect.*, 40.

Burd, R. S. (1968): *A Study of Sludge Handling and Disposal.* In: U.S. Department of Interior, No. WP–20–4, May.

Calgon Corp. (1980): *Polymer Make-up Systems.* Pittsburgh, PA.

Ceballero, R. C. (1985): *Experience at a Windrow Composting Facility. Composting of Municipal Wastewater Sludges.* EPA/625–14–84/014. Office of Res. and Dev., Cincinnati, Ohio.

Chasick, A. H., Dewling, R. T. (1962): Interstage elutriation of digested sludge. *J. WPCF,* Vol. 34, No. 4, April.

Clark, C. S. et al. (1983): Gram-negative bacteria, *Aspergillus fumigatus,* dust and endotoxin levels at compost plants. *Appl. Environ. Microbiol.*, 45.

Clark, C. S., Bjornson, H. S., Schwartz-Fulton, J., Holland, J. W., Gartside, P. S. (1984): Biological health risk associated with the composting of wastewater trentment plant sludge. *J. WPCF,* Vol. 56, No. 12, December.

Cohen, J. M., Rossman, L., Hannah, S. A. (1981): *National Survey of Municipal Wastewaters for Toxic Chemicals.* 8th U.S./Japan Conf., Cincinnati, on Sewage Treatment Technology, October.

Country Sanitation Districts of Los Angeles County (1977): *A State of the Art Review.* LA/OMA Project. Whittier, California, April.

Courtesy Emico Process Equipment Co.: *Fixed-volume Recessed Plate Filter Press.*

Craig, E. W., Meredith, D. D., Middleton, A. C. (1978): Algorithm for optimal activated sludge design. *J. of Env. Eng. Div., ASCE,* Vol. 104, EE6.

Culp, G. L., Heim, N. F. (1978): *Field Manual for Performance Evaluation and Trouble-shooting of Municipal Wastewater Treatment Facilities.* EPA–430/9–78–001, EPA Contract, No. 68–01–4418.

Dahl, B. W., Zelinski, J. W., Taylor, O. W. (1972): Polymer aids in dewatering and elutriation. *J. WPCF,* Vol. 44, No. 2.

Dembitz, A. E. (1978): Belt filter press: a new solution of dewatering? *Water and Wastes Engineering,* February.

Design Information Report on Belt Filter Presses (1985): U.S. Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH.

Dick, R. I., Simons, D. L. (1976): *Optimal Integration of Process for Sludge Management.* Proceedings 3rd National Conference on Sludge Management Disposal and Utilization. Miami Beach, FL, 12(14–16)76. Information Transfer Inc., Rockville, Maryland 20852.

Dunn, K. S. (1975): Incinerations role in ultimate disposal of process waste. *Chem. Eng.*, 82, October.

Dixon, D. Ch. (1985): Capacity and control of clarifiers and thickeners. *J. WPCF,* Vol. 57, No. 1, January.

Echelberger, W. F. et al. (1979): *Chemical Characterization of Municipal Wastewater Sludge in Indiana.* Part 1. School of Public and Environmental Affairs, Indiana University, Bloomington.

Eckenfelder, W. W., Ford, D. L. (1970): *Water Pollution Control. Experimental Procedures for Process Design.* The Pemberton Press, Austin and New York.

Ehreth, D. J., Walker, J. M. (1977): The role of composting and other beneficial use options in municipal sludge management. *Proc. National Conf. on Composting of Municipal Residues and Sludges.* Information Transfer, Inc. Rockville, MD. August.

EPA (1979): *Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal.* EPA 625/1–79–011. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.

EPA (1982): *Dewatering Municipal Wastewater Sludges.* EPA 625/1–82–014. U.S. Environmental Protection Agency, Center of Environmental Research Information, Cincinnati, OH.

EPA (1984): *Use and Disposal of Municipal Wastewater Sludge*. EPA 625/1–84–003. September. Technology Transfer.
EPA (1985): *Innovative Sludge Drying Study, City of Roswell, New Mexico*. EPA Project Report C–35–1052–01. U.S. Env. Protection Agency, Region VI. Dallas.
EPA (1987): *Design Manual Dewatering Municipal Wastewater Sludges. Technology Transfer*. EPA/625/1–87/014. September. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development.
EPA (1989): *Handbook Retrofitting POTWs*. EPA/625/6–89/020. July. Technology Transfer.
Epp, C., Metz, H. (1980): Virological analyses of irradiated sewage sludge. *Zentralblatt Bacteriol. Parasitenk. Infektionskr. Hyg*. Abt. I.: Orig., Reihe B. 171.
Ettelt, G. A., Kennedy, T. (1966): *Research and operational experience in sludge dewatering at Chicago. J. WPCF*, Vol. 38.
Ettlich, W. F., Hinrichs, D. J., Lineck, T. S. (1978): *Operations Manual Sludge Handling and Conditioning*. Epa 430/9–78–002. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
Farell, J. B. (1978): *Ultimate Disposal Section to Office of Solids Waste*. Best Management Technology Definitions for (a) Sludge Stabilization and (b) Addition Pathogen Reducing Processes. MERLE USEPA. Cincinnati, OH 45268, November.
Feachem, R. G., Bradley, D. J., Garelick, H., Mara, D. D. (1980): *Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation: Health Aspects of Excreta and Sillage Management: A State of the Art Review*. World Bank, Washington, D.C.
Ferwagner P. (1944): Írásbeli közlés.
Gennaretti spa: *Centrifughe Decanter tipo 500–2*. Prospect.
Genter, A. L. (1941): *U.S. Patent 2,259,688*. October 21.
Gniosdorsch, L. G. (1988): Einsatz von Zentrifugen vor der Schlammverbrennungsanlage Frankfurt am Main–Sindlingen. *Abwassertechnik*, Heft 3.
Golueke, C. G. (1972): *Composting. A Sludge at the Process and its Principles*. Rodale Press, Emmaus, PA.
Goodman, B. L. (1966): Chemical conditioning of sludges: six case histories. *Water and Wastes Engineering*, Vol. 3.
Goodman, B. L., Witcher, C. P. (1965): Polymer-aided sludge elutriation and filtration. *J. WPCF*, Vol. 37.
Gray, H., Penessis, C. (1972): Engineering properties of sludge ash. *J. WPCF*, Vol. 44, No. 5, May.
Gulas, V., Lindsey, R., Benefield, L., Randall, C. (1978): Factors affecting the design of dissolved-air flotation systems. *J. WPCF*, 50, 7.
H_2O (1993): Waterbeheer in de Verenigde Staten van Amerika. Verslag van een NVA-studiereis naar Californië, Nevada en Noord-Mexico. 20. September.
Haug, R. T. (1980): *Compost Engineering*. Ann Arbor Sci. Publishers, Inc. Ann Arbor, Mich.
Haug, R. T., Haug, L. A. (1977–1978): Sludge composting: A discussion of engineering principles. Parts 1–2. Compost science/Land utilization. *J. Waste Recycling*. November–December and January–February.
Hay, J. C. et al. (1984): *Disinfection of Sewage Sludge by Windrow Composting. Disinfection of Wastewater Effluents and Sludges-State of the Art and Research Needs*. Proc. Workshop on Disinfection. National Science Foundation, May.
Hay, J. C., Caballero, R. C. (1987): *Windrow Composting: Principles and Application*. Proc. 1987. Specialty Conf. on Envir. Eng. ASCE.
Hay, J. C., Kuchenrither, R. D. (1990): Fundamentals and application of windrow composting. *J. Environ. Eng.*, Vol. 116, No. 4, July/August.
Hirota, M., Okada, H., Misaka, Y., Kato, K. (1974): *Dewatering of Organic Sludge by Using Pulverized Coal*. 97th Annual Conference of the Water Pollution Control Federation. Denver, Co.

Hornick, S. B., Sikora, L. J., Sterrett, S. B., Murray, J. J., Millner, P. D., Burge, W. D., Colacicco, D., Parr, J. F. (1984): Utilization of sewage sludge compost as a soil conditioner and fertilizer for plant growth. *Agricultural Information Bulletin 464*. Agricultural Research Service. U.S. Dept. of Agriculture, Betsville, Maryland.

Howard, F. S., Allen, T. D., Kroneberger, G. F. (1979): Energy production through sludge/refuse pyrolisis. *J. Water Pollution Control Federation*, Vol. 51, April.

Iacoboni, M. D. et al. (1983): *Windrow and Static Pile Composting of Municipal Sludges*. Report for the U.S. Environmental Protection Agency. Sanitation Districts of Los Angeles County, Los Angeles, Calif.

Jedele, K., Hoch, W., Rölle, R. (1980): Einsatz der Entspannungsflotation in Belebtsschlammanlagen anstelle herkömmlicher Nachklärbecken. *Korrespondenz Abwasser*, 27, 9.

Jeffrey, E. A. (1959): *Laboratory Study of Dewatering Rates for Digested Sludge in Lagoons*. Proc. of 14th Purdue Industrial Waste Conference, Purdue Univ. Lafayette, Indiana 47907.

Jeffrey, E. A. (1960): Dewatering rates for digested sludge in lagoons. *J. WPCF*, Vol. 32.

Jeffrey, E. A., Morgan, P. F. (1959): Oxygen demand of digested sludge liquor. *Sewage and Industrial Wastes*, Vol. 31.

Juhász E. (1986): *Szennyvíziszap-kezelési technológiák*. MTA. Kandidátusi értekezés. Budapest.

Juhász E. (1994): Írásbeli közlés.

Karászi G., Csomós Gy., Szabó K., Varga G., Balogh F., Nagy S. (1994): Írásos közlés.

Katz, W. J., Geinopolos, A. (1967): Sludge Thickening by Dissolved Air Flotation. *J. WPCF*, Vol. 39, No. 6.

Keefer, C. E., Krotz, H. (1929): Experiments on dewatering sewage sludge with a centrifuge. *Sewage Works Journal*, Vol. 1.

Kerri, K. D., Tortorici, L. D., Stahl, J. F. (1989): Sludge Handling and Disposal. In: Kerri, K. D. et al.: *Advanced Waste Treatment*. U.S. EPA. Office of Water Programs.

Kershaw, M. A. (1965): Development in sludge treatment and disposal at the Naple Lodge Works, England. *J. WPCF*, Vol. 37.

Kiefhaber, K. P. (1981): In: Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe: *Fortschritte bei der Anwendung des Flotationsverfahrens in der kommunalen Abwasserreinigung*. 25. (Leiter: H. H. Hahn.)

Kollár Gy. (1994): Szóbeli közlés.

Kroiss, J. (1994): Schlammbehandlung. In: Klärwärter Grundkurs. *Wiener Mitteilungen. Wasser-Abwasser-Gewässer*. B. 114. (Herausgeber: Kroiss H.)

Kubo, T. (1984): Klärschlammbehandlung und – Beseitigung – Erfahrungen aus Japan. *Gewässerschutz-Wasser-Abwasser*. Band 65. (Hrsg: B. Böhnke.) Aachen.

Landis, B. M. (1969): Centrifuge applications. *Filtration Engineering*, September.

Lauer, K. R. (1979): Potential use of incinerator residue as aggregate for Portland cement concrete. *Transp. Res. Rec.*, 734.

Lundholm, M., Rylander, R. (1980): Occupational symptoms among compost workers. *J. Occup. Med.*, 22.

Lynd, E. R. (1956): Asphalt-paved sludge drying beds. *Sewage and Industrial Wastes*, Vol. 28.

Maddock, J. E. L. (1976): *Research Experience in the Thickening of Activated Sludge by Dissolved-Air-Flotation*. WRC Conf. Felixstowe, Suffolk, England.

Malish, W. R., Day, D. E., Wixson, B. G. (1970): *Use of Waste Glass for Urban Paving*. Proc. 2nd Mineral Waste Utilization Symp. Chicago. Ill.

Martin Marietta Corp., USA (1981): *Sludge Conditioning with Cement Kiln Dust*. Baltimore, MD.

Master, A. L. (1977): *Filter Aids. Solid-Liquid Separation*. Butterworths, Inc. Ladislav Svarovsky (ed.).

Matsby, I., Rylander, R. (1978): Clinical and immunological findings in workers exposed to sewage dust. *J. Occup. Med.*, 20.

Mertsch, V. (1987): *Sedimentation, Eindickung und Entwässerung von Fällungs-/Flockungsschlämmen.* Inst. für Siedlungswasserwirtschaft Univ. Karlsruhe, 46.
Metcalf and Eddy Inc. (1984): *Achieving Improved Operation of Heat Treatment/Low Pressure Oxidation of Sludge.* Draft Report to U.S. EPA, Contract 68–03–3208. September 29.
Metcalf and Eddy Inc. (1991): *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse.* (3rd ed.) McGraw-Hill, New York.
Meyer, H. (1988): Einsatzmöglichkeit und Wirtschaftlichkeit von Kamarerfilterpressen. *Korrespondenz Abwasser,* Jg. 35, Heft 9.
Mészáros G. (1994): Írásos közlés.
Millner, P. D. et al. (1977): Occurrence of *Aspergillus fumigatus* during composting of sewage sludge. *Appl. Environ. Microbiol.,* 34.
Miorin, A. F. et al. (1977): *Wastewater Treatment Plant Desing.* WPCF Manual of Practice, No. 8. Lancaster Press., Inc.
Mittelthermische Schlammbehandlung. Firmenschrift Metallwerk Buchs A.G.
Montgomery, J. M. Inc. (1984): *Technology Evaluation of Brown Bear Tractor for Sludge Dewatering.* EPA Contract Report 68–03–1821, U.S. Env. Protection Agency. Waste Engineering Research Laboratory, Cincinnati, OH.
Murakami, K. (1986): Neue Technologien der Schlammbehandlung und Verwertung in Japan. *GWA,* H. 85. (Editor: B. Böhnke.)
Nasgyistók F., Fodor M. (1994): Írásos közlés.
NCASI (1978): A Review of the Operational Experience with Belt Filter Presses for Sludge Dewatering in the North American Pulp and Paper Industry. Prepared for National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement. *Technical Bulletin* 315. October.
Nelson, J. K., Tavery, M. A. H. (1978): Chemical conditioning alternatives and operational control for vacuum filtration. *J. WPCF,* March.
Niessen, W. R. (1978): *Combustion and Incineration Processes.* Marcel Dekker, Inc.
Notes on Water Pollution (1970): *Vacuum Filtration of Sludges.* No. 51, December.
Obrist, W. (1963). Microbiologie im Dienste der Abfallbeseitigung. In *Microkosmos,* 52 Jg., H. 5, Mai.
Ohara, G. T., Raksit, S. K., Olson, D. R. (1978): Sludge dewatering studies at hyperion treatment plant. *J. WPCF,* Vol. 50.
Orris, E. A. et al. (1987): *Dewatering Municipal Wastewater Sludges. Design Manual.* EPA/625/1–87/014, September.
Owen, H. B. (1957): Sludge Incineration. *J. Sanitary Eng. Division, ASCE,* February.
Öllős G. (1987): *Vízellátás.* AQUA Kiadó, Budapest.
Öllős G. (1991a): *Szennyvíztisztítás.* AQUA Kiadó, Budapest.
Öllős G. (1991b): Microscreening in sewage treatment. *Periodica Polytechnical Ser. Civil Eng.,* Vol. 35., Nos 1–2.
Öllős G. (1993): *Szennyvíztisztítás.* II. BME, MTI, Budapest.
Öllős G. (1994): *Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése.* I. Akadémiai Kiadó, Budapest.
Perry, R. H., Chilton, C. H. (1973): *Chemical Engineers' Handbook.* McGraw-Hill Inc. 5th Ed.
Peterson, R. L., Rubel and Haget Inc. (1981): *Belt Filter Press Design.* 54th Annual Water Pollution Control Federation Conference. Detroit, MI.
Poincelot, R. P. (1977): *The Biochemistry of Composting.* Proc. National Conf. on Composting of Municipal Residues and Sludges. Information Transfer, Inc., Rockville, MD. August.
Rácz S.-né (1994): Írásos közlés.
Recycling von organischen Abfällen (TCW). TCW-Anlagenbau GmbH Kisslegg/Zaisenhofen.
Reuter, J. M. (1988): Maschinelle Entwässerung von Klärschlamm. *Abwassertechnik,* Heft 1.
Rolan, A. T. (1980): Determination of design loading for sand drying beds. *J. North Carolan Section, AWWA and WPCA L5* (1).
Sacramento Area Consultants (1975): *Study of Wastewater Solids Processing and Disposal.* Appendix C. Sacramento Regional County Sanitation District. Sacramento, Cal. 95814. June.

Sacramento Area Consultants (1979): *Sewage Sludge Management Program Final Report.* Vol. 2, SSB Operation and Performance. Sacramento Regional County Sanitation District. Sacramento, California 95814. September.
Sawyer, C. N., Corumbling, J. S. (1960): Fundamental considerations in high-rate digestion. *J. ASCE,* Vol. 86, SA2.
Schoenberger, R. J., Fungaroli, A. A. (1971): Incinerator-residue-fill site investigation. *J. Soil Mech. and Found Div., ASCE,* 97 (10).
Shen, T. T., Chen, M., Lauber, J. (1978): Incineration of toxic chemical wastes. *Pollution Engineering,* October.
Siekmann, K. (1986): Leistungsfähigkeit des zweistufigen Schlammstabilisierungsverfahrens nach dem System Sauerstoffbegasung mit anschliessender Faulung im Vergleich zur einstufigen Faulung. *GWA,* 89, Aachen. (Kiadó: B Böhnke.)
Smith, J. W., Condra, J. (1983): Recovery of wastewater treatment chemicals from fly ash. *J. of Environ. Eng.,* Vol. 109, No. 5, October.
Solti D. (1994): Írásbeli közlés.
Solti D. (1994a): A pécsi szennyvíztisztító telep iszapjának víztelenítés utáni granulálása. Pécs.
Solti D. (1994b): Kommunális szennyvíziszap kezelése és hasznosítása a Pécsi Vízműnél. Pécs.
Sommers, L. E. (1977): Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential as fertilizers. *J. Environ. Quality,* 6.
Sommers, L. E., Nelson, D. W., Yahner, J. E., Mannering, J. V. (1972): Chemical composition of sewage sludge from selected Indiana cities. *Proc. Indiana Acad. Sci.,* 82.
Sparr, A. E. (1954): Elutriation experience at the Bay Park Sewage Treatment Plant. *Sewage and Industrial Wastes,* Vol. 26.
Strachan, S. D., Nelson, D. W., Sommers, L. E. (1983): Sewage sludge components extractable with nonaqueous solvents. *J. Environ. Qual.,* 12.
Sulzer–Escher Wyss GmbH: *Escher Wyss Verfahrenstechnik.* Ravensburg.
Szilágyi M. (1994): Írásos közlés.
Szombati J. (1994): Írásos közlés.
Szőllősi L. (1977): Az iszapkezelés gépei. I. *VÍZGÉP híradó,* IV. évf., 2. június.
Task Committee on Belt Filter Presses (1988): Belt Filter Press Dewatering of Wastewater Sludge. *J. Environ. Eng.,* Vol. 114, No. 5, October.
Tay, J. H., Tan, C. T., Chin, K. K. (1982): Utilization of incinerator residue in concrete. *J. Conservation and Recycling,* 5 (2/3).
Taylor, D. (1957): Sludge conditioning and filtration at Cincinnati's Little Miami Sewage Works. *Sewage and Industrial Waste,* Vol. 29.
Topschall J. (1994): Írásbeli közlés.
Torpey, W. N. (1954a): Concentration of combined primary and activated sludges in separate thickening tanks. *J. San. Eng. Div., Proc. Amer. Soc. Civil Eng.,* 80.
Torpey, W. N. (1954b): High-rate digestion of concentrated primary and activated sludge. *Sewage and Industrial Wastes,* Vol. 26.
Torpey, W. N., Melbinger, N. R. (1967): Reduction of digested sludge volumen by controlled recirculation. *J. Water Pollution Federation,* Vol. 39.
Tortorici, L. D., Stahl, J. F. (1989): Sludge Handling and Disposal. Chapter 3. In: Kerri, K. D. et al.: *Advanced Waste Treatment.* EPA, Grant No. T900690010.
U.S. Department of Interior (1968): *A Study of Sludge Handling and Disposal.* Federal Water Pollution Control Administration, Office of Research and Development, No. WP–20–4, May.
U.S. Environmental Protection Agency (1979): *Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal.* September.
USEPA (1977a): *Operations Check Lists.* Office of Water Program Operations, Washington, DC 20460, MSD 48B, February 10.

USEPA (1977b): *Sludge Handling and Disposal Practices at Selected Municipal Wastewater Treatment Plants*. Office of Water Program Operations, Washington, DC 20460, MCD 36, April.
USEPA (1977c): *Assessment of the Use of Refuse-Derived Fuel in Municipal Wastewater Sludge Incinerators*. Office of Solid Waste. Washington, DC 20460. Contract No. 68–01–4227.
USEPA (1977d): *Cost of Landspreading and Hauling Sludge from Municipal Wastewater Treatment Plants*. Office of Solid Waste. Washington, DC 20460. EPA 530/SW–619. October.
USEPA (1977e): *Upgrading Lagoons. Technology Transfer Seminar Publication*. Cincinnati, Ohio 45268. EPA–626/4–73–0016. Revised June.
USEPA (1978a): *Energy Conservation in Municipal Wastewater Treatment*. Office of Water Programs Operations. Washington, DC 20460. MCD–32, EPA–430/9–77–011.
USEPA (1978b): *Sludge Dewatering and Drying on Sand Neds*. Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio 45268. EPA 600/2–78–141, August.
USEPA (1978c): *Pilot Investigation of Secondary Sludge Dewatering Alternatives*. Industrial Environmental Research Lab., Cincinnati, Ohio 45268, NTIS PB–280–982, February.
USEPA (1979): *Evaluation of Dewatering Devices for Producing High Solids Sludge Cake*. Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio 45268. EPA 600/2–79–123, February.
Vaughn, D. R., Reifwiesner, G. A. (1972): Disc-nozzle centrifuges for sludge thickening. *J. WPCF*, Vol. 41.
Wagner J. (1994): Írásos közlés.
Walter, C. E. (1976): Practical refuse recycling. *J. Envir. Eng., Div. ASCE*, 102.
Ward, R. L., Ashley, C. S. (1977): Inactivation of enteric viruses in wastewater sludge through dewatering by evaporation. *Appl. Environ. Microbiol.*, 34.
Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse (1979). (2nd ed.) Metcalf and Eddy., Inc., McGraw-Hill Book Company, New York.
Wassenberg, W. B. A., Pluim, J. W. (1994): Emissies bij compostering van Zuiveringsslib in gesloten cellen. *H_2O*, 10.
Wesner, G. M. (1978): *Sewage Sludge Composting*. Technology Transfer Seminar Publication on Sludge Treatment and Disposal. Cincinnati, OH. 45628. September.
Weyrauch, W. (1972): *Zusammenhänge zwischen Fällungsbedingungen und Schlammeigenschaften bei der Phosphorelimination aus Abwässern*. Dissertation TH, Darmstadt.
Wilhelm, J. H. (1978): The use of specific resistance data in sizing batch-type pressure filters. *J. WPCF*, 50 (3).
Wilson, G. B. (1977): *Equipment for Composting Sewage Sludge in Windrows and in Piles*, Proc. National Conference on Composting Municipal Residues and Sludges. Information Transfer, Inc. MD. August.
WPCF *[Water Pollution Control Federation]* (1969): MOP 20 Sludge Dewatering.
WPCF [Water Pollution Control Federation] (1983): *Sludge Thickening*. Manual of Practice, No. 20.
WPCF [Water Pollution Control Federation] (1988): *Sludge Conditioning*. Manual of Practice, FD–14.
WPCF [Water Pollution Control Federation] (1983): *Sludge Dewatering*. Manual of Practice, No. 20.
Wyckoff, J. (1977): *Effects of Initial Concentration on Flotation Thickening Efficiency*. Master's Thesis. Dep. of Civil Eng. Univ. of California, Davis.
Zablatzky, H. R., Peterson, S. A. (1968): Anaerobic digestion failures. *J. WPCF*, Vol. 40.
Zlokarnik, M. (1985): Neue Flotationstechniken zur Abtrennung und Eindickung vom Klärschlamm bei der biologischen Abwasserreinigung. *Korrespondenz Abwasser*, 6. Jg. 32.

5. A SZENNYVÍZISZAP ELHELYEZÉSE

A szennyvíztisztító telepekről származó, a szennyvízből eltávolított szilárd anyagok (wastewater solids), tehát a rácsszemét, a homok, a felúszott iszap, az előülepített, utóülepített és az utótisztításból eredő iszapok lehetséges elhelyezési és/vagy hasznosítási módjait a *141. ábra* szemlélteti (Anderson nyomán, 1981).

5.1. ELHELYEZÉSI MÓDOK

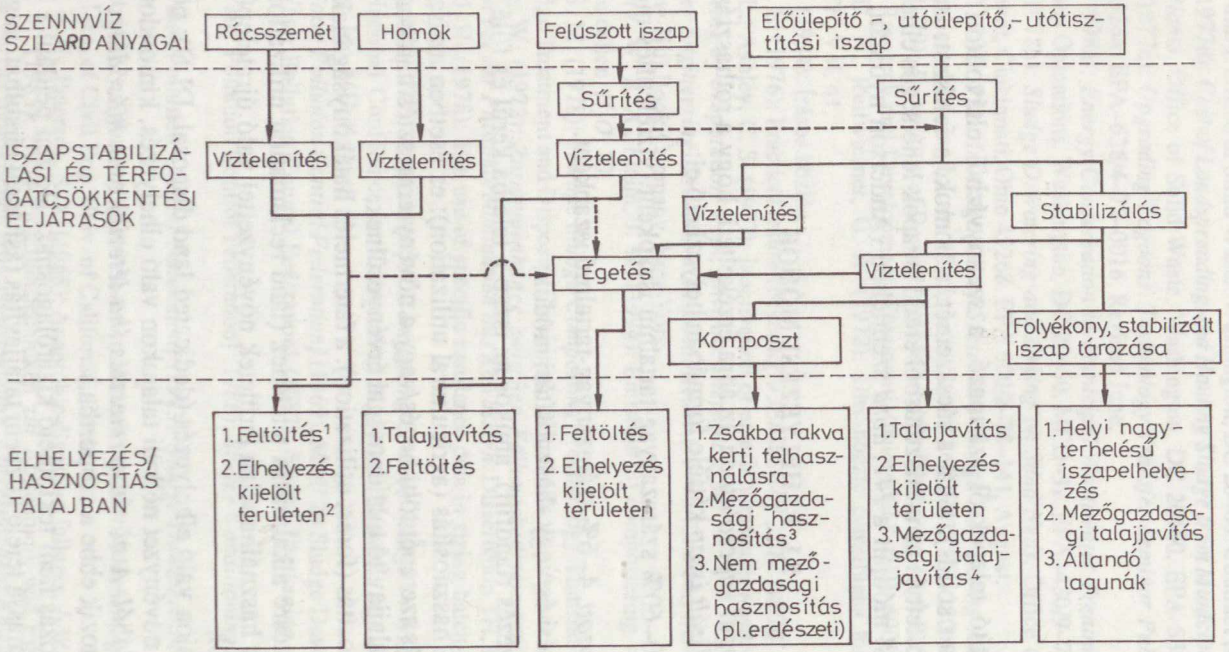
A *szennyvíziszappal kapcsolatban* az ábra érzékelteti, hogy a rothasztás, vagy a kémiai úton *stabilizált iszap* kétféle formában helyezhető el:

1. *víztelenített*, 20–60% szárazanyag-tartalmú iszapként (víztelenítés módjától függően), vagy
2. *folyékony, tározott*, 4–6% szárazanyag-tartalmú iszapként.

Az iszapelhelyezési és/vagy -hasznosítási módok:

– feltöltésbe helyezés (landfill), amikor az iszap a talajba kerül és fölé földtakarás kerül,
– mezőgazdasági hasznosítás (agricultural utilization): ez esetben az iszap növényi tápanyagforrás szerepét tölti be, és/vagy a növénytermesztés hatékonyabbá tétele érdekében a talajjavító tulajdonságai érvényesülnek,
– erdészeti hasznosítás (forest utilization): a fatermelés hatékonyságának növelése érdekében,
– területek művelésre alkalmassá tételéhez (land reclamation utilization): bányaterületek és más használhatatlan területek növényzettel való újratelepítése, a talaj javítása céljából,
– kiválasztott talajon való elhelyezés (dedicated land disposal, DLD): növényzettel borított vagy növényzet nélküli talajokon való elhelyezés, kimondottan az *iszapelhelyezés céljából. A növénytermesztés (ha létezik) csak másodlagos célú.* (A feltöltés nem tartozik ebbe a csoportba.)

Az előző osztályozás nem tekinthető kizárólagosnak. Hiszen például a területek művelésre alkalmassá tétele közbeni talajjavítás fásítással társulhat, vagy a kiválasztott talajon való iszapelhelyezés mezőgazdasági növénytermesztéssel járhat együtt. De a mezőgazdasági és az erdészeti hasznosítás együttesen is jelentkezhet valamely iszapmenedzselési programban. Jellemző iszap–talaj kapcsolat választási alternatíváit a *74. táblázat* érzékelteti (EPA, 1979).



Megjegyzés: [1] Víztelenített iszaplepény vagy hamu
[2] Folyékony, vagy víztelenített
[3] Folyékony, iszaplepény, komposzt
[4] Folyékony vagy víztelenített

141. ábra. A szennyvízből származó szilárd anyagok elhelyezési és/vagy hasznosítási alternatívái

74. táblázat. Jellemző iszap–talaj kapcsolati alternatívák

Jellemző	Mezőgazdasági hasznosítás	Erdészeti hasznosítás	Területek művelésre alkalmassá tétele	Kiválasztott talajon való elhelyezés
Iszapelhelyezés mértéke	Változó; normál tartomány 2,5–75 t száraz anyag / ha · a, a növény fajtájától, az iszap tulajdonságaitól stb. függően	Változó; normál tartomány 10–250 t száraz anyag / ha · a, a talajtól, fafajtáktól, iszapminőségtől stb. függően. Egyszeri hasznosítás nagyobb mértékű is lehet	Változó; normál tartomány 7,5–500 t száraz anyag / ha · a. Rendszerint egyszeri alkalmazás	Változó; normál tartomány 250–1000 t száraz anyag / ha · a, a talajtól, éghajlattól stb. függően
Iszapelhelyezés gyakorisága	Jellemző az évi ismétlés, beütemezve rendszerint az aratás és a vegetációs időszak kezdete közötti időszakban. Az ütemezés nagy rendszerekben komplex lehet	Gyakran egyszeri elhelyezés. További elhelyezés 1–5 éves időközökben	Rendszerint egyszeri alkalmazás. További alkalmazás 5–10 éves időközökben	Változó; ha az éghajlat megfelelő, 5–10 naponként adagolható rutinszerűen
A hasznosító hely(ek) hasznos időtartama	Az összes iszapból származó akkumulálódott fémterhelés jelent korlátot. Legtöbb iszapra nézve 5–20 év vagy ennél is több normális eset	Az összes iszapból származó akkumulálódott fémterhelés jelent korlátot. A jellemző iszapra az 5–20 év vagy ennél is több normális esetben	Rendszerint egyszeri iszapelhelyezés lehetséges. Az önkormányzatoknak a további helyekről gondoskodni kell	Elméletileg nincs korlátozás, ha az elhelyezés jól tervezett. Gyakran előfordul, hogy a terület a jövőben mezőgazdasági célra nem hasznosítható
Iszaptranszportálás komplexitás és költség	Költséges lehet, ha a farmok száma nagy és szétszórtak. Az időütemezés nehézségbe ütközhet, mert az iszapelhelyezést a vegetációs időszak kezdete, az aratás és az időjárás befolyásolja	Az erdőterület távolságától függ. Az időbeli ütemezést az időjárás és a fák érettsége befolyásolja	A terület távolságától függ. Az időbeli ütmezést az időjárás és az új területek rendelkezésre állása befolyásolja	Rendszerint a legkisebb a transzportigény, minden más módhoz képest. Az idő szerinti ütemezést az éghajlat befolyásolja
Iszapelhelyezés	Rendszerint rutinfeladat, ha megfelelő szállító járművek rendelkezésre állnak. Korlátozó tényező a növénytermesztési rendszer lehet	Nehézséget jelenthet az úthálózat gyér volta és az egyenetlen terep. Speciális szállító járművek válhatnak szükségessé	Rendszerint rutinfeladat, de az egyenetlen terep nehézségeket okozhat	Rendszerint rutinfeladat

74. tábl. folyt.

Jellemző	Mezőgazdasági hasznosítás	Erdészeti hasznosítás	Területek művelésre alkalmassá tétele	Kiválasztott talajon való elhelyezés
Iszap tápanyagainak körfolyamatba való visszakerülése	A kereskedelmi műtrágyahasználat csökkenhet vagy feleslegessé válhat	A kereskedelmi műtrágyahasználat csökkenhet vagy feleslegessé válhat	A kereskedelmi műtrágyahasználat csökkenhet vagy feleslegessé válhat	Néha, de nem elsődleges cél
Létező talajállapot kedvező befolyásolása	A létező talajjellemzőktől függ	A létező talajjellemzőktől függ	A növényzet létét és a talajeróziót kedvezően befolyásolja	A talaj rendszerint nem lesz alkalmas a mezőgazdasági hasznosításra
Növényzet fejlődése nagymértékben javul	A termést javítja, vagy a kereskedelmi műtrágyahasználat kiküszöbölhető/csökkenthető	Igen jelentős hatás figyelhető meg	Igen jelentős hatás figyelhető meg	Nem jellemző
Káros hatás (fitotoxicitás) jelentkezhet a növényzetre	Elkerülhető az iszapelhelyezés mértékének megfelelő megválasztásával	Elkerülhető az iszapelhelyezés mértékének megfelelő megválasztásával	Rendszerint nem jelent problémát az iszap egyszeri elhelyezése miatt	Nem jelent problémát. Növényzet léte nem elsődleges cél
Felszíni és felszín alatti vizek minőségének lehetséges romlása	Kiküszöbölhető a hely(ek) a megfelelő tervezés és az iszapelhelyezés mértékének célszerű megválasztásával	Kiküszöbölhető a hely(ek) a megfelelő tervezés és az iszapelhelyezés mértékének célszerű megválasztásával	A szóban forgó terület gyakran eleve a vízszennyeződés forrása. Megfelelő iszapelhelyezés a létező problémákat enyhítheti	Nagyobb veszély állhat fenn, ha a hely nem megfelelően választott, ill. tervezett
Közegészségügyi és/vagy káros környezetvédelmi hatások	Megfelelő tervezéssel és üzemeltetéssel elkerülhető	Megfelelő tervezéssel és a lakosság területre való bejutásának szabályozásával elkerülhető	Rendszerint nem jelent problémát, ha a lakosság területre jutása szabályozott	Elkerülhető megfelelő tervezéssel és üzemeltetéssel, továbbá a lakosság területre lépésének szabályozásával
Víz, talaj, növényzet megfigyelése (monitoring)	Rendszerint nem széles körű	Rendszerint nem széles körű	Rendszerint nem széles körű, de bonyolult lehet szabálytalan talajeloszlás esetében	Rendszerint lényeges

A talajban való tisztítás és a szennyvíztisztítás a *75. táblázat* alapján hasonlítható össze (Loehr et al., 1985). A táblázat alapján a talaj tisztító hatására a következő megállapítások tehetők: a megfelelően tervezett és üzemeltetett rendszerből távozó szűrlet (percolate)

– BOI-koncentrációja kicsi, nem több 1–5 mg/l-nél,

– szuszpendált szilárd anyagok a talajba jutás környezetéből gyakorlatilag nem távoznak el,

75. táblázat. A talajban való tisztítás és a szennyvíztisztítás összehasonlítása

Tisztítás	Tartózkodási idő		Iszapképződés	Eltávolítás hatásfoka, %				
	folyadék	szilárd anyag		BOI_5	szuszpendált szilárd anyag	nitrogén	foszfor	fémek
Talajban való tisztítás	Hosszú (hetek)*	Végtelen	Nincs	96+	99+	30–50+	99+	90+
Hagyományos biológiai szennyvíztisztítás	Rövid (6–24 h)	10–50 nap	Jelentős	85–90	85–90	15–20	10–15	10–20

Tisztítás	Levegőztetés	Energia	Mikroorganizmusok
Talajban való tisztítás	Gázfázis-diffúzió esetében fordul elő az iszapelhelyezés szüneteltetése időszakában	Szivattyúzás és elhelyezés	Különbözők, mennyiségük nagyobb mint a hagyományos szennyvíztisztításban
Hagyományos biológiai szennyvíztisztítás	Felületi vagy sűrített levegős (molekuláris diffúzió a folyadék terében)	Szivattyúzás, keverés, levegőztetés, iszapkezelés és elhelyezés	Baktériumok, protozoák és magasabb rendű szervezetek

Megjegyzés: * Gyors beszivárgás és a felszíni csörgedeztető rendszerek kizárva.

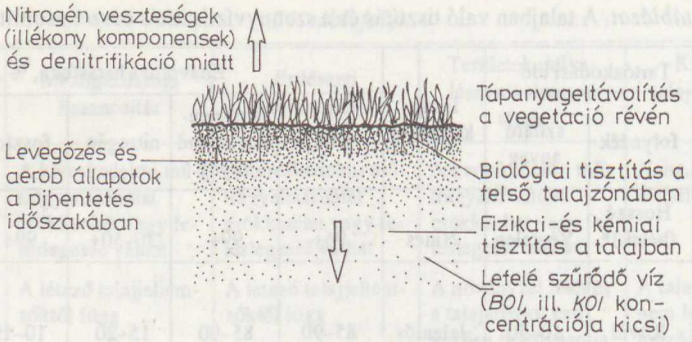
– a foszfor- és fémtartalom kicsi, 1 mg/l vagy kisebb,

– a jellemző szerves és szervetlen anyagok koncentrációi gyakran *a háttérszennyeződéshez nagyon közel állnak vagy azzal azonosak, a „zéró szennyeződés" feltételét gyakorlatilag teljes mértékben kielégítik.*

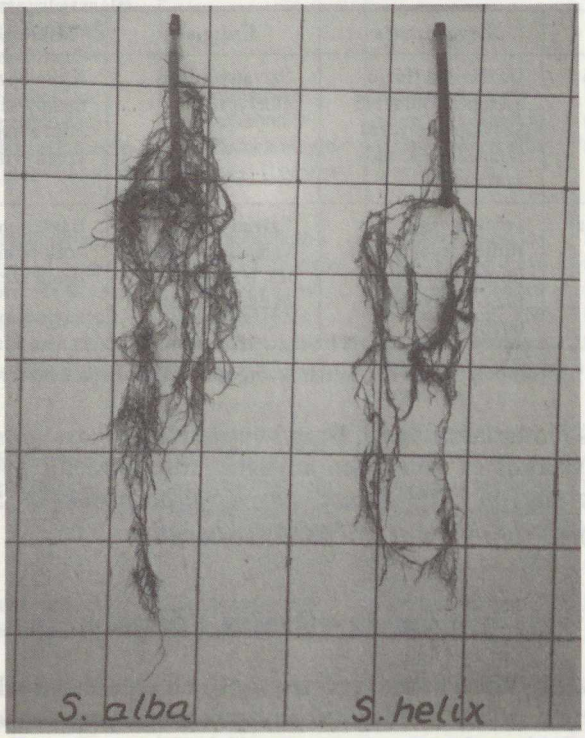
5.2. A TALAJBELI TISZTÍTÁS FOLYAMATAI

Az iszap (a szennyvíz, a szennyező anyagok) elhelyezése a talajban *irányított és végső elhelyezési mód.* A szennyező anyagok szabályozottan kerülnek a talaj- vagy a talajvegetáció-rendszerbe: vagy a talajfelszínre, vagy a talaj legfelső zónájával (0–0,3 m) keverve. *A cél a szerves anyagok stabilizálása, a tápanyagok hasznosulása és a szervetlen komponensek kiszűrése* (immobilization). Bizonyos anionos szervetlen komponensek (pl. klorid, nitrát) kismértékű szennyező hatása megengedhető, ha az az ivóvízellátást nem zavarja.

A talajbeli tisztítás a biológiai szennyvíztisztítás (utótisztítást is beleértve) valamennyi műveletét automatikusan magába foglalja (142. ábra; Loehr et al., 1985 nyomán). Ennek megfelelően a tisztító talajtér olyan fizikai-kémiai-biológiai reaktornak tekintendő, amely a következőket tartalmazza:



142. ábra. A talaj tisztítómechanizmusai

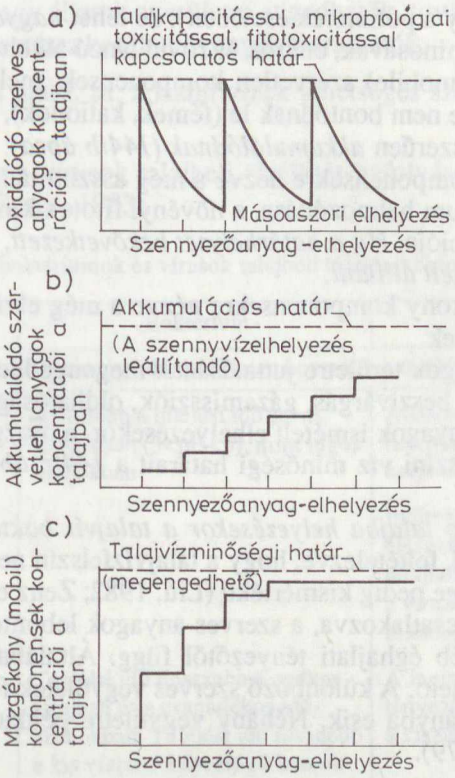


143. ábra. Települési iszappal táplált *Salix alba* és *Salix helix* fák gyökérzete (fotó: Simon)

a) szilárd részecskéket (talajt), amelyek a szennyező anyagokat *kiszűrik* és a vegyületek jelentős részét *transzformálják* (adszorbeálják), ioncserét biztosítanak, csapadék keletkezését segítik,

b) baktériumokat és makroorganizmusokat (földigilisztákat stb.), amelyek a szerves anyagokat *stabilizálják,*

c) vegetációt, amely *tápanyagokat és számos szervetlen anyagot hasznosít* (*143. ábra;* Simon alapján, 1987, 1988).



144/a–c ábra. A talajba került szerves, szervetlen anyagok és a mobil komponensek sorsa

A talajbeli szennyvíztisztítás és a szennyvíztelepi tisztítás között azonban alapvető különbség az, hogy talaj esetében *nincs iszap, amelyet kezelni, ill. elhelyezni kellene.* A szaporodó biomassza a talajban marad, ott természetes úton lebontódik és talajhumusszá válik.

Az asszimilációs folyamatokat a talajban három különböző reakció alakítja:

a) a szerves vegyületek mikrobiológiai vagy kémiai lebontódása,

b) a fémek és kationok kiszűrődése, azok jelentéktelen talajbeli migrálása közben,

c) az anionok, mint a nitrát és a klorid vándorlása a talajban lévő vízzel együtt.

A szerves anyagok lebontódását a mikrobák (pl. baktériumok) és egyéb szervezetek, mint a protozoák, atkák és földigiliszták stb., idézik elő. A szerves anyagok lebontódását a talajban a *144/a ábra* szemlélteti (Loehr et al. nyomán, 1985). A szennyező anyagokat bizonyos időközönként juttatják a talajba. A koncentrációkat képviselő görbék lejtése a szóban forgó komponens *lebonthatóságát,* ill. a lebontódás időbeli mértékét jellemzi. A lebontódás mértéke (kg/ha · a) lényegesen eltérő. Lehet *nagyon lassú* [a felezési idő hónap vagy év(ek) a bonyolult aroma-

tikus vegyületek vagy a polimerek esetében], de lehet *nagyon gyors* is (a felezési idő percek és órák aminosavak, cukrok és rövid láncú alkoholok esetében).

A kiszűrődött (immobile) szervetlen komponensek, melyek adszorbeálódnak vagy kicsapódnak, de nem bontódnak le (fémek, kationok), időszakos talajba juttatásuk során lépcsőszerűen *akkumulálódnak (144/b ábra)*. A lebontási vagy határkapacitást ilyen komponensekre nézve a még asszimilálható határ jelenti. Példák a határra: kadmium halmozódása, a növényi fitotoxikus határ fémekre, a sók inhibíciós koncentrációja. *Ha a határhelyzet bekövetkezett, a szennyező anyagok talajba juttatását le kell állítani.*

A határok mozgékony komponensekre nézve a még elviselhető talajvízminőség-romláshoz kötöttek.

A szennyező anyagok területre juttatásának megengedhető mértéke az anyagmérlegek (csapadék, beszivárgás, gázemissziók, oldhatóság) alapján határozható meg. A szennyező anyagok ismételt elhelyezésekor, a mozgékony komponensek a talajvíz vagy a felszíni víz minőségi határait a *144/c ábrán* megadott módon érik el.

A rothasztott iszap talajba helyezésekor a talajvíz bakteriális szennyeződése általában kismértékű, feltételezve, hogy a talajvízfelszín nem túl magas szintű, a talaj drénezőképessége pedig kismértékű (Liú, 1982; Zenz et al., 1976).

A *144/a ábrához* csatlakozva, a szerves anyagok lebontódási sebessége a hőmérséklettől és egyéb éghajlati tényezőtől függ. Általában elsőrendű reakcióegyenlettel jellemezhető. A különböző szerves vegyületek felezési ideje (half-life value) széles tartományba esik. Néhány vegyületre példát a *76. táblázat* nyújt (Overcash és Pal, 1979).

76. táblázat. A szerves vegyületek felezési ideje talajban való tisztításkor

Vegyület	Közelítő felezési idő
Antracén	110–180 d
Benzolpirén	60–420 d
Di-n-butil phtalat-észter	80–180 d
Nem ionos felületaktív anyag	300–600 d
2,4 metilanilin	1,5 d
n-nitrosodiethylenamin	40 d
Fenol	1,3 d
Pirokatechin	12 h
Cellulóze	35 d
Ecetsav	5–8 d
Hidrokinon	12 h

5.2.1. A TALAJBA JUTTATOTT PATOGÉN SZERVEZETEK TÚLÉLÉSE

Az iszapban lévő patogén szervezetek talajba juttatását követő túlélésük ismerete fontos, mert így *az utolsó iszapelhelyezést követően* meghatározható az az időpont, amikor

– az emberek és/vagy állatok a területre engedhetők, továbbá amikor
– az emberi fogyasztásra kerülő növények learathatók.

A túlélés a felszín alatti, ill. felszíni vizek lehetséges szennyeződését is befolyásolja.

A baktériumok és a vírusok talajbeli túlélését befolyásoló tényezőkről a 77. *táblázat* tájékoztat (Gerba, 1983).

77. táblázat. A baktériumok és vírusok talajbeli túlélését befolyásoló tényezők

Tényező	Baktérium	Vírus
Hőmérséklet*	Alacsony hőmérsékleten hosszabb a túlélési idő	
pH	Rövidebb a túlélési idő savas talajokban (3<pH<5), mint lúgos talajokban	Adszorpciójuk a talajszemcsékhez indirekt módon befolyásolhatja túlélésüket
Kationok		Indirekten befolyásolhatják túlélésüket, mert adszorpciójuk a talajhoz erőteljesebb (úgy tűnik, a vírusok szorbeált állapota a túlélést segíti)
Kiszáradás és talajnedvesség	Túlélési idő hosszabb a nedves talajban és a csapadékos időszakokban. Túlélési idő rövidebb a kis víztartó képességű homoktalajokban	A leginkább bizonyított hatótényezők. A víruskoncentráció a kiszáradó talajokban csökken
Napfény	A talajfelszínen lehet káros a baktériumokra és vírusokra	
Ellentét (antagonizmus) a talajmikroflóra részéről	Steril talajban növekvő a túlélési idő	A talajmikroflóra-vírusokra gyakorolt hatása nem tisztázott
Szerves anyag	Elegendő szerves anyag jelenlétében növekvő túlélési idő és újraszaporodás jellemző	Ismeretlen

Megjegyzés:

* A hőmérséklet szerepe fontos. 4 °C alatt túlélésük hónapokig, sőt évekig tarthat. Magasabb hőmérsékleten inaktiválódásuk vagy elhalásuk meglehetősen gyors. Baktériumok (és valószínűleg vírusok esetében is) elhalási sebessége kb. minden 10 °C-os hőmérséklet-emelkedéskor duplázódik az 5–30 °C tartományban (Reddy et al., 1981).

5.3. AZ ISZAP TÁROZÁSA

A szennyvíziszap elhelyezés/hasznosítás előtti tározása

– az iszaptermelés fluktuálásának kiegyenlítése,
– berendezés(ek) üzemzavara,
– a mezőgazdasági hasznosításhoz való alkalmazkodás,

– a kedvezőtlen, az iszap azonnali elhelyezését gátló időjárásviszonyok miatt válhat szükségessé. *A tározás minden iszapkezelő és -elhelyező rendszer nélkülözhetetlen része. Ezáltal biztosítható, hogy a rendszer teljes kapacitása mindenkor kihasználható legyen.* Erre a következő példák világítanak rá.

1. Az iszap a szennyvíztisztító telepen naponta 24 órán át termelődik. Az iszapot az üzemeltetés esetleges szüneteltetése időszakában tározni kell.
2. A tározás akkor is szükséges, ha az egymást követő tisztítási és elhelyezési folyamatok üzemeltetési üteme eltérő. Például, ha egy telepen belül az iszapvíztelenítő és az -égető kapacitása eltérő.
3. Az iszap a mezőgazdasági területen csak az év bizonyos részében helyezhető el, ugyanakkor a szennyvíztisztító telep az iszapot egész éven át termeli.
4. Az iszapvíztelenítő gépek rendszeres karbantartási igénye és a szennyvíztisztító rendszer többi eleménél a gyakoribb meghibásodás valószínűsége szintén indokolja a tározási lehetőség biztosítását (Mészáros, 1994).

Az iszap a szennyvíztisztító, az iszapkezelő vagy az iszapelhelyező rendszerben, medencékben, lagúnákban, tartályban, prizmában tározható.

Háromféle iszaptározási mód ismert (EPA, 1979; Mészáros, 1994):

– *Egyfázisú (koncentrációváltozásos) tározás.* Az iszapkoncentráció a tartályban azonos eloszlású. A tartály térfogata állandó. Példa: iszapképződés az eleveniszapos rendszer levegőztető medencéjében, ha iszapelvétel nincs.
– *Kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás.* Tározás a folyadék/iszapszeparáló rendszer iszaprétegében. Az iszapréteg térfogata nő. A teljes rendszer térfogata állandó. Az iszapfelhő térfogata megnövekedhet. Példa: az iszap gravitációs sűrítőben akkumulálódik, mert az iszapelvétel a sűrítőből szünetel, és az iszapfelhő kifejlődhet.

Tulajdonképpen ehhez a tározási módhoz kellene hozzárendelni azt a háromfázisos tározási rendszert is, amikor a vízfázis középen, a kiülepedett iszapfázis alul, a felúszott iszap felül helyezkedik el. Például: magas olaj-, zsírtartalmú iszapok ülepítése, sűrítése (Kollár, 1994).

– *Térfogatváltozásos tározás* (displacement). Az iszaptározást a teljes rendszer térfogatának változtatása eredményezi. Példa: az iszap mozgótetős rothasztóban akkumulálódik. A tető mozgása nagyobb térfogatú iszap tározódását teszi lehetővé.

Az iszaptározás osztályozása *a tartózkodási idő szerint:*

– *kiegyenlítő tározás:* az iszap tartózkodási ideje 3–4 napnál nem hosszabb,
– *rövid idejű tározás:* az iszap tartózkodási ideje 3–4 hetet nem lépi át,
– *hosszú idejű tározás:* az iszap tartózkodási ideje 1 hónapnál hosszabb.

5.3.1. A SZENNYVÍZISZAP-TÁROZÁS TÍPUSAI, BERENDEZÉSEI, MÓDJAI ÉS A TARTÓZKODÁSI IDŐ

78. táblázat. A szennyvíziszap-tározás típusai, berendezései, módjai és a tartózkodási idő

Tározás típusa	Módja	Tartózkodási idő			Megjegyzések
		kiegyenlítő (3–4 nap, vagy annál rövidebb)	rövid idejű (3–4 hét, vagy annál rövidebb)	hosszú idejű (>1 hónapnál)	
Tározás a szennyvíztisztító rendszerben					A tározás céljait is szolgáló szennyvíztisztítási folyamatok a tisztítás hatékonyságát nem zavarhatják
Homokfogó	Kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás	+	+		A tározási idő a csatornahálózat által okozott telepi terheléstől is függ
Előülepítő	Kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás	+			Hőmérséklet-érzékeny. Tározás 24 óra feletti
Levegőztető reaktor	Egyfázisú (koncentrációváltozásos) tározás	+	+		Tározás a huzamos idejű levegőztető rendszerben (pl. oxidációs árokban). A 3 hetet is túllépheti, ha utóülepítő is alkalmazott
Utóülepítő	Kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás	+			Erősen hőmérséklet-érzékeny. A 8 óra feletti tározás vegyszerigényes
Imhoff medence	Kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás		+	+	Kis terhelésű rendszer, 6 hónapnál is hosszabb tartózkodási idejű tározás is lehetséges. A legtöbb rendszer 4–6 hetente iszapeltávolítást igényel
Oldómedence	Kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás			+	Az iszapot a legtöbb oldómedencéből több év alatt csak egyszer távolítják el
Szennyvíztisztító tó	Egyfázisú (koncentrációváltozásos) és kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás			+	A levegőztetett tó az eleveniszapos reaktorhoz hasonlít (egyfázisú koncentrációváltozásos) tározás. Más tavakra a kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás jellemző, és az iszapot sok évig tározhatják

78. tábl. folyt.

Tározás típusa	Módja	Tartózkodási idő			Megjegyzések
		kiegyenlítő (3–4 nap, vagy annál rövidebb)	rövid idejű (3–4 hét, vagy annál rövidebb)	hosszú idejű (>1 hónapnál)	
Tározás az iszapkezelő rendszerben					A tározás céljait is szabályozó iszapkezelési folyamatok az iszapkezelés hatékonyságát károsan nem befolyásolhatják
Gravitációs sűrítés	Kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás	+			Hőmérséklet-érzékeny, 24 óránál hosszabb tározás vegyszerigényes
Anaerob rothasztás	Egyfázisú (koncentrációváltozásos), kétfázisú (iszapszint-változásos) és térfogatváltozásos tározás[1]	+	+		A tározást a mozgó tető teszi lehetővé. Kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás nem lehetséges, ha eleveniszapos rendszerhez kapcsolódik. Egyfázisú tározás lehetséges, ha a rothasztók előülepítő koncentrációváltozásokkal állnak kapcsolatban[2]
Aerob rothasztás	Egyfázisú (koncentrációváltozásos), kétfázisú (iszapszint-változásos) és térfogatváltozásos tározás	+	+		A dekantálás korlátot jelent. Rövid idejű tározás lehetséges, ha a levegőztető medencék kétfázisú tározást is lehetővé tevő utóülepítőkkel együtt üzemelnek. Térfogatváltozásos tározáshoz a változó szint mellett is megfelelően működő levegőztetők kellenek
Komposztálás	Kétfázisú (iszapszint-változásos) és térfogatváltozásos tározás		+	+	A párolgás a folyamatban a kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás mellett térfogatváltozásos tározást is jelent. A kész komposzt 3–4 héten át nem szállítható el

78. tábl. folyt.

Tározás típusa	Módja	Tartózkodási idő			Megjegyzések
		kiegyenlítő (3–4 nap, vagy annál rövidebb)	rövid idejű (3–4 hét, vagy annál rövidebb)	hosszú idejű (>1 hónapnál)	
Iszapvíztelenítő ágy *A berendezések elsősorban a folyékony iszap tározását szolgálják*	Kétfázisú (iszapszint-változásos) és térfogatváltozásos		+	+	A kezdeti ülepedés kétfázisú (iszapszint-változásos) tározást jelent. A víztelenedett iszap 3–4 hétig nem szállítható el
Kiegyenlítő, keverő, dekantáló (az iszapszint feletti víz elvezetését lehetővé tevő), szakaszos üzemű medence (holding tank)	Egyfázisú (koncentrációváltozásos), kétfázisú (iszapszint-változásos) és térfogatváltozásos tározás	+			Alkalmazását a műtárgy létesítése és a keverés költségei korlátozzák
Fakultatív iszaplagúna	Kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás		+	+	A kezdeti ülepedéshez igényelt idő a rövid vagy hosszú időtartamú tározást korlátozhatja. Az iszapeltávolító berendezések a rövid időtartamú tározást nagyon költségessé teszik. Szagmentes üzemeltetés feltétele az anaerob rothasztású iszap. Szervesanyag-terhelés visszaszorítandó és felszíni mozgatás biztosítandó. A szagemisszió mérséklése szükséges, ha a terület 12–16 ha-nál nagyobb

78. tábl. folyt.

Tározás típusa	Módja	Tartózkodási idő			Megjegyzések
		kiegyenlítő (3–4 nap, vagy annál rövidebb)	rövid idejű (3–4 hét, vagy annál rövidebb)	hosszú idejű (>1 hónapnál)	
Anaerob folyékony iszaplagúna	Kétfázisú (iszapszint-változásos) tározás		+	+	A kezdeti ülepedéshez igényelt idő a rövid vagy hosszú időtartamú tározást korlátozhatja. Az iszapeltávolító berendezések a rövid időtartamú tározást nagyon költségessé teszik. Szagminimalizálás anaerob rothasztású iszapot igényel. Rendszerint szervesanyag-terhelés korlátozása nélkül üzemeltethető. Felszíni mozgatás nem szükséges. A szagveszély valószínűsége nagy
Levegőztetett tározás	Egyfázisú (koncentrációváltozásos), kétfázisú (iszapszint-változásos) és térfogatváltozásos tározás	+	+		A nagy energiaigény a tartózkodási időt rendszerint korlátozza
A berendezések elsősorban a víztelenített iszap tározását szolgálják					
Iszapvíztelenítő lagúna	Kétfázisú (iszapszint-változásos) és térfogatváltozásos tározás			+	A kezdeti ülepedés kétfázisú (iszaptérfogat-változásos) tározást jelent. A szilárd anyagok normálisan 1–2 hónapig nem távolíthatók el. Szagemisszió minimalizálása anaerob rothasztású iszapot igényel. Szagemisszió jelentkezhet, ha aerob stabilizálású felszíni rétegek anaerob úton kezdenek lebontódni, amikor újra nedvessé válnak

78. tábl. folyt.

Tározás típusa	Módja	Tartózkodási idő			Megjegyzések
		kiegyenlítő (3–4 nap, vagy annál rövidebb)	rövid idejű (3–4 hét, vagy annál rövidebb)	hosszú idejű (>1 hónapnál)	
Zárt tartály	Térfogatváltozásos	+	+		A 15–30% szárazanyag-tartalmú, víztelenített iszap nagyobb szagproblémát eredményezhet, ha a tározási időtartam a 3–4 napot túllépi. A berendezések rendszerint túl drágák a hosszú idejű tározáshoz. Rövid idejű tározás sikeres lehet száraz (>30–40% szárazanyag-tartalmú), stabilizált iszapok esetében
Szabad felületű prizma	Térfogatváltozásos tározás	+	+	+	Stabilizált, száraz (nagyobb mint 30–40% szárazanyag-tartalmú) iszapot igényel. Nagyon nedves éghajlati viszonyok esetében rendszerint lefedés szükséges. Természetes víztelenítés lehetséges

Megjegyzések:

[1] A keverés miatt egyfázisú, emellett térfogatváltozásos, ha a rothasztó műtárgyban az iszapszint változik.

[2] Az egyfázisú tározást az iszap keverése teszi lehetővé. A térfogatváltozás lehetősége a gáztérfogat változásából és/vagy mozgó tetőből eredően lehetséges.

A *141. ábra* szerinti *stabilizált, víztelenített iszap* tározásával kapcsolatos üzemeltetési tapasztalatok (Anderson, 1989):

1. A gépi (mechanikai) víztelenítésű iszapot hosszabb ideig nagyon nehéz tározni. A sikeres tározás időtartama 3–5 nap.
2. A mész és/vagy ferriklorid kondicionálószer esetében a gépi víztelenítésű iszapok hosszabb ideig tározhatók, mint a polimerrel kondicionált iszapok.
3. Az iszapvíztelenítő ágyakról származó iszap vagy a víztelenítő lagúnákból származó iszap fedetlen prizmákban gyakran hosszú ideig tározható.

A *141. ábra* szerinti *stabilizált, folyékony iszap* tározásával kapcsolatos üzemeltetési tapasztalatok:

A hosszú idejű – kb. 5 évi – tározás a fakultatív iszaplagúnában rögtön a rothasztás után ajánlott, a következő okokból:

a) a szennyvíztisztító rendszerből származó napi iszaptermelés a végső elhelyezéstől (ami lehet időszakos, szórványos, mennyiségileg nagyon változó vagy a változó előírások szerinti) elkülöníthető,
b) az illékony szilárd anyagok további lényeges stabilizálása érhető el,
c) a teljes iszaptérfogat párolgás általi maximális csökkentése biztosítható,
d) 6–12%-nyi szárazanyag-tartalom érhető el.

5.4. ISZAPSZÁLLÍTÁS

a) A *stabilizált, vízteleníteti* iszapot szállító járművek számát kell először meghatározni.

A szállítást minden esetben *forgalomszervezésnek* kell megelőzni (Juhász, 1994), ami a következőkre kell hogy kiterjedjen:

– útvonalterv,
– fordulóidő, amely
  – az útvonal hosszától,
  – a közbenső burkolat minőségétől,
  – az iszapot szállító jármű sebességétől,
  – esetleges korlátozásoktól (sorompó, lámpák stb.),
  – töltés, ürítés, mosatás időtartamától függ,
– a szállítandó iszap mennyiségétől is függően
  – az optimális gépkocsi-kapacitás is megválasztandó.

A munkaerő kihasználása érdekében a fordulóidők összegének meg kell egyezni a műszak idejével; 1 műszakra nem szabad 2 és fél fordulót tervezni, mert a gépkocsivezető a 3. forduló alatt már valószínűleg gépkocsit javít, adminisztrál stb. *Minél pontosabb a forgalomszervezési terv, annál kisebb az „átmeneti" tározási igény.*

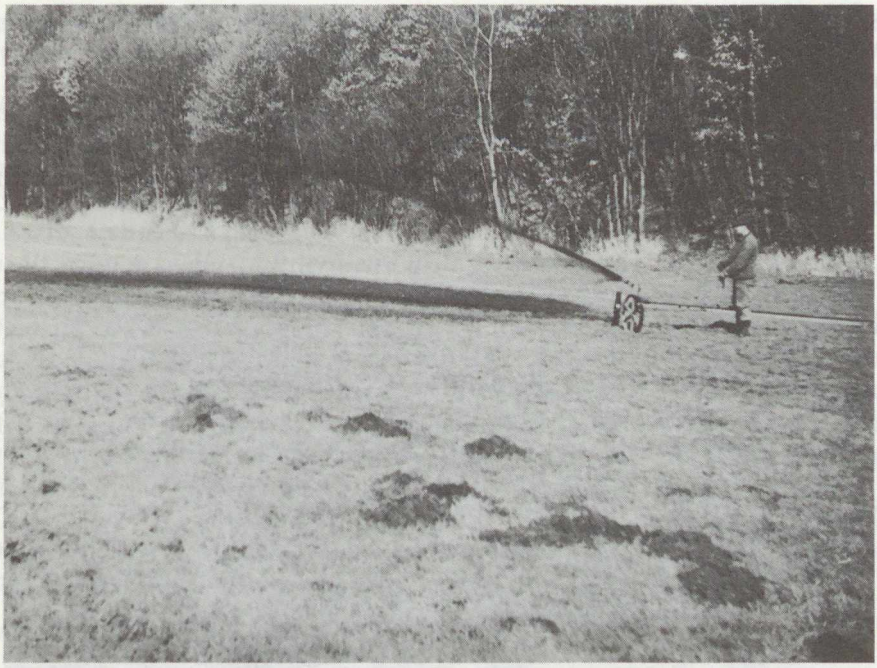
A tározásnál az esetleges üzemzavart is be kell tervezni.

Ha a jármű üzemideje a víztelenítő berendezés üzemidejénél kisebb, *tározás szükséges.*

Az iszaplepény feltöltésbe helyezése szombaton, vasárnap vagy ünnepnapon nem kívánatos. Ha az elhelyezés lehetősége a szennyvíztisztító telep körzetében adott, az iszap oda bármikor elhelyezhető.

b) A *stabilizált, folyékony* iszapot rendszerint csővezetékben célszerű szállítani *(145. ábra).* Ez különösen a nagy terhelésű elhelyezőterületek esetében megfelelő megoldás. Arra azonban gondolni kell, hogy az iszapkoncentráció növelésével egyidejűleg a súrlódási veszteség nő.

A szárazanyag-tartalom ma már 10–25% is lehet 1,5–2,0 km szállítási távolságig. Az optimális szárazanyag-tartalom megválasztása a szállítási távolság és a



145. ábra. Stabilizált, folyékony iszap szállítása és elosztása füves területen

szivattyútípus, ill. szivattyúkapacitás függvénye. További fontos befolyásoló tényező az iszap stabilizálási mértéke. Nyers iszapot csővezetékben nagyon nehéz szállítani (ragad, gázkiválás stb.). Az iszapszállító csővezetéket a szállítás befejezésekor minden esetben át kell mosatni, mert a csővezetékben maradó iszap *újbóli mozgatása 4–5-szörös indító energiafelvétellel jár együtt* (Juhász, 1990).

A szállító járművek űrtartalmának növekedésével a *fajlagos költségek* csökkennek (Juhász, 1990):

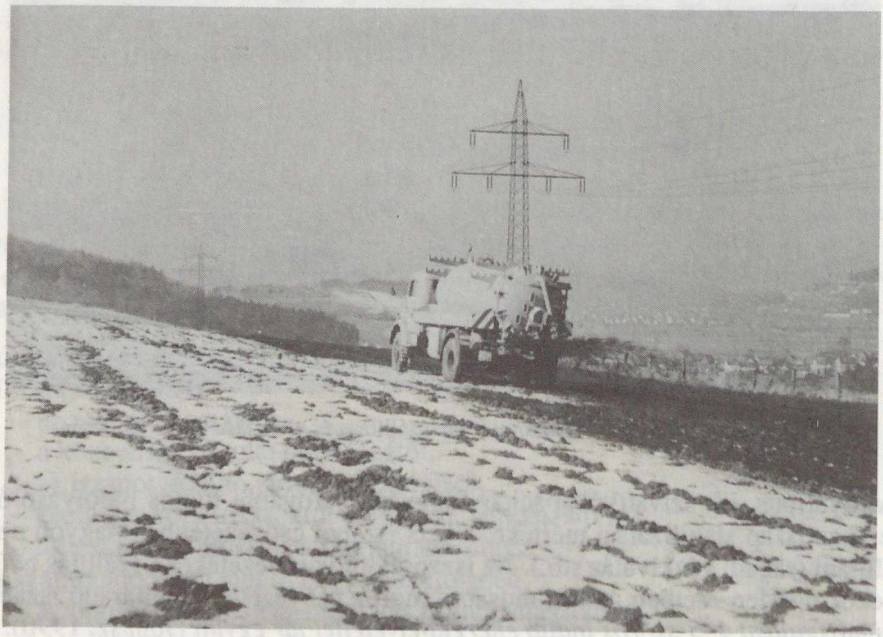
A szállító jármű		Költségarány, %
típusa	hasznos térfogata, m^3	
Praha (100%-nak tekintve)	3,5	100
IFA	4,5	89
Kamaz	8,0	81
Tatra-Kamaz	10,0	80
Budamobil-Kamaz	11,7	57

A költségcsökkenés mintegy 15–18 m^3 térfogatérték felett azonban már kevésbé jelentős. E méret felett a járművek már kevésbé mozgékonyak, a viszonylag megnövekedett tengelynyomás miatt a szükséges szilárd burkolat nem minden esetben

biztosítható. Mindezek arra utalnak, hogy az iszap szállítására felhasználható járművek fajlagos költségeinek optimuma, hazai környezetben, kb. 15–16 m^3-es űrtartalom körül van.

A szállítást mindig az üzemeltetőnek kell megtervezni a változó lerakóhely miatt.

A mezőgazdasági hasznosítás esetében az iszapot legcélszerűbb járműben szállítani. Ez esetben nagy előny az elhelyezési (hasznosítási) helyek rugalmas megválaszthatósága *(146. ábra)*.



146. ábra. Települési szennyvíziszap szállítása és elosztása mezőgazdasági területre

5.5. AZ ISZAPOK KIVÁLASZTOTT TERÜLETEN VALÓ ELHELYEZÉSE

Ennek az elhelyezési módnak általános jellemzői a következők:

1. Elsődleges cél a hosszú idejű iszapelhelyezési lehetőség. Ezen a *kiválasztott helyen* minden más tevékenység, mint például a mezőgazdasági növénytermesztés, talajjavítás csak másodlagos cél az iszapelhelyezéshez képest.
2. Ennek megfelelően az iszapterhelés mértéke a mezőgazdasági, erdészeti hasznosításkor alkalmazható mértéknél lényegesen nagyobb.
3. A terület tervezése, üzemeltetése és ellenőrzése jóval körültekintőbb kell legyen, mint más célú területek felhasználásánál.
4. A tervezés és üzemeltetés során az iszap környezetvédelmi szempontból káros komponensei területről való kizárására kell törekedni. A felszíni lefolyást, a

talajvíz-szennyeződést és a learatott növényzetet (ha van ilyen) az esetleges káros hatások szempontjából ellenőrizni kell.

A kiválasztott területről származó lefolyást tározómedencébe össze kell gyűjteni, ahonnan az a nyári időszakban elpárologtatható, vagy a szennyvíztisztító telep elejére vissza kell recirkuláltatni.

5. A területre juttatott iszapot előzőleg stabilizálni kell avégett, hogy a szagemisszió, a vírus és a patogén szervezetek átvitele minimalizálható legyen. *A stabilizált iszap a kiválasztott területre akár folyékony, akár vízteleníttett formában adagolható.*

6. *A folyékony iszap* a területen szétszórható vagy a talajfelszín alá injektálható. Ez utóbbi elhelyezési mód gyakran célszerűbb, mert így a szag- és felszíni lefolyásproblémák minimalizálhatók. A felszíni szétszórás vagy az elárasztás (talajfelszín alá szántás nélkül) olcsóbb, mint a felszín alatti injektálás. Az elhelyezés lehetséges problémái: szaghatások, az iszap egyenlőtlen elosztása, a talajfelszín eltömődése, nehéz járművek közlekedése a területen.

7. *A vízteleníttett iszap feltöltésbe helyezésekor* a szilárd anyagokat a kiválasztott területre vagy árkokba helyezik és talajjal fedik le. A talajtakarás vastagsága a szántási zóna mélységénél (20–25 cm) nagyobb kell legyen.

Az iszap feltöltésbe helyezésére három módszer ismert:

– az iszap árokba helyezése,
– az iszap eredeti talajfelszínre helyezése,
– az iszap és szemét együttes elhelyezése.

7.1. *Sekély árok.* Az árok mélysége 1,2 m. Az árok kb. 0,6 m-nyi alsó részének feltöltését követően, az árok a terepszintig földdel feltöltendő. Tetemes területre van szükség. A kis szennyvíztisztító telepek árkok helyett gödröket is alkalmazhatnak.

7.2. *Mély árok.* Az árok mélysége 6 m. A legalsó 0,6 m iszapréteget 0,3 m vastag földdel kell letakarni, majd újabb iszaprétegek, ill. földtakarások következnek. Legfelülre 1,5 m vastag talajréteg kerül, aminek felszíne füvesítendő. Átlagosan 50 t (száraz)/d iszaplepény-termelődés esetében 8 ha/a földterület szükséges.

Az árkokat szélességük szerint is osztályozzák.

A keskeny árok (barázdateknős árok) szélessége 3 m-nél kisebb. Ebbe a viszonylag kis szárazanyag-tartalmú (3–28%) iszapok helyezhetők el. Az elhelyezhető iszapmennyiség 2200–10 600 m^3/ha.

A *széles árok* szélessége 3 m-nél nagyobb. Az ilyen árokba a ≥20% szárazanyag-tartalmú iszapok helyezhetők el. Az elhelyezhető mennyiség 6050–27 400 m^3/ha. A földdel lefedett iszap csak akkor képes járművek súlyát elviselni, ha az iszap szárazanyag-tartalma 25–30% feletti, és az iszapot 1–2 m-nyi talajréteg fedi. Az iszapelhelyezési tapasztalatok szerint a széles árkok előnyei: kevesebb a területigény és a talajvízszennyezés ellen szigetelni lehet. Hátrányok: az iszap szárazanyag-tartalma 20% feletti kell legyen; viszont a 30–35% szárazanyag-tartalom feletti iszapok az árokban nem folynak, ezért az árokban egyenletes eloszlatásukról külön kell gondoskodni.

A víztelenített iszap árokba helyezésekor

- az iszap szerves anyagának stabilizálódása,
- az iszapvíz eltávolítása és így
- az iszaptérfogat csökkenése

lassabban következik be.

Az iszapelhelyezésre igénybe vett kiválasztott terület az árkos elhelyezés után számos célra alkalmatlan, mert a talajfelszín teherbíró képessége sok esetben elégtelen. Az árkos terület a 20. év végén nem használható újabb árkos iszapelhelyezésre, hanem új területre van szükség. A 20. év végén az árkos terület szintjét lehetséges, hogy 1,5–2,0 m magassággal növelni kell.

A víztelenített iszap árkos elhelyezése nagyon nehéz, néha lehetetlen szélsőségesen csapadékos időszakban.

7.3. *Az iszap talajfelszínre helyezésekor* az iszapot 1:1 arányban földdel keverik vagy rétegszerűen helyezik el a talajrétegekkel. A keverés célja, hogy a talaj, mint adalékanyag (bulking agent), a szilárdanyag-tartalmat növelje. Ez a megoldás azonban egyes esetekben gazdasági problémákat vet fel. Az eredeti talajt rendszerint bizonyos mértékig lekaparják, ezáltal a keveréshez földanyaghoz jutnak, vagy a keveréshez a talajt a helyszínre szállítják. Kis mélységű talajvizek létezésekor a feltöltést szigetelik. Ez esetben az iszap stabilizált volta követelmény, mert az iszap napi letakarása rendszerint nem lehetséges.

7.4. *Dombszerű feltöltés* létesítése általában a stabilizált, ≥20% szárazanyag-tartalmú iszapok esetében lehetséges. Az iszapot a talajjal előzőleg össze kell keverni. A keverék 2 m magas dombokba helyezendő, amit 1–1,5 m vastag talajréteggel kell lefedni.

7.5. *A rétegezett feltöltéshez* stabilizált, kb. 15% szárazanyag-tartalmú iszap megfelelő. Az iszapot talajjal kell keverni, majd a keverék kb. 0,3 m vastag rétegekben helyezendő el. A feltöltés tetejére 1–1,5 m vastag talajborítás kerül. Az ilyen feltöltéshez a sík talajfelszín léte előnyös, de enyhén lejtős talajfelszín is alkalmas.

7.6. *Iszap–szemét keverék feltöltésbe helyezésekor* stabilizált vagy stabilizálatlan, ≥3% szárazanyag-tartalmú iszapot szeméttel keverik össze. Az iszap/szemét keverék iszaptartalma normálisan kb. 10%. Az iszapot a készülő feltöltés szemétrétegének felszínére adagolják, majd keverik, tömörítik, végül talajjal borítják le. Az ideiglenes fedőréteg 0,3 m, a végső fedőréteg 0,6 m vastag. Az iszapterhelés 950–7900 m^3/ha tartományban jelentkezik.

7.7. *Gátak közötti feltöltés.* ≥20% szárazanyag-tartalmú stabilizált vagy stabilizálatlan iszap elhelyezésére alkalmas. Töltőanyaggal (pl. föld) rendszerint nem keverik össze. Ha a terület sík, a feltöltést minden oldalon gát határolja. Ha a lejtős terület lábánál helyezkedik el, csak részleges körülgátolás szükséges. A végső földtakarás 1,0–1,5 m. A gátak közötti feltöltés hatékony iszapelhelyezési mód a terület hasznosítása szempontjából.

5.6. AZ ISZAPOK FELTÖLTÉSBE HELYEZÉSE

5.6.1. A FELTÖLTÉSBE HELYEZÉS ALKALMASSÁGA

A különböző eredetű és állapotú iszapok feltöltésbe helyezéséhez az alkalmassági kritériumokat ismerni kell (*79. táblázat;* EPA, 1979).

79. táblázat. Az iszapok alkalmassága a feltöltésbe helyezésükhöz

Iszapfajta	Iszap		Iszap/szemét	
	feltöltésbe helyezése			
	alkalmasság	ok	alkalmasság	ok
Folyékony, stabilizálatlan				
Gravitációs sűrítésű előülepített; utóülepített és előülepített Utóülepített	–	Sz, Ü	–	Sz, Ü
Flotációs sűrítésű előülepített és utóülepített; utóülepített vegyszeradagolás nélkül	–	Sz, Ü	–	Sz, Ü
Flotációs sűrítésű utóülepített, vegyszerrel kezelve	–	Sz	–	Sz, Ü
Termikus kondicionálású előülepített vagy utóülepített	–	Sz, Ü	+	Sz, Ü
Folyékony, stabilizált				
Sűrített, anaerob rothasztású előülepített; előülepített és utóülepített	–	Ü	+	Ü
Sűrített, aerob rothasztású előülepített és utóülepített	–	Ü	+	Ü
Sűrített meszes kezelésű előülepített és utóülepített	–	Ü	+	Ü
Víztelenített, stabilizálatlan				
Vákuumvíztelenítésű; meszes kezelésű előülepített	++		++	
Víztelenített, stabilizált				
Rothasztott, iszapágyon víztelenített; mésszel stabilizált	++		++	
Vákuumvíztelenítésű; mésszel kondicionált, rothasztott	++		++	
Szűrőpréssel víztelenített, mésszel kondicionált, rothasztott	++		++	
Centrifugával víztelenített, rothasztott és mésszel stabilizált, rothasztott	++		++	
Termikusan szárított				
Termikusan szárított, rothasztott	++		++	
Magas hőmérsékletű folyamatokból eredő				
Égetett víztelenített előülepített; előülepített és utóülepített	++		++	
Nedveslevegő-oxidációs előülepített; előülepített és utóülepített	–	Sz, Ü	+	Sz, Ü

Megjegyzések: –: nem megfelelő; +: mérsékelten felel meg; ++: megfelelő;
Sz: szagproblémák; Ü: üzemeltetési problémák.

5.6.2. A FELTÖLTÉSI MÓDOK MEGVÁLASZTÁSA

Az alternatív feltöltési helyek jellemzői, a feltöltésbe kerülő iszapok tulajdonságai és a feltöltési módok közötti kapcsolatok az eddigi üzemeltetési, létesítési tapasztalatok alapján tekinthetők át (EPA, 1979).

80. táblázat. Feltöltési módok, iszaptulajdonságok és a hely viszonyainak kapcsolata

Feltöltési mód	Iszap száraz-anyag-tartalma, %	Iszap fő tulajdonsága	A hely fő hidro-geológiai jellemzői	Talajfelszín lejtése
Keskeny árok	15–28	Stabilizált vagy stabilizálatlan	Mély talajvíz és alapkőzet	<20%
Széles árok	≥20	Stabilizált vagy stabilizálatlan	Mély talajvíz és alapkőzet	<10%
Dombszerű feltöltés	≥20	Stabilizált	Kis mélységű talajvíz vagy alapkőzet	Meredekebb felületen is létesíthető, ha a felület előkészített
Rétegezett feltöltés	≥15	Stabilizált vagy stabilizálatlan	Kis mélységű talajvíz vagy alapkőzet	Közepes lejtőkön is létesíthető, ha a felület előkészített
Gátak közötti feltöltés	≥20	Stabilizált	Kis mélységű talajvíz vagy alapkőzet	Meredekebb felületen is létesíthető, ha a gátak által bezárt felület előkészített
Iszap/szemét keverék	≥3	Stabilizált vagy stabilizálatlan	Mély vagy kis mélységű talajvíz vagy alapkőzet	<30%
Iszap/talaj keverék	≥20	Stabilizált vagy stabilizálatlan	Mély vagy kis mélységű talajvíz vagy alapkőzet	<5%

5.6.2.1. CSURGALÉKVÍZ ELLENŐRZÉSE

A feltöltésekből elszivárgó csurgalékvíz (leachate) szabályozásáról és tisztításáról gondoskodni kell. A lehetséges vízszennyezési és/vagy lehetséges közegészségügyi problémák ily módon küszöbölhetők ki.

A csurgalékvíz szabályozására többféle módszer ismert:

– drénezés,
– természetes hígítás,
– talaj- vagy fóliaszigetelés,
– gyűjtés és tisztítás.

(Az iszapszállító tartálykocsik a csurgalékvizet *visszaúton* a szennyvíztisztító telepre szállíthatják tisztítás céljából. Csővezeték esetében – ha van elég – szivattyúval *visszamosatásra* alkalmazható, majd a telepen tisztítható.)

Példaként a csak iszapfeltöltésből származó csurgalékvíz (sludge only leachate) jellemző minősége, a lehetséges koncentráció-nagyságrendek, egy helyről származó mintavételek alapján a következő komponensekből ítélhető meg (EPA, 1979):

pH	6,7
TOC	1000 mg/l
KOI	5100 mg/l
Ammónia-nitrogén	198 mg/l
Nitrát-nitrogén	0,28 mg/l
Klorid	6,7 mg/l
Szulfát	10 mg/l
Fajlagos vezetőképesség	3600 µS/cm
Kadmium	0,017 mg/l
Króm	1,1 mg/l
Réz	1,3 mg/l
Vas	170 mg/l
Higany	0,0004 mg/l
Nikkel	0,31 mg/l
Ólom	0,60 mg/l
Cink	5,0 mg/l

Ezen példához stabilizálatlan, előülepített és utóülepített gravitációs sűrítésű, centrifugával víztelenített iszap tartozik, amely 2 éven át volt már az iszaplagúnában, és kiszáradás után talajjal volt fedve. Talajjellemzők: homok és kavics, glaciális üledékek.

5.6.2.2. ÜZEMELTETÉSI SZEMPONTOK

A feltöltések „folyamatos építési helynek" tekintendők. A hagyományos építkezésektől eltérően *az iszapfeltöltés üzemeltetési paraméterei gyakran változnak.* Ilyenkor a feltöltés létesítési és üzemeltetési feltételeit, ill. menetét módosítani szükséges. Ezt a helyzetet az üzemeltetési teendők jól érzékeltetik:

1. üzemeltetés órái,
2. szállítás, iszaplerakás folyamatai,
3. speciális szennyező anyagok kezelése,
4. feltöltés lefedéséhez szükséges föld gyűjtése, halomba rakása,
5. zord időjárás időszakában végzendő üzemeltetés,
6. környezetvédelmi megfigyelések és szabályozási teendők,
7. fenntartási teendők és programjaik,
8. a terület lezárása,
9. a terület végső használata.

5.7. AZ ISZAP MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSA

Az iszap mezőgazdasági hasznosításának fő céljai:

– a növényi tápanyagigény (N és P) biztosítása,
– a talaj művelési tulajdonságainak javítása azáltal, hogy humuszszerű anyagokat juttatunk a talajba anélkül, hogy
a) a növénytermesztést,
b) a talajt és
c) a talajvizet

károsodás érné.

5.7.1. AZ ISZAP MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSÁNAK FŐ KRITÉRIUMAI

1. Az iszapelhelyezés helye és a lakott települések, üdülőhelyek, tavak, folyók, patakok, víztermelő kutak, közutak között bizonyos *minimális távolság* legyen. A lakóterületektől mért legkisebb távolságot (védőtávolságot) jogszabályok írják elő, melyek országonként eltérők lehetnek. Magyarországon a felszínen történő iszapelhelyezés esetében a minimális távolság ≥1000 m. E tekintetben a helyzet azonban a folyékony és a vízteleníttett iszap esetében eltérő. A veszélyt a folyékony iszap (és szennyvíz) felszíni lefolyása okozza. Ha a folyékony iszap rögtön a talajba kerül, akkor a távolság kisebb lehet. A szükséges távolság a talajba helyezett folyékony iszap és a vízteleníttett iszap esetében általában azonosnak vehető. A távolság a terület nagyon kis iszapterhelésekor csökkenthető.

2. Az iszap megfelelő elhelyezési módjának (felszíni vagy talajba helyezés) megválasztásával a lefolyás-, ill. az eróziós viszonyok szabályozhatók. *Mértékadó időszak a csapadékos időszak.* Az 5%-os szárazanyag-tartalmú folyékony iszap fajlagos elhelyezési mértéke 100–400 m^3/ha-ra tehető, ami *az évi csapadéknál lényegesen kisebb.*

3. Általánosan (de nem kizárólagosan) a felszín alatt 1 m mélységben lévő *talajvízszint* tekinthető elfogadhatónak. Minél nagyobb eme talajvízszint feletti kedvező fizikai adottságokkal rendelkező talajréteg vastagsága, az iszap szennyező anyagai (különösen a NO_3^-) annál kevésbé jutnak le a talajvíztérbe. Ezen szabályozás megfelelő műszaki drénezéssel is befolyásolható.

4. A *talajvíz szennyeződését* elsősorban a nitrát-nitrogén okozza. Az iszap mezőgazdasági területre való elhelyezését követően az iszapban lévő, vagy az iszap szerves nitrogénjének lebontódásakor keletkező ammónium nitrifikációja révén nitrát képződik. A nitrát vízben oldódó anion lévén, a talajnedvességgel együtt a talajtérben könnyen mozog lefelé. A nitrát talajvízbe vándorlása akkor jelentkezik, ha *fölös mennyiségű nitrogén jut a talajba* műtrágya, állati trágya, települési szennyvíziszap vagy egyéb anyagok mezőgazdasági hasznosításakor. *A nitrit általi talajvíz-szennyeződés akkor minimalizálható, ha az iszap területre juttatásának mértéke és időpontja a növényzet N-igényével összhangban van.*

A fémek, foszfor és különböző szerves anyagok lefelé migrálásától mezőgazdasági területen, az adott iszapterhelés mellett, azért nem kell tartani, mert ezen

iszapkomponensek a talajokban viszonylag immobilok: az iszappal a területre juttatott fémek, patogén szervezetek, foszfor és szerves anyagok a talaj legfelső 15–30 cm rétegvastagságában maradnak.

5. A talaj-pH 6,5 vagy a feletti állapotát kell biztosítani, miáltal

– a fémek talajbeli vándorlása tovább csökkenthető és
– a növények fémfelvétele minimalizálható.

Ha a pH 6,5 alatti, akkor a talaj meszes kezelése szükséges. A talaj pH-értékét azonban a szervetlen és szerves kolloidok pufferolják. Ezért a pH a mész adagolása után rögtön nem nő, de nem is csökken azonnal az iszap vagy a műtrágya adagolása után.

6. *A Pb, Zn, Cu, Ni és Cd összes* (akkumulatív) *mennyiségének határértékét* ismerni kell, amivel a mezőgazdasági terület évenként terhelhető, mert *a talaj kationcserélő kapacitása* a növényzet fémfelvételének minimalizálásával áll kapcsolatban. *A talaj kationcserélő kapacitása* (soil cation exchange capacity, CEC) az agyagásványok és a szerves anyag nettó negatív töltését fejezi ki.

7. Az iszap patogéntartalma az iszapkezelési folyamatokkal (anaerob rothasztás, aerob rothasztás, termikus kezelés, lagúnákban való hosszú idejű tározás, víztelenítés iszapágyon, komposztkészítés és meszes [$Ca(OH_2)$] kezelés) jelentősen csökkenthető. *Minden mezőgazdasági területre kerülő iszap ilyen iszapkezelésen kell hogy átessen* (Federal Reguister, 1977), ha a növényi termék közvetlenül vagy közvetve emberi fogyasztásra kerül. *A stabilizált iszap* mezőgazdasági hasznosításakor súlyos megbetegedés nem ismert (Federal Reguister, 1979). Az iszap hasznosításakor a probléma gyökere a következőkben rejlik: általában a lakosság garanciát óhajt kapni, hogy az iszap hasznosítása miatt élelmiszereibe és ivóvizébe káros mennyiségű baktérium vagy vírus nem kerül. Ilyen *garancia* azonban a jelenleg alkalmazott szennyvíztisztítási, ill. iszapkezelési módszerek egyike esetében *sem adható.*

8. A *kadmium*ra (Cd) mint fémre *nagy figyelmet kell fordítani.* A kadmium a vesében akkumulálódik, és a proteinuria krónikus betegséget (a protein nagymértékű kiválasztódása a vizeletben) okozza.

9. Általában a *Zn, Cu és Ni a növényekre toxikussá válik (fitotoxicitás), mielőtt a növényzet szövetében az emberre, állatra káros hatású koncentráció felgyülemlik.*

10. Az évek száma, ameddig az iszap a talajban elhelyezhető, a Cd mellett a Pb, Zn, Cu és Ni talajbeli felhalmozódása és a növényzet tűrőképessége alapján határozható meg. Erre vonatkozó ajánlások a *81. táblázat*ban adottak (U.S. EPA, 1977). A felsorolt vegyületek halmozódása eleve korlátozott, mert, amint a 9. pontból kitűnik, a növényzetre ható toxicitás *utal a felhalmozódás megengedhető mértékére.* Amint a *81. táblázat*ból is kitűnik, a felhalmozódó határértéket a talaj kationcserélő kapacitása és a talaj pH-értéke is alapvetően befolyásolja.

81. táblázat. Ajánlott felhalmozódási határértékek fémekre mezőgazdasági területen

(A talaj pH-ja 6,5 vagy annál nagyobb)

Fém	A talaj kationcserélő kapacitása, meq/100 g		
	<5	5–15	>15
	kg/ha		
Pb	560	1120	2240
Zn	280	560	1120
Cu	140	280	560
Ni	140	280	560
Cd	5	10	20

11. Az iszap hasznosítható mennyiségét egyéb körülmények (pl. az öntözővíz minősége, a benne lévő oldott sók, Mo, B) is befolyásolhatja.

12. Az iszapban lévő *egyéb nyomelemek (pl. Hg, Cr, As, Se) az iszapalkalmazhatóság kritériumában kisebb súllyal szerepelnek, mert a növények csak minimális mennyiségüket veszik fel* (Elliott et al., 1977; EPA, 1979), *másrészt koncentrációjuk a legtöbb iszapban viszonylag kicsi.*

13. Az iszap (ill. a tisztított szennyvíz) hasznosítása szempontjából abnormális koncentrációjú specifikus kémiai szennyező anyagokat a keletkezési helyükön, *a csatornahálózatba való bevezetésük előtt* szükséges eliminálni.

5.7.2. ISZAPELHELYEZÉS MÉRTÉKE MEZŐGAZDASÁGI TERÜLETEN

Az iszaphasznosítás mértékét szabályozó fő tényező a növényzet nitrogénigénye lehet (Anderson, 1989). A mezőgazdasági terület hosszú idejű évi kadmiumterhelési kritériuma (0,5 kg Cd/ha · a), ha az iszap kadmiumkoncentrációja 18 mg Cd/kg száraz anyag, 28 000 kg iszap/ha · a terhelést tesz lehetővé.

A következő *példa* a növényi nitrogénigények és -veszteségek azon esetére vonatkozik, amikor az iszapelhelyezés mértéke 7400 kg/ha · a (száraz anyag):

1. A víztelenített iszap száraz anyagra vonatkozó nitrogéntartalma 6%.
2. Évadonként egyszeri iszapelhelyezés a növénytermesztés előtt vagy között.
3. A mineralizált nitrogén 25%-a az ammóniaeltávozás (volatilization) és a denitrifikáció (nitrogéngáz-elillanás) révén az atmoszférába jut. Ez a veszteség az iszap talajba kerülése után jelentkezik.
4. A növényzet nitrogénigénye általánosságban 255 kg N/ha · a-re tehető.
5. A nitrogénmineralizáció mértéke, a feltételezések szerint, a mineralizálatlan nitrogénhányad évi százaléka, ami a példában 67%-ra tehető. A nitrogént a növényzetnek kell felvenni.

5.7.3. ÜZEMELTETÉSI HIBÁK SZENNYVIZEK ÉS SZENNYVÍZISZAPOK MEZŐGAZDASÁGI ELHELYEZÉSE/HASZNOSÍTÁSA SORÁN

A szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezése, ill. hasznosítása közben előforduló üzemeltetési hibák, ill. problémák alapvetően a rendszerbe illeszkedő és nélkülözhetetlen gépek, berendezések, műtárgyak meghibásodásával, működési zavaraival függenek össze (Vermes, 1994). Hangsúlyozni kell, hogy a szakszerűen, az előírások betartásával és a helyi körülmények gondos mérlegelésével tervezett, a szakmai követelmények figyelembevételével méretezett elhelyező és hasznosító telepek csak akkor kerülhetnek az üzemeltetés idején kritikus helyzetbe, ha a tervezés során kialakított üzemrendjüket az üzemeltető nem tartja be, ill. azt durván megsérti, megváltoztatja. Ilyen durva *üzemeltetői hiba lehet* pl.

– a tervezettnél kisebb terület berendezése, ill. felhasználása a keletkező szennyvíz, ill. szennyvíziszap elhelyezésére,
– a tervezett és berendezett terület csupán egy részének felhasználása az elhelyezésre,
– a tervezett és berendezett területen a szennyvíz, ill. szennyvíziszap rendszertelen, egyenlőtlen elhelyezése,
– a tervezettnél nagyobb szennyvíz-, ill. iszapterhelések a berendezett területen,
– a tervezettől eltérő kiadagolási módszer alkalmazása.

A felsorolt hibák *felderítése* és a hibákból eredő károk *kiküszöbölése* gyakori hatósági (szakmai) ellenőrzéssel, valamint az előírt üzemelési rend pontos, következetes betartásával, ill. annak megkövetelésével lehetséges, de alapvetően a *megelőzésükre kell törekedni,* ami gondos és szakszerű üzemeltetéssel megvalósítható.

A szennyvíz-, ill. szennyvíziszap-tisztító, -elhelyező és -hasznosító rendszerekben alkalmazott *gépek, műszaki berendezések, ill. folyamatok leggyakoribb üzemeltetési hibáit,* valamint a felismerés és a megszüntetés módjait a *82. táblázat* foglalja össze.

82. táblázat. Üzemeltetési hibák szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezése/hasznosítása során
(Culp és Heim, 1978; Vermes, 1994)

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás(ok)
Általános üzemeltetési problémák			
1. Szag jelentkezik az iszaptározó lagúnából	1a Tökéletlenül rothasztott iszap	1a pH, lúgosság, illékony savak az anaerob rothasztású iszapból	1a (1) Megfelelő rothasztóüzem (2) Lagúna felszínére mész adagolandó (3) Lagúnát nagy klórkoncentrációjú vízzel kell elárasztani

82. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás(ok)
		1b Aerob rothasztású iszap illékony szuszpendált szilárdanyag- (VSS-) tartalma	1b (1) Megfelelő rothasztóüzem (2) Lagúnában időszakosan úszó levegőztetőket kell üzemeltetni
2. A növényzet hirtelen elhal vagy károsodása észlelhető	2a A talaj-pH csökkenése	2a A talaj-pH 6,5 felett tartandó	2a Meszet kell adagolni
	2b Túlzott mértékű nitrogénadagolás	2b Az adagolt nitrogént meg kell határozni	2b Nitrogénterhelés mértéke csökkentendő
	2c Túlzott nehézfémkoncentrációk	2c Az iszap és a növények nehézfémtartalma	2c Terhelés mértékének, vagy az iszap nehézfémtartalmának csökkentése a keletkezési helyen beiktatott előtisztítással
	2d Túlzott mértékű foszforadagolás, ami tápanyag-kiegyensúlyozatlanságot okoz	2d Foszfortartalom meghatározása	2d Foszforadagolás mértékének csökkentése
3. Az iszap felszíni lefolyása	3a Túlzott mértékű adagolás	3a Adagolás mértéke	3a Adagolás mértékének csökkentése
	3b A talaj csapadékkal telítődött	3b Talaj vízzel való telítettségének mértéke	3b Az iszapadagolást fel kell függeszteni, amíg a talaj kiszárad
4. Aeroszolok távoznak az iszapelhelyezés területéről	4a A szél szállítja el az aeroszolokat	4a Aeroszolszállítódás	4a Az iszap szétszórását a szeles időszakban fel kell függeszteni 4b A szórófej nyílásait nagyobbítani kell 4c A szórófejnyomást csökkenteni kell 4d Pufferterület növelendő
5. Az iszapszállító jármű a terület talajába ragad	5a Az az igény, hogy az iszapot csapadékos időszakban kell a területre szállítani	5a Iszapszállító jármű mozgóképessége	5a Hordozható „vízágyút" kell beszerezni, amivel az iszap 60–90 m átmérőjű területre szórható ki

82. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás(ok)
6. Szúnyogok tenyésznek a területen	6a Iszaptócsásodás	6a Pangó iszaptócsák	6a A terület felszínének elegyengetése a tócsásodás megakadályozása céljából 6b Adagolt iszapmennyiség csökkentése
7. Legyek tenyésznek és/vagy szag létezik a feltöltés környezetében	7a Feltöltés létesítése tökéletlen	7a A feltöltés földréteggel van-e letakarva minden nap végén?	7a A feltöltést minden nap végén legalább 15 cm vastag, tömörített talajjal le kell fedni
8. A feltöltésből származó kilúgozódás a talajt vagy a felszíni vizeket szennyezi	8a Túlzott mennyiségű folyadék került a feltöltésbe	8a Iszap nedvességtartalma, csapadékbeszivárgás mértéke és a kilúgozódott folyadék (leachate) minősége	8a Feltöltésből származó folyadék felfogása és tisztítása 8b A feltöltésbe kerülő iszapvízmennyiség csökkentése az iszapvíztelenítés hatékonyabbá tételével
9. Talajvíz nitráttal szennyeződik	9a Túlzott mértékű nitrogénadagolás	9a Nitrogénadagolás mennyisége és a növényzet nitrogénhasznosító képessége	9a Nitrogénadagolás mennyisége csökkentendő 9b A növényzetet nagyobb nitrogénfelvételű növényzettel kell felváltani
A folyékony szennyvíziszap injektálásos elhelyezése során előforduló hibák			
10. Az iszap talajba injektálásakor a fedőréteg tökéletlen	10a A szántás sebessége nagy, ami a talaj oldalra dobódását eredményezi	10a Szántás sebessége	10a A szántás sebessége 1,6 km/h vagy ennél kisebb legyen
11. A felszín alatti injektálás rendszerében a talaj-iszap száradása lassú	11a Az iszapinjektálás túl mély	11a Injektálás mélysége	11a Injektálás mélysége 10 cm vagy ennél kisebb legyen
12. Felszín alatti injektálórendszer eltömődik	12a Iszap szilárdanyag-tartalma nagy	12a Iszap szilárdanyag-tartalma	12a Iszapőrlőt kell szerezni

82. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás(ok)
13. Az injektálógép adagolóiból a folyékony iszap kiáramlása egyenetlen	13a Az adagoló(k) eldugult(ak) 13b Elégtelen nyomás	13a Az adagoló(k) vizsgálata 13b A nyomás vizsgálata	13a A dugulás megszüntetése 13b Az üzemi nyomás helyreállítása

A szennyvíz előtisztítása során előforduló üzemeltetési hibák

Lásd: a mechanikai, illetve a biológiai szennyvíztisztításnál előforduló üzemeltetési hibák

A szennyvíz átmeneti tárolása során előforduló üzemeltetési hibák

14. Tározó megtelt	14a A kiadagoló szivattyú(k) hibásak, nem működnek	14a A szivattyú(k) működésének kipróbálása kézi indítással	14a A tartalék szivattyú üzembe helyezése
	14b A szivattyú(k) automata kapcsolója hibás	14b Az automata kapcsoló vizsgálata	14b A szivattyú(k), ill. az automata kapcsoló javítása vagy cseréje
	14c A szivattyú(k) szívócsonkja eldugult	14c A szívócsonk vizsgálata	14c A szívócsonk tisztítása
	14d A szennyvíz a hasznosító területre nem adagolható ki	14d A hasznosító terület vizsgálata	14d A szennyvíz biztonsági elhelyező területre, vagy (ha van) szűrőmezőre irányítása

A szennyvíz kiadagolása során előforduló üzemeltetési hibák

15. A kiadagoló szivattyú(k) nem indul(nak)	15a Mint 14a, 14b és 14c	15a Mint 14a, 14b és 14c	15a Mint 14a, 14b és 14c
16. A nyomócső hidránsán nem jön szennyvíz	16a A hidráns tolózára rossz 16b A hidráns eldugult	16a A tolózár kipróbálása 16b A hidráns vizsgálata	16a A hidráns (tolózár) javítása, ill. cseréje 16b A dugulás megszüntetése
17. A nyomócső hidránsa állandóan csepeg, folyik	17a Mint 16a	17a Mint 16a	17a Mint 16a

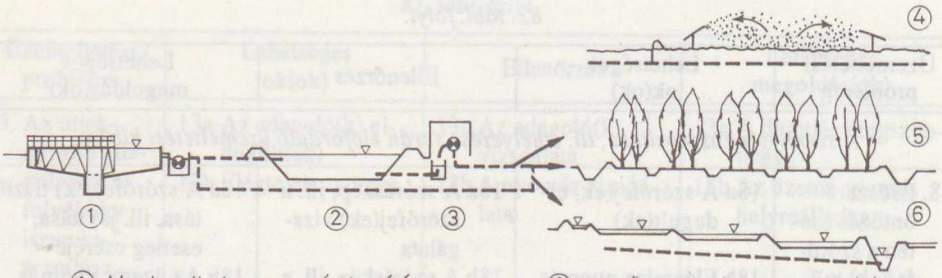
82. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás(ok)
A szennyvíz hasznosítása, ill. elhelyezése során előforduló üzemeltetési hibák			
18. Esőszerű öntözés esetén a szórófej(ek) működése gyenge	18a A szórófej(ek) eldugult(ak) 18b Elégtelen nyomás	18a A szóráskép, ill. a szórófej(ek) vizsgálata 18b A szóráskép, ill. a nyomás vizsgálata	18a A szórófej(ek) tisztítása, ill. javítása, esetleg cseréje 18b Az üzemi nyomás helyreállítása
19. Felületi öntözés esetén a víz az öntözőelem-(ek)en túlcsordul	19a Az adagolás hibás (túladagolás)	19a Az adagolási rend vizsgálata	19a Az előírt adagolási rend helyreállítása, betartása
A folyékony szennyvíziszap barázdás, mélybarázdás, barázdateknős elhelyezése során előforduló hibák			
Lásd: értelemszerűen a 14., 15., 16., 17. és 19. pontokat			
A víztelenített vagy komposztált szennyvíziszap mezőgazdasági elhelyezése során előforduló üzemeltetési hibák			
20. A kiadagoló trágyaszóró gépből az iszap terítése egyenetlen	20a Helytelen menetsebesség 20b A trágyaszóró gép adagolójának meghibásodása	20a A vontatási menetsebesség vizsgálata 20b Az adagoló vizsgálata	20a Az előírt sebesség betartása 20b Az adagolószerkezet javítása vagy cseréje

5.8. NYÁRFÁS SZENNYVÍZELHELYEZŐ RENDSZEREK ÜZEMELTETÉSI HIBÁI, OKAI, KIKÜSZÖBÖLÉSÜK LEHETSÉGES MÓDJAI

A szennyvíziszap-elhelyezés, -hasznosítás sokféle változata ismert. *Példaként* a hazai *nyárfás szennyvízelhelyező rendszereket* választjuk alapul (Csaba, 1994). A kecskeméti szennyvízelhelyező/hasznosító rendszer működési elve a *147. ábrán* adott (Vermes, 1980). A települési szennyvizet a szennyvíztisztító telepen rács, homokfogó és előülepítő tisztítja, tehát csak előtisztításról van szó. Az előülepített iszapot rothasztják, majd a talajban helyezik el. Az előtisztított szennyvíz csővezetékben a hasznosító, ill. elhelyező telep közelében lévő kiegyenlítő tározóba kerül, ahonnan

– szántóföldi öntözőtelepre vagy
– nyárfaültetvényre, vagy
– szűrőmezőre



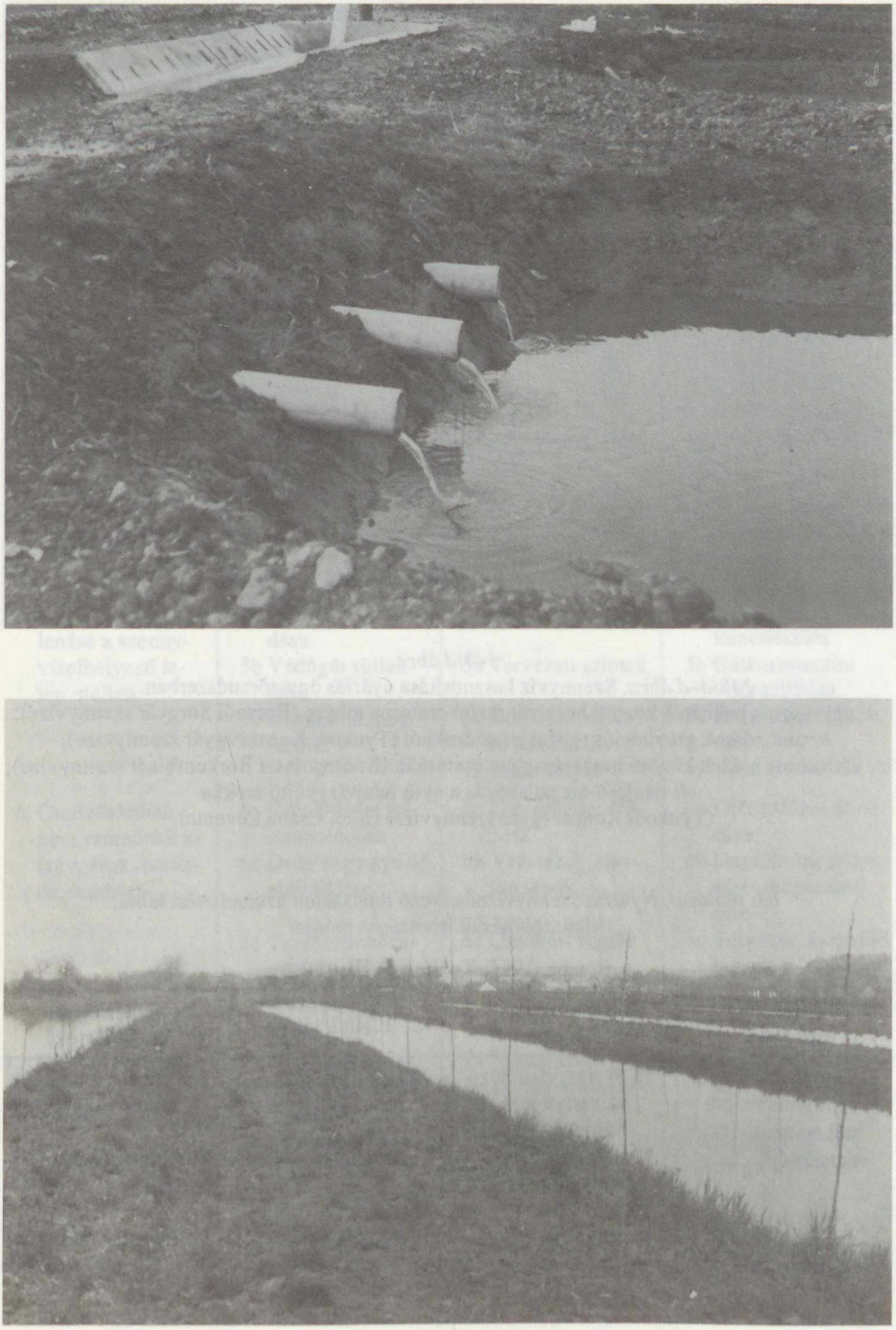
147. ábra. A kecskeméti szennyvízelhelyező/hasznosító nyárfás öntözőrendszer

adagolják. Ez esetben tehát az iszapprobléma egyszerűsödik, azt tulajdonképpen *az előtisztított szennyvíz elhelyezése, ill. hasznosítása foglalja magába.*

A szennyvíz elosztását, a bakhátas öntözött sávot a két fasorral, a nyílt talajvízgyűjtő árkot a *148/a–d ábra* szemlélteti.

A nyárfás szennyvízelhelyező rendszerek üzemeltetési hibáit, kiküszöbölésük lehetséges módjait a *83. táblázat* foglalja össze (Csaba, 1994).

148/a ábra



148/b–c ábra

148/d ábra

148/a–d ábra. Szennyvíz hasznosítása nyárfás öntözőrendszerben.
a: egyfasoros bakhátak közötti beszivárogtató csatorna töltése (Borsodi Sörgyár szennyvize);
b: öntözőárok gravitációs töltése osztóárokból (Tyukodi Konzervgyár szennyvize);
c: kétfasoros bakhát közötti beszivárogtató csatornák (Bodrogolaszi Borkombinát szennyvize);
d: talajcső-kicsatlakozás a nyílt talajvízgyűjtő árokba
(Tyukodi Konzervgyár szennyvize) (fotó: Csaba Levente)

83. táblázat. Nyárfás szennyvízelhelyező rendszerek üzemeltetési hibái, kiküszöbölésük lehetséges módjai

(Csaba, 1994; Kneifel, Nagy, 1994)

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás(ok)
1. Tározó szennyvíz szintje tervezettnél magasabbra emelkedik	1a Szennyvízöntöző szivattyú meghibásodott	1a Szivattyú működése	1a Szivattyú javítása, üzembe helyezése
	1b Szintjelző a szivattyúaknában nem jelez	1b Szintjelző állásai	1b Szintjelző beállítása
	1c Szivattyú és a tározó közötti vezeték eldugult	1c Szintek a tározóban és a szivatytyúaknában	1c Dugulás megszüntetése a vezetékben

83. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás(ok)
2. Szennyvíztovábbítás elégtelensége, talaj átnedvesedése a vezeték-nyomvonalon	2a Nyomócső törése	2a Nyomócső állapota	2a Hibás csövek cseréje
	2b Tolózár helytelen beállítása	2b Tolózár állása	2b Tolózár helyes beállítása
	2c Csőszerelvények meghibásodása	2c Csőszerelvények állapota	2c Hibás szerelvény javítása vagy cseréje
3. Szennyvízelhelyezés zavarai a nyárfás rendszerben	3a Mint 2a	3a Mint 2a	3a Mint 2a
	3b Mint 2b	3b Mint 2b	3b Mint 2b
	3c Kiömlőnyílás eldugulása	3c Kiömlőnyílások vízadagolása	3c Dugulás megszüntetése
4. Öntözőelemek, sávok, bakhátak, barázdák szennyvízbefogadásának elégtelensége	4a Öntöző földművek átszakadása	4a Földművek állapota	4a Földművek javítása
	4b Kívánt szintek megváltozása, talajroskadás	4b Földművek tervezett szintjei	4b Földművek feltöltése a tervezett szintre
5. Szennyvíz megjelenése a szennyvízelhelyező telep mellett	5a Védőgát átszakadása	5a Gátak állapota	5a Hiányok pótlása, tömedékelés
	5b Védőgát süllyedése	5b Tervezett szintek	5b Gátkoronaszint visszaállítása
	5c Üzemrend megsértése	5c Öntözési naptár és az aktuális üzemállapot	5c Üzemrend betartása
6. Öntözőelemek nem száradnak ki (sáv, árok, barázda, bakhát)	6a Drénhálózat feliszapolódása	6a Drénhálózat állapota	6a Drénhálózat átmosása
	6b Drén vagy gyűjtő eltömődése	6b Vezetékek, tisztítóaknák	6b Dugulás megkeresése, megszüntetése
	6c Tervezettnél nagyobb öntözési norma alkalmazása	6c Öntözési naptár	6c Tervezett üzemidő betartása
7. Elfolyó drénvíz gyors minőségromlása	7a Nyomócső-meghibásodás drén közelében	7a Nyomócső nyomvonalállapota	7a Hibás csövek cseréje
	7b Szennyvízminőség tervezettől eltérő gyors romlása	7b Szennyvízösszetétel	7b Szennyező ok megszüntetése
	7c Öntözőelemekben repedések, járatok	7c Öntözőelemek felszíne szikkadás után	7c Repedések, járatok tömedékelése

83. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás(ok)
8. Tisztítási hatásfok nem megfelelő	8a Nagy hidraulikus és/vagy szennyezőanyag-terhelés	8a Öntözésre kerülő szennyvíz mennyisége és minősége	8a Előtisztítás hatásfokának növelése 8b Szennyvízborítás csökkentése
9. A talajbeli átszűrődés nagymértékben csökken	9a Szivárogtatóárkok pórusai eltömődnek	9a Szivárogtatóárok vízszintje	9a Iszapeltávolítás a szivárogtató csatornákból
	9b Beszivárogtató felület elzsírosodott	9b Drénekből kifolyó víz csökkenése	9b Zsíranyagok eliminálása előtisztítással
10. A területen a talajvíz megemelkedik	10a Drénezés hiánya	10a A területen belüli és azon kívüli figyelőkutak vízszintje	10a A területet drénezni kell
	10b A megengedettnél nagyobb adagú öntözés	10b Öntözés mértéke	10b A szennyvízadagot csökkenteni kell
			10c Az öntözést szüneteltetni kell (pl. télen)
11. Gyors átszivárgás a talajon, tisztítás elégtelen mértékű	11a A talaj repedezett	11a Mint 9a	11a Kisebb szennyvízadaggal a teljes terület „nedvesen" tartása
	11b A talajban egyéb járatok vannak	11b A drénekből kifolyó víz mennyisége, minősége	11b Járatok megszüntetése
	11c A drén megsérült	11c Drén állapota	11c Drének kijavítása
12. A talajban a sófelhalmozódás nő	12a A talajvízszint ingadozása gyakori és nagymértékű	12a Elfolyó víz minősége	12a A talajvízszint stabilizálása (pl. drénezés)
	12b Aszályos időszak	12b Talajszelvény	12b Mint 11a
13. Az aktív talajréteg vastagsága lecsökken	13a A vízszint a lecsapoló hálózaton megemelkedik. A dréncsövek víz alá kerülnek	13a A lecsapolócsatornák vízszintje	13a Mint 10a
			13b A területről az elfolyó víz mennyiségét növelni kell (pl. szivattyúzással)
14. A vízborítás a területen nem egyenletes	14a A beszivárogtató árkokban akadály vagy feliszapolódás van	14a A beszivárogtató árkok vízszintje	14a A beszivárogtató árkokat ki kell tisztítani

83. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok(ok)	Ellenőrzés	Lehetséges megoldás(ok)
	14b Az átereszek eltömődnek	14b Átereszek üzeme	14b A lerakódást az átereszekből el kell távolítani
15. Az öntözést szüneteltetni kell	15a Tartósan –10 °C körüli, vagy annál alacsonyabb hőmérséklet	15a Hőmérséklet	15a A keletkező szennyvíz tározása
	15b A területre lehullott nagy intenzitású csapadék	15b Csapadékmennyiség	
16. Faállomány kifagyása	16a Tartós hidegben való öntözés	16a Faállomány állapota. Hőmérséklet	16a Mint 11a, 14a, 15a
	16b A beszivárogtató árkokban pangó víz marad	16b Beszivárogtató árok	16b A beszivárogtató árokbeli pangó víz eltávolítása

5.9. IRODALOM

Anderson, W. (1989): Land Disposal of Wastewater Solids. In: Kerri et al.(1989): *Advanced Waste Treatment.* EPA. (2nd ed.) Grant No. 900690010.

Budavári K. szerk. (1978): *Mezőgazdasági vízhasznosítás. I. Öntözés.* Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet és a Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat kiadványa. Budapest.

Council for Agricultural Science and Technology. Application of Sewage Sludge to Cropland: Appraisal of Potential Hazards of the Heavy Metals to Plants and Animals. EPA 430/9–76–13, Ames, Iowa, November.

Criteria for Classification of Solid Waste Disposal Facilities and Practices (40 CFR, Part 257). Federal Register, 44. September 13. 1979.

Culp, G. L., Heim, N. F. (1978): *Field Manual for Performance Evaluation and Troubleshooting at Municipal Wastewater Treatment Facilities.* EPA Contract No. 68–01–4418, January.

Csaba L. (1994): Írásos közlés.

Elliott, L. F., Stevenson, F. J., eds (1977): *Soils for Management of Organic Wastes and Wastewaters.* Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.

EPA (1979): *Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal.* EPA 625/1–79–011.

Escher Wyss Verfahrenstechnik. Sulzer Chemtech. Ravensburg.

Gerba, C. P. (1983): *Pathogens Presented at a Workshop on Utilization of Municipal Wastewater and Sludge on Land.* Denver, February.

Juhász E. (1990): A szennyvíziszap-elhelyezés visszahatása a tisztítótelepen belüli kezelésre. *Vízügyi Közlemények,* LXXII, évf., 1.

Kneifel F., Nagy J. (1994): Írásos közlés. (Gyulai Közüzemi Vállalat.)

Kollár Gy. (1994): Szóbeli közlés.

Kroiss, H. (Herausgeber, 1944): Eigenüberwachung von Abwasserreinigungsanlagen für den Gewässerschutz. *Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer.*

Liu, D. (1982): The effect of sewage sludge land disposal on the microbiological quality of groundwater. *Water Res.*, 16.

Loehr, R. C., Overcash, M. R. (1985): Land treatment of wastes: concepts and general design. *J. Environ. Eng.*, Vol. 111, No. 2, April.

Mészáros G. (1994): Írásbeli közlés.

Overcash, M. R., Pal, D. (1979): *Design of Land Treatment for Industrial Wastes, Theory and Practice.* Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Mich.

Ravasz T. (1986): *A szennyvíziszap mezőgazdasági elhelyezésének termőhelyi és agronómiai eredményei 5 kísérleti év folyamatában.* Gödöllő. Agrártudományi Egyetem.

Ravasz T. (1991): *Agronómiai üzemeltetési technológia a Sárvári Baromfifeldolgozó Vállalat biológiai eredetű vágóhídi zagy és folyékony hulladékainak mezőgazdasági hasznosításához.* Agrártudományi Egyetem, Gödöllő.

Reddy, K. R., Khaleel, R., Overcash, M. R. (1981): Behavior and transport of microbial pathogens and indicator organisms in soils treated with organic wastes. *J. Environ. Qual.*, 10.

Ryan, J. A., Pahren, H. (1976): Factors Affecting Plant Uptake of Heavy Metals from Land Application of Residuals. In: *Proc. of the National Conf. on Disposal of Residues on Land,* September, St. Luis.

Scheltinga, H. J. (1987): Sludge in agriculture: the Europen approach. *Wat. Sci. Techn.*, 19, 8.

Simon, M. (1987): *Wastewater Sludge Effects on Willows.* Experimental Project.

Simon, M. (1988): *Response of Some North American Willow Species and their Clones to Fertilization.* Univ. of Toronto.

Sommers, L. E., Parker, C. F., Meyers, G. J. (1981): *Volatilization, Plant Uptake and Mineralization of Nitrogen in Soils Treated with Sewage Sludge.* Technical Report 133, Purdue Univ. Water Resources Research Center. West Lafayette, Indiana.

Szlávik I., Vermes L. (1978): Hígtrágyák környezetszennyező hatása a kezelőberendezések és elhelyező telepek üzemeltetésének tükrében. – A mezőgazdaság fejlesztésének hatása a vízi környezetre (szerk.: Török László). *VÍZDOK,* VMGT–99. Budapest.

U.S. EPA (1977): Municipal Sludge Management: Environmental Factors. EPA 430/9–77–004, U.S. Envrionmental Protection Agency, Washington, D.C., October.

Vermes L. szerk. (1980): Szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezése és hasznosítása. *VÍZDOK,* 120.

Vermes L. (1994): Írásos közlés.

Zenz, D. R., Peterson, J. R., Brooman, D. L., Lue-Hing, C. (1976): Environmental impacts of land application of sludge. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 48.

5.10. KÉRDÉSEK

1. Melyek a szennyvíziszap-elhelyezési módok? (5.1. fejezet; *141. ábra.*)
2. Melyek a jellemző iszap–talaj kapcsolati alternatívák? (5.1. fejezet: *74. táblázat.*)
3. A talajban való tisztítás és a mesterséges szennyvíztisztítás összehasonlítása. (5.1. fejezet; *75. táblázat.*)
4. Melyek a talajbeli tisztítás fő mechanizmusai? (5.2. fejezet.)
5. A talajba jutott patogén szervezetek túlélése. (5.2.1. fejezet; *77. táblázat.*)
6. Melyek az iszaptározási módok? (5.3. fejezet; *78. táblázat.*)
7. Iszaptározással kapcsolatos üzemeltetési tapasztalatok. (5.3.1. fejezet.)

8. Melyek az iszapszállítási módok? (5.4. fejezet.)
9. Miként helyezhetők el az iszapok az erre a célra kiválasztott területeken? (5.5. fejezet.)
10. Milyen iszapfeltöltésbe helyezési módok ismertek? (5.6. fejezet.)
11. Melyek a feltöltésből származó csurgalékvizek szabályozására vonatkozó módok? (5.6. fejezet.)
12. Melyek az iszap mezőgazdasági hasznosításának fő céljai? (5.7. fejezet.)
13. Melyek az iszap mezőgazdasági hasznosításának fő kritériumai? (5.7.1. fejezet.)
14. Milyen jellegzetes üzemeltetési hibák létezhetnek az iszap mezőgazdasági elhelyezésekor? (5.7.3. fejezet.)
15. Mi a jellemzője a nyárfás szennyvízöntözéses rendszernek? (5.8. fejezet; *147. ábra.*)
16. Milyen jellegzetes üzemeltetési hibák ismertek a szennyvíz nyárfás területen való hasznosításakor? (5.8. fejezet; *83. táblázat.*)

6. A TISZTÍTOTT SZENNYVÍZ ELHELYEZÉSE VÍZFOLYÁSBAN

6.1. MÉRÉSEK FONTOSSÁGA A SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBAN

A szennyvíztisztító telepek üzemeltetésének egy speciális, de nélkülözhetetlen területe a tisztított szennyvíz minőségi paramétereinek ismerete, ellenőrzése, a monitorizálás.

A köztudatban ez a tevékenység sokszor összefonódik, leszűkül a hatóság ellenőrző-büntető szerepkörére, pedig a folyamatok pontos ismerete sokkal átfogóbb, nagyobb jelentőségű, mint a szankcionálás.

Tekintsük át, *melyek azok a területek, melyek a tisztított szennyvizek minőségi adatait mint alapadatokat felhasználják* (Varga, 1994).

Ezek az adatok jelzik az *üzemeltetőnek*, hogy milyen a működtetett szennyvíztisztító telep *hatásfoka*. Az egyes paraméterek hirtelen változásai rendkívüli állapotra utalnak, mely a tisztítástechnológia valamely fázisában azonnali beavatkozást igényel.

A paraméterek folyamatos ismerete tehát az üzemeltető *alapvető* érdeke. Ez egyben azt is jelenti, hogy bizonyos nagyságrenden (kapacitáson) felül a korszerű szennyvíztisztító telep nem nélkülözheti üzemi laboratórium működtetését. A kibocsátott, tisztított szennyvíz paramétereinek ismerete nem nélkülözhető a *befogadó* szempontjából sem.

A befogadó élővízfolyások *szennyezőanyag-terhelése*, azok *vízminőségi állapota*, a *befogadók terhelhetősége*, s az egyes vízfolyások *vízminőségi célállapota*, mint a vízminőség-szabályozás alapadatai, csak a bevezetett anyagáram ismeretében határozhatók meg, illetve tervezhetők. A víztérben végbemenő kémiai, fizikai, biológiai folyamatok következtében térben és időben bekövetkező változások jelentik a vízfolyás öntisztulási folyamatát. E folyamatot is jelentősen befolyásolja, szélsőséges esetben meg is szüntetheti a szennyezőanyag-terhelés. Ezért nem közömbös, hogy egy vízfolyás hossz-szelvénye mentén milyen nagyságú és gyakoriságú szennyezés éri az élővízfolyásokat.

Természetesen az öntisztulás sok tényezőtől függ, a már vízben lévő kémiai anyagok, mikroorganizmusok tömege és struktúrája, vízhőmérséklet, vízhozam, a szennyvízbevezetés módja stb. Mindezek csak kevésbé változtathatók, viszont megismerésük lényeges, hogy a szennyvíz tisztítása és befogadóba vezetése az öntisztulás szempontjából a lehető legoptimálisabb legyen.

Az elfolyó szennyvizek paramétereinek ismerete még egy nagyon lényeges szempontból fontos. Az egyes vízhasználatok egy vízgyűjtő területen belül egymással szoros kapcsolatban állnak. A kibocsátott, tisztított szennyvíz még jól működő technológia mellett is tartalmazhat olyan káros anyagokat, melyek zavarják

az alul fekvő vízhasználatokat (pl. a nitrát az ivóvíztisztítást befolyásolja, vagy a só az öntözési használatot korlátozza). *Ezért a területhasználat, a vízminőségi célokból kiindulva, meghatározza az eltűrhető szennyezés fogalmát, mely területi és technológiai határértékhez kötött.*

Mindezekből láthatjuk, hogy a környezetvédelem és vízgazdálkodás nem nélkülözheti a szennyvízkibocsátások térben és időben jól meghatározott, pontos ismeretét. A mérések gyakorisága és a paraméterek száma a céloktól és igényektől függően változik. A korábbi időszakra jellemző integráns paramétereket (BOI, KOI stb.), azok megtartása mellett egyre inkább a konkrét, *teljes kémiai, biológiai, bakteriológiai állapotot bemutató paraméterek váltották fel.* Időtartamban az eseti, egy-egy intervallumra jellemző mérés helyett pedig a *folyamatos adatszolgáltatás elérése a cél.* Az adatok sokaságának megfelelően pedig a hidrológiai és vízminőségi állapotot feldolgozó számítógépes programok elterjesztésére kell törekedni.

Mindezeket felhasználva épülhet ki az *az egész országra kiterjedő vízminőségi monitorrendszer,* mely az egyes szennyezőanyag-kibocsátókból kiindulva a vízfolyások jellemző szakaszain szolgáltatja hazánk vízminőségi állapotát bemutató, megbízható adatokat. Csak ilyen rendszer képes kiszolgálni az egyes létesítménytervezők, a vízgyűjtőfejlesztés-tervezők, s a nemzetközi egyezmények vízminőségi alapadatigényeit, bizonyítani a rendkívüli szennyezések gazdasági következményeit. E rendszer napjainkban csak egyes elemeiben létezik. Alapvető érdekünk, hogy mielőbb teljeskörűen, működőképesen szolgálja a környezetvédelem s a vízhasználók érdekeit (Varga, 1994).

A szennyvíztisztítás hatékonysága, a szennyezőanyag-kibocsátás és a vízfolyások vízminőségi állapota közötti okszerű kapcsolat tehát elengedhetetlenül szükséges. Ebben a rendszerben (amint e mű I. kötete, 1. ábrájának szemléletéből is következik) *az üzemeltető szerepe alapvető, ill. annak kell lenni, túlnyúlik a szennyvíztisztító telepen.*

6.2. AZ ELHELYEZÉS FOLYAMATSZEMLÉLETE

Az üzemeltető végső feladata a tisztított szennyvíz *környezetvédelmi szempontból megfelelő* elhelyezése.

Valamennyi vízminőség-szabályozási törekvés elsődleges célja a befogadók (folyók, tavak, óceánok, talajok) *vízvédelmének* biztosítása.

A vízkészletek reagálását a szennyezőanyag-terhelésekre (input)

– maga a terhelés természete és
– a befogadó vízkészlet állapota, ill. változásai befolyásolják.

A szennyezőanyag-terhelés időbeli változását befolyásoló tényezők:

– a szennyezőanyag-termelődés napi, heti és évszakos ciklusai,
– a folyamatos üzemű szennyvíztisztító rendszerek hatásfoka, ill. annak változásai,
– a tisztítórendszer, a vegyszeradagolók üzemének időszakos zavarai,
– záporvízlefolyás, csapadéklefolyás eseményei.

A szennyezőanyag-terhelés befogadóbeli hatásának változását a befogadó *hátterállapotai* (vízhozam, hőmérséklet, pH, hordalékterhelés, fényintenzitás, szél és

a különböző trofikus szinteken jelentkező biológiai fajok diverzitása) is okozhatják. Ezek a jellemzők *a természetes vízkészletekbe került szennyező anyagok sorsát (fate) alapvetően befolyásolhatják.*

A vízminőségi modellek:

– a szennyezőanyag-terhelések,
– a befogadó háttérállapotai és
– a szennyező anyagok befogadóbeli sorsa és hatásfolyamatai közötti kapcsolatokat, ezáltal a befogadó víz mindenkori minőségét átfogóan jellemzik.

A tisztított szennyvíz legáltalánosabb elhelyezési módja a felszíni befogadóba vezetés, mely esetben a befogadóban *a fő szerepet a hígulás játssza.* Az *ilyen* elhelyezés vízminőség-védelmi követelményei *a befogadó víz valószínűsíthető használatától függően* eltérők (*84. táblázat;* Culp, 1979). A táblázatban az MPN (most probable number) a legvalószínűbb szám (darab).

84. táblázat. A befogadó vízminőségi kritériumai

Vízminőségi indikátor	Vízhasználat					
	nem kontakt üdülés	kontakt üdülés	halgazdálkodás	ivóvízellátás	öntözés	szarvasmarha és vadállat
Vízi élőlények	Gyakorlatilag mentes	Gyakorlatilag mentes	–	–	–	Kék-zöld algák távol tartása
Coliform baktériumok	200 MPN/100 ml	100 MPN/100 ml	–	20 000 MPN/100 ml*	1000 MPN/100 ml	5000 MPN/100 ml
KOI, mg O_2/l	60	30	–	–	–	–
Úszó lebegőanyag és hab	Gyakorlatilag mentes	Gyakorlatilag mentes	–	–	–	–
Szag, egységek	Gyakorlatilag mentes	Gyakorlatilag mentes	–	Gyakorlatilag mentes	–	–
Oldott oxigén	Aerob	Aerob	5,0 mg/l	–	–	Aerob
pH	6,5–8,3	6,5–8,3	6,5–9,0	–	6,0–9,0	7,0–9,0
Ülepíthető lebegőanyag, mg/l	Gyakorlatilag mentes	Gyakorlatilag mentes	–	–	–	–
Összes nitrogén, mg/l	–	10	–	–	–	–
Nitrit-N, mg/l	–	–	–	1,0	–	10
Nitrit- és nitrát-N, mg/l	–	–	–	–	–	100
Ammónia-N, mg/l	–	–	0,02 (nem ionizált)	0,05	–	–
Nitrát-N, mg/l	–	–	–	10,0	–	–
Foszfát, mg/l	–	0,2	–	–	–	–
Szuszpendált anyag, mg/l	–	5	25	–	–	–

* Nyersvíz-forrás.

Az *elfolyás minőségének ellenőrzése* rendkívül fontos. Például, számos tisztítótelepről juthat az elfolyás *egyidejűleg* a befogadó vízfolyásba. Ha a befogadóban valamely vízminőségi probléma jelentkezik, akkor *valamennyi tisztítótelepi elfolyás minőségét meg kell vizsgálni.* Ha a minták vétele és analízise megfelelően történt, és ha kiderül, hogy nem az elfolyások okoznak gondot, akkor más forrásból származó probléma (vagy problémák) után kell kutatni.

Egyes esetekben az elfolyás vízminőségi követelményszintjének változtatására is sor kerülhet. Ha a megfelelő mintavételezés és analízis kideríti, hogy valamely komponens *észlelt szintje* a befogadóban nem okoz gondot, akkor *a szabványban előírt szint változtatására kerülhet sor.* Például: az elfolyásban az 1,0 mg/l maradékklór-koncentráció követelhető meg. Ha az ellenőrző mérésekből kiderül, hogy ez a szint nem szükséges vagy túlzottan nagy a coliform baktériumok szabályozásához, akkor a hatóságtól a szabványbeli klórkoncentráció csökkentése kérhető. Ezáltal a klórköltség tetemesen csökken.

6.3. ELFOLYÁSELHELYEZÉS A HÍGULÁS RÉVÉN

A hígulással történő elfolyáselhelyezés folyamatrendszerei a következő példákon keresztül értelmezhetők (*149/a–e ábra;* Rossman, 1989).

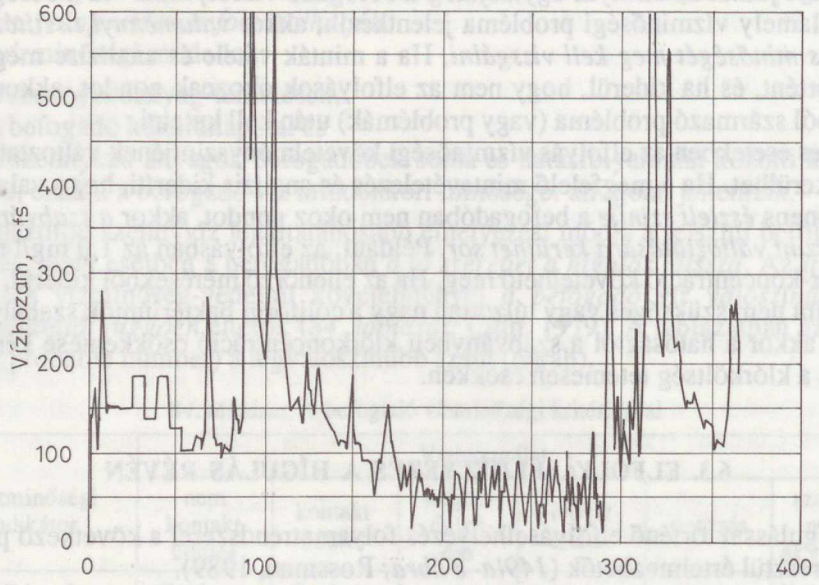
Az elfolyás és a befogadó vízfolyás közötti egymásra hatásként jelentkező hígulás egyszerű esete (példa az üzemeltető számára) az, hogy a folyóbeli összes *ammóniaszintek* miként alakulnak.

A *149/a ábra* a Quinnipiac folyó vízhozamának alakulását képviseli. A legkisebb hozamok a nyárutón jelentkeznek.

A *149/b ábra* valamely eleveniszapos szennyvíztisztító telepről elfolyó ammóniakoncentráció napi változását érzékelteti. A szokatlanul nagy koncentrációk és a heti ciklusok jelentős ammóniatartalmú ipari szennyvizek tisztítótelepre kerülését jelzik. A melegebb nyári hónapok alatti kis koncentrációk a részleges nitrifikáció lejátszódását tanúsítják. A szóban forgó tisztítótelepi elfolyás mennyisége meglehetősen állandó, a változás koefficiense csak 0,2. Az adott példa esetében az elfolyás hozama állandó, 0,56 m^3/s. Ilyen feltételek mellett *a közöttük lévő egymásra hatást sem a befogadó víz, sem az elfolyás nem uralja.* Ha tehát valamely napon a folyó változó vízhozama Q és elfolyó ammóniakoncentráció C=const (évi átlagos szint 28 mg/l), akkor a folyóbeli eredő ammóniakoncentráció $20C/(Q+20)$. Ezt a számítást az év minden napjára elvégezve (C=const), a folyóbeli napi összes ammóniakoncentráció idősora a *149/c ábrán* adott. Ez esetben *a folyóbeli összes ammóniakoncentrációt csak a folyó változó víhozama befolyásolja.*

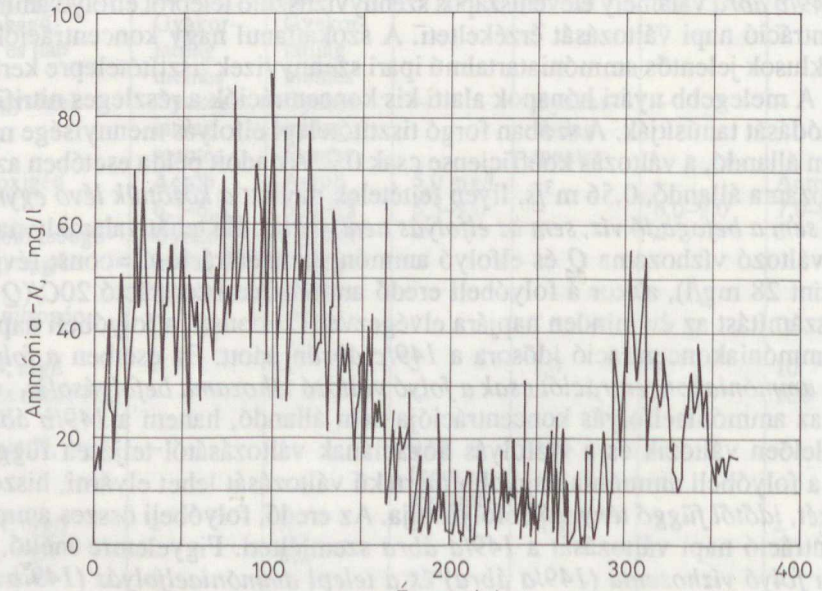
Ha az ammóniaelfolyás koncentrációja nem állandó, hanem a *149/b ábrának* megfelelően változik és a vízfolyás hozamának változásától teljesen független, akkor a folyóbeli ammónia nagyobb mértékű változását lehet elvárni, hiszen azt most *két, időtől függő tényező* befolyásolja. Az eredő, folyóbeli összes ammóniakoncentráció napi változását a *149/d ábra* szemlélteti. Figyelemre méltó, hogy most *a folyó vízhozama (149/a ábra) és a telepi ammóniaelfolyás (149/b ábra) évszakos változása, ill. annak hatása elmarad.* Az átlagos ammóniakoncentráció 3,8 mg/l, és a változást kifejező koefficiens: 0,68. A *149/d ábra* a következőkép-

a)



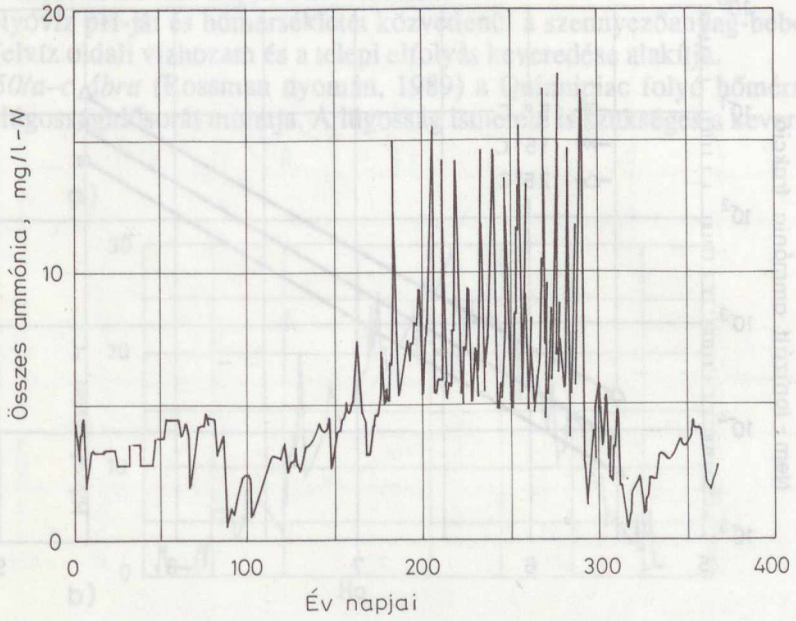
149/a ábra

b)



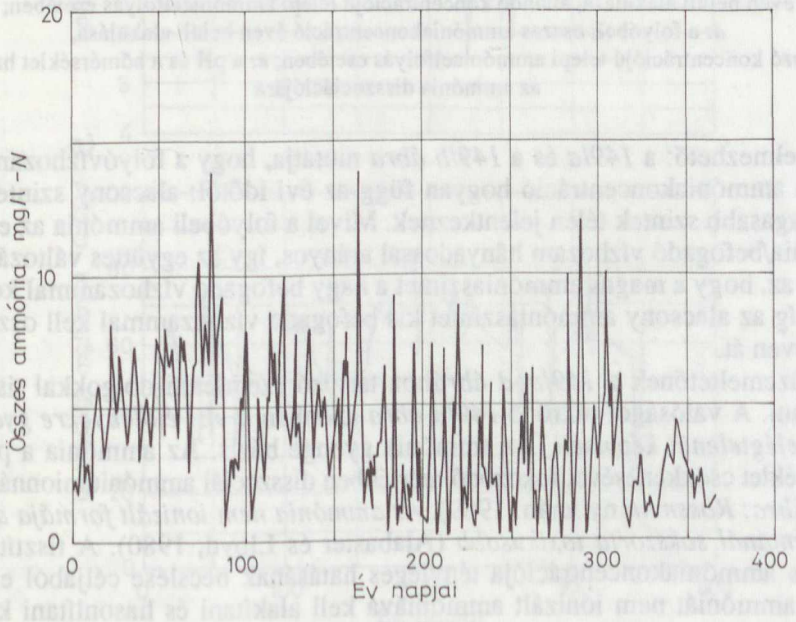
149/b ábra

c)



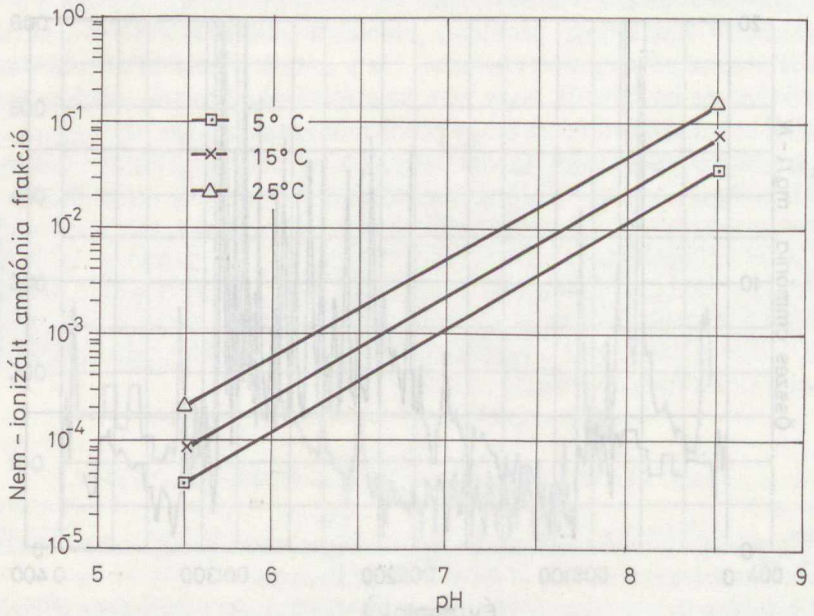
149/c ábra

d)



149/d ábra

e)



149/e ábra

149/a–e ábra. A befogadó vízfolyás ammóniakoncentrációjának alakulása. *a:* a befogadó vízfolyás napi vízhozamának alakulása; *b:* eleveniszapos szennyvíztisztító telepről elfolyó ammónia éven belüli alakulása; *c:* a folyóbeli összes ammóniakoncentráció éven belüli alakulása, állandó koncentrációjú telepi ammóniaelfolyás esetében; *d:* a folyóbeli összes ammóniakoncentráció éven belüli alakulása, változó koncentrációjú telepi ammóniaelfolyás esetében; *e:* a pH és a hőmérséklet hatása az ammónia disszociációjára

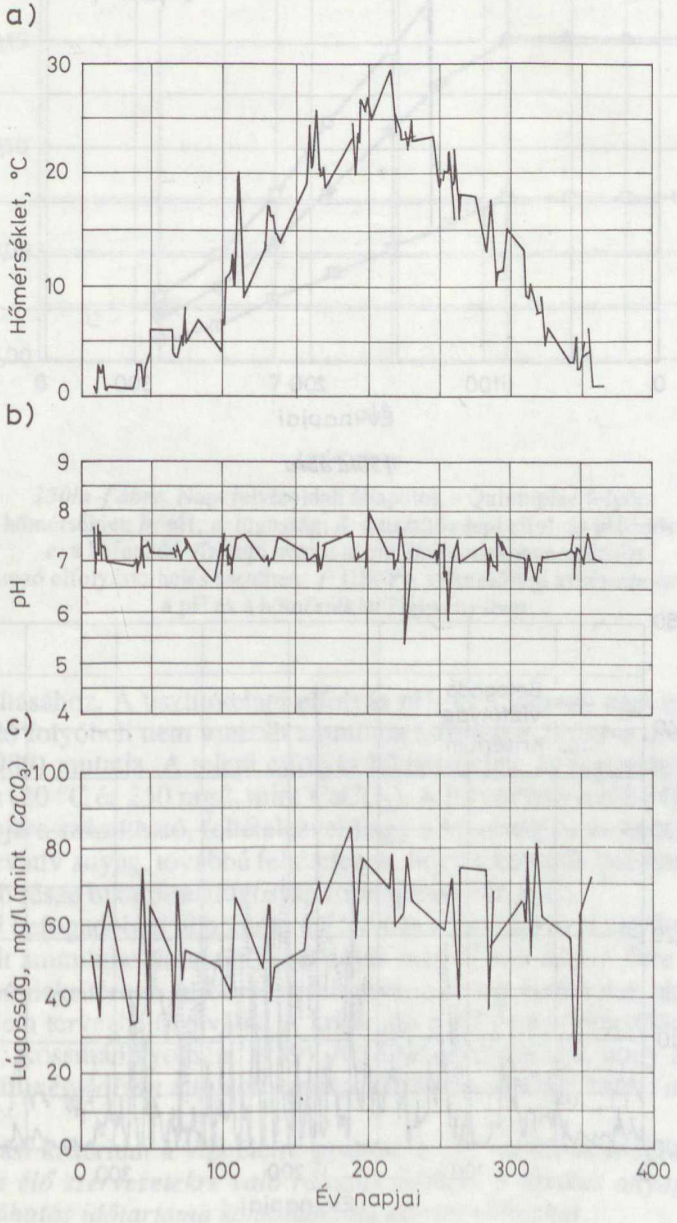
pen értelmezhető: a *149/a* és a *149/b ábra* mutatja, hogy a folyóvízhozam és az elfolyó ammóniakoncentráció hogyan függ az évi időtől: alacsony szintek nyáron, magasabb szintek télen jelentkeznek. Mivel a folyóbeli ammónia az elfolyás ammónia/befogadó vízhozam hányadossal arányos, így az együttes változás eredménye az, hogy a magas ammóniaszintet a nagy befogadó vízhozammal kell osztani, míg az alacsony ammóniaszintet kis befogadó vízhozammal kell osztani az egész éven át.

Az üzemeltetőnek a *149/a–d ábrá*hoz tartozó szemléleti dolgokkal tisztában kell lenni. A valóságot tükröző *149/d ábra* azonban *a vízi élőlényekre gyakorolt hatást elégtelenül képviseli.* Az ammónia gyenge bázis. Az ammónia a pH és a hőmérséklet csökkenésével fokozódó mértékben disszociál ammóniumionná (NH_4^+; *149/e ábra; Rossman* nyomán, 1989). *Az ammónia nem ionizált formája az ionizált formánál sokszorta toxikusabb* (Alabaster és Lloyd, 1980). A tisztítótelepi elfolyás ammóniakoncentrációja tényleges hatásának becslése céljából ezért az összes ammóniát nem ionizált ammóniává kell alakítani és hasonlítani kell valamely kritériumértékhez, amely a vízi élet védelmét biztosítja. Ezen átalakítás

végrehajtásához azonban a befogadó vízfolyás pH- és hőmérsékletviszonyait a vizsgált időszak minden napjára ismerni kell.

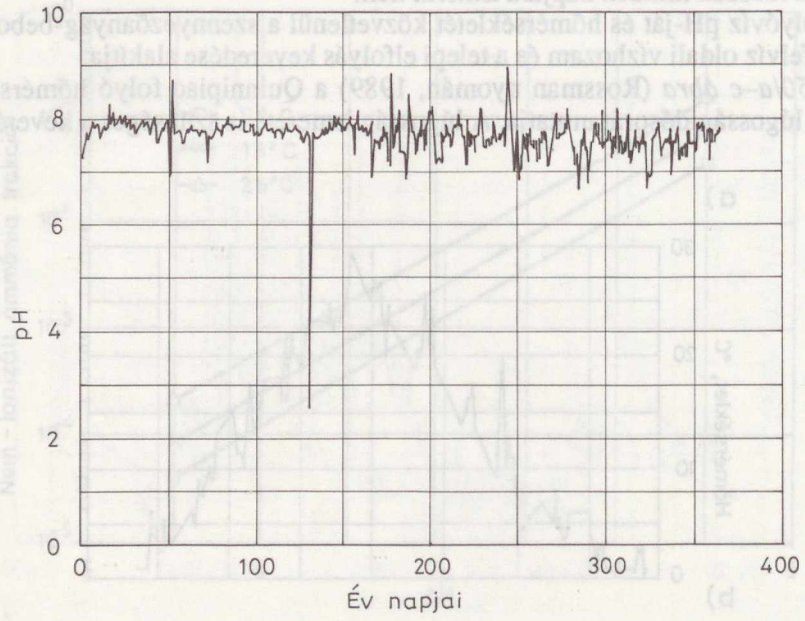
A folyóvíz pH-ját és hőmérsékletét közvetlenül a szennyezőanyag-bebocsátás feletti felvíz oldali vízhozam és a telepi elfolyás keveredése alakítja.

A *150/a–c ábra* (Rossman nyomán, 1989) a Quinnipiac folyó hőmérséklet-, pH- és lúgosságidősorát mutatja. A lúgosság ismerete is szükséges a keverék pH-



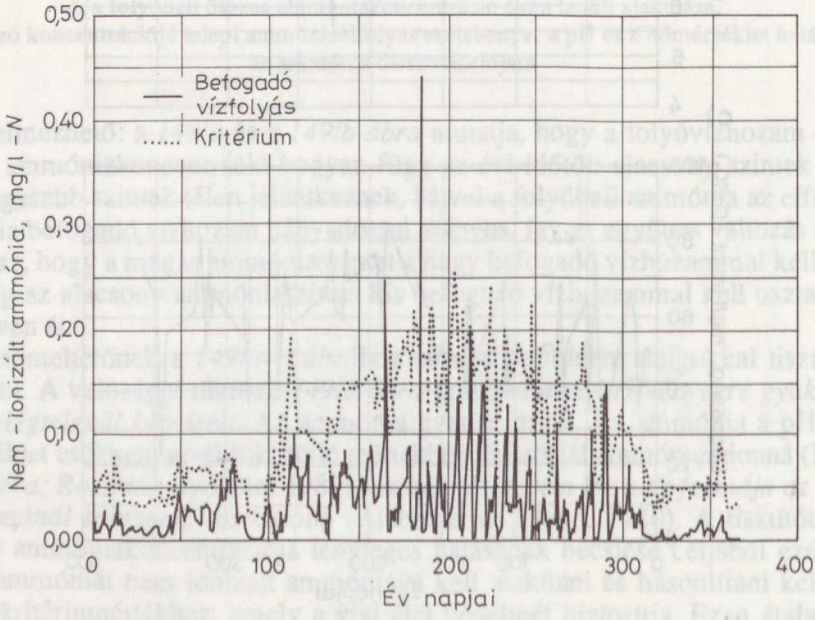
150/a–c ábra

d)

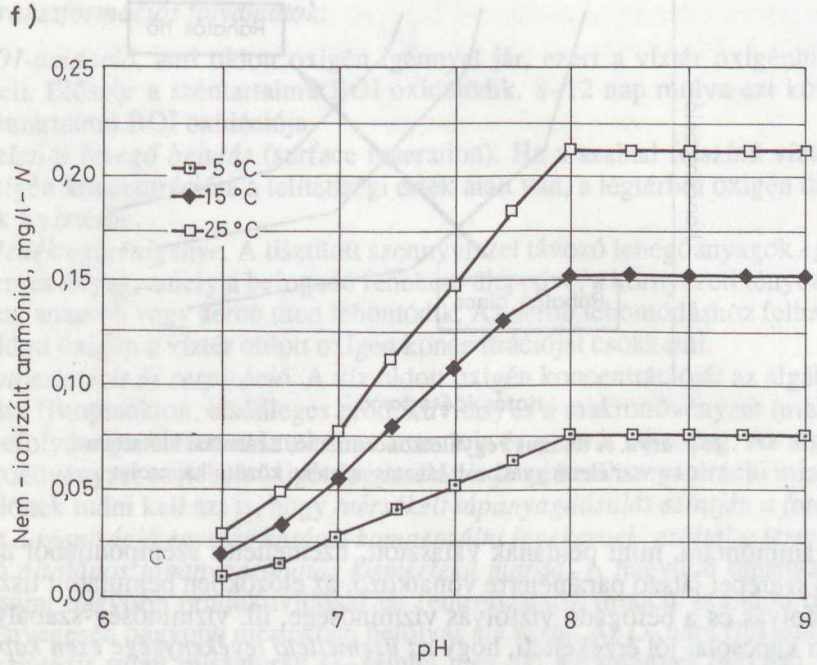


150/d ábra

e)



150/e ábra



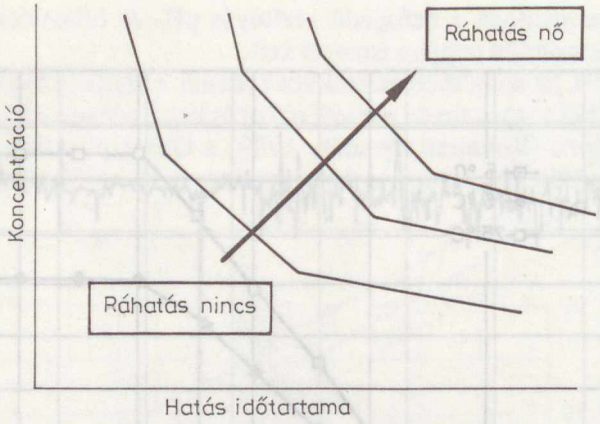
150/f ábra

150/a–f ábra. Napi felvízoldali állapotok a Quinnipiac folyón.
a: hőmérséklet; *b:* pH; *c:* lúgosság; *d:* a tisztítótelepi elfolyás pH-idősora;
e: a befogadó víz napi nem ionizált ammóniakoncentrációja
napi változó elfolyásterhelés esetében; *f:* USEPA vízminőségi kritérium ammóniára
a pH és a hőmérséklet függvényében

jának számításához. A tisztítótelepi elfolyás pH- és a változó napi elfolyásterheléskor adódó folyóbeli nem ionizált ammónia idősorát a *150/d–e ábra* (Rossman nyomán, 1989) mutatja. A telepi elfolyás hőmérséklete és lúgossága állandónak feltételezett (20 °C és 250 mg/l, mint $CaCO_3$). A folyóvízkeverék pH-ja így az év minden napjára számítható, feltételezve, hogy a lúgosság és az összes szervetlen szén konzervatív anyag, továbbá feltételezett, hogy a keverék-pH-ban lévő lúgosság nagyobb része bikarbonátlúgosság formájában van jelen.

Az eredő befogadóbeli állapotok, a *150/d* és *150/e ábrá*val együtt, a folyóbeli nem ionizált ammóniaszintek idősorát adják meg *(150/e ábra)*. Erre az ábrára az (EPA) ammóniakritérium idősorát is felrakva, a hideg vizű halak akut toxicitása elleni védelem tervezhetővé válik. A kritérium a pH és a hőmérséklet függvénye (*150/f ábra;* Rossman nyomán, 1989). A *150/e ábra* elárulja, hogy a szóban forgó éven belül *négy olyan nap volt, amikor az akut toxicitási határt az üzemeltető átlépte.*

A toxicitási kritérium a vízi életre gyakran a *151. ábrá*nak megfelelően értelmezhető: *az élő szervezetekre való ráhatás mértéke a toxikus anyag koncentrációja és a ráhatás időtartama kombinációja szerint változhat.*



151. ábra. A toxikus vegyületkoncentráció, a ráhatási időtartam és a vízi életre gyakorolt ráhatás mértéke közötti kapcsolat

Az ammóniára, mint példának választott, üzemeltetés szempontjából nagyon fontos szerepet játszó paraméterre vonatkozó, az előzőkben bemutatott tisztítótelepi elfolyás és a befogadó vízfolyás vízminősége, ill. vízminőség-szabályozása közötti kapcsolat jól érzékelteti, hogy *az üzemeltető tevékenysége ezen kapcsolat okszerű kézben tartásával fejeződik be. A szennyvíztisztítással kapcsolatos környezetvédelmi szemléletű tevékenység csak ezen felfogás szigorú érvényre juttatásával fogadható el.*

Természetesen a tisztított szennyvíz környezetbe vezetésekor számos egyéb vízminőségi paraméter-kritériumot is szem előtt kell tartani.

A felszíni befogadóba kerülő telepi elfolyást követően a vízminőségi paraméterek sorsát a fizikai, kémiai és biológiai folyamatok alakítják. Ennek megfelelően valamely kontroll-térfogatban a befogadó vízminőségét képviselő alkotórészek tömege a következőképpen fejezhető ki:

$$\begin{array}{l}\text{Tömegszaporulat mértéke a kontroll-térfogatban} = \text{A kontrolltérfogatba jutó tömeg mértéke} - \text{A kontrolltérfogatból kijutó tömeg mértéke} + \\ + \text{A kontrolltérfogatban keletkező tömeg mértéke} - \text{A kontrolltérfogatban eliminálódott tömeg mértéke}\end{array} \qquad (38)$$

A tömegháztartást alakító folyamatok:

1. *Transzportfolyamatok:*

– *Advekció* a vízminőségi alkotóelemek transzportja, ami a vízáramlás révén jön létre, amelyben az alkotóelemek oldódnak vagy szuszpendált állapotba lépnek.

– *Diffúzió* a vízbeli turbulencia miatti transzport.

2. *Transzformációs folyamatok:*

– *BOI-oxidáció,* ami oldott oxigén igénnyel jár, ezért a víztér oxigénhiányát képviseli. Először a széntartalmú BOI oxidálódik. 8–12 nap múlva ezt követi a nitrogéntartalmú BOI oxidációja.

– *Felszíni levegő bejutás* (surface reaeration). Ha a szabad felszínű víztér oldott oxigén koncentrációja a telítettségi érték alatt van, a légtérből oxigén diffundálódik a víztérbe.

– *Üledék oxigénigénye.* A tisztított szennyvízzel távozó lebegőanyagok egy része szerves anyag, amely a befogadó fenekére ülepedve, a környezeti tényezőktől függően, anaerob vagy aerob úton lebontódik. Az aerob lebontódáshoz felhasználódó oldott oxigén a víztér oldott oxigén koncentrációját csökkenti.

– *Fotoszintézis és respiráció.* A víz oldott oxigén koncentrációját az algák szaporodása (fitoplankton, elsődleges produktivitás) és a makronövényzet (makrofita) is befolyásolja, hiszen számukra az ammónia és a nitrát tápanyag. Az algák és a makronövényzet esetében oxigénfogyasztás is jelentkezik a respiráció miatt. Az üzemelőnek tudni kell azt is, hogy *mérsékelt tápanyagdúsulás szintjén a fotoszintézis és a respiráció egymás hatását kompenzálni igyekeznek, ezáltal a természetre való általános tápanyagrahatás kismértékű marad.* A nagyobb tápanyag-dúsulási szint nagyobb produktivitással jár (eutrofizáció), miáltal az oldott oxigén szint lényegesen nagyobb mértékben befolyás alá kerül. Az O_2 napi fluktuálódása a fotoszintézis miatt túlszaturált O_2-szintet idéz elő a napfényes órákban, és az éjszakai órákban a respiráció miatt nagyon alacsony O_2-szint jelentkezhet. A fotoszintézis/respiráció kiegyensúlyozatlansága miatti hosszú idejű fluktuálódás a nagy biomassza-szaporodás és az -elhalás periódusában figyelhető meg.

A nitrogén mellett a biomassza-szaporodáshoz más tápanyagok is szükségesek, nevezetesen a foszfor és a kovasav sói. A nitrogén : foszfor : szén arány az algaprotoplazmában (Redfield-arányok) N : P : C = 15 : 1 : 105 (Mitchell, 1972). Ha ezen tápanyagok egyike kisebb mennyiségű az előbbi aránynál, akkor a biomassza-szaporulat korlátozódik.

Lebegőanyag-lerakódás. Az elfolyással a befogadóba jutott lebegőanyagok végül a fenékre rakódnak le. Ezt a folyamatot a flokkuláció segíti, a turbulencia pedig gátolja. A legtöbb esetben a turbulencia önmagában elegendő a lebegőanyagok teljes víztérbeli eloszlásának létrejöttéhez A szennyezett üledék minőségének eloszlására példát a *152. ábra* nyújt (Holland vízügyi szervek nyomán, 1993; Csiti, 1993). Az üledék minősége négy osztályba sorolt. Az 1. osztályba tartozó üledék a vízfolyás vizének bármilyen hasznosítása szempontjából elfogadható. A 4. osztályba tartozó üledék csak szigorúan szabályozott feltételek teljesülése esetében helyezhető el.

– *Bakteriális elhalás.* A baktériumok, ill. a vírusok elhalási sebességállandóját elsősorban a víz sűrűsége, hőmérséklete és a fényintenzitás befolyásolja.

– *Adszorpció.* Számos kémiai szennyező anyag a szilárd lebegőanyagokhoz igyekszik szorbeálódni vagy rögzülni.

– *Illékonyság.* Egyes szennyező anyagok, mint az illékony szerves vegyületek (VOCs), illékony tulajdonságúak. Ezen folyamat fizikája a felszíni újralevegőzéshez nagyon hasonló, az eltérés csupán az, hogy a teljes anyagtranszport a víz-

152. ábra. Szennyezett üledék minőségének eloszlása, osztályokba sorolása

felszínen át *az atmoszférába irányul.* A befogadóba jutó szerves anyagok hatását az elmúlt időben elsősorban az összegző paraméterek, mint

– a BOI_5 és

– az oldott oxigén koncentráció változásaként próbálták figyelembe venni. Az utóbbi időben már a befogadóba jutó speciális szerves anyagok *sorsának követése* is egyre inkább cél (Rathbun et al., 1982).

A befogadó vízminőséggel és a szennyezőanyag-terheléssel kapcsolatos reakciókinetikával Thomann és Mueller (1987), Öllős (1992) foglalkozik részletesen.

6.4. TISZTÍTÁSI KÖVETELMÉNYEK

A hígulás által biztosított elhelyezési lehetőségek *kihasználása előtt* a szennyvizet megfelelő mértékig kell tisztítani, miáltal

– a telepi elfolyást tartalmazó befogadó vizével kontaktusba kerülő emberek, állatok egészsége megőrizhető,

– a kellemetlenséget okozó szag vagy a nem esztétikus állapotok elkerülhetők.

Az üzemeltetőnek az előző fejezet szemléletének birtokában, a tisztítótelep tényleges szerepének, hatásfokának megítélésekor a következőkre kell ügyelnie (Dendy és Hinrichs, 1988).

1. *A tisztítótelepre vagy annak valamely tisztítóegységére vonatkozó* méréseken túlmenően az üzemeltető a befolyás- és elfolyáskoncentrációkat méri, és ezek alapján a hatásfokokat számítással meghatározza.

2. *A befogadó vízfolyásra* vonatkozó mérések alapján, az elfolyás befogadóra gyakorolt hatása határozható meg. Ennek alapján kiderül, hogy az elfolyás és a befogadó víz keveredése után a folyóvíz

– a vízellátás,

– a rekreáció (üdülés) és

– a halgazdaság

szempontjából miként hasznosítható.

Ezen mérési adatok birtokában azonban kiderülhet, hogy noha a szóban forgó tisztítótelep a tervezésnek megfelelően a lebegőanyag-tartalom 90%-át eltávolította, *az elfolyás a befogadó vízfolyásra mégis káros hatású.* Ez azért lehetséges, mert

– a telepet nem az igényesebb elfolyáskritériumokra tervezték,
– a befogadó vízfolyás elfolyást befogadó kritériumai a tervezés óta változtak (például a vízhozam csökkent, új ipari eredetű elfolyásterhelés keletkezett).

Az előzőkből egyértelműen állítható: a befogadó víz minőségi paramétereinek mérése ugyanolyan fontos, mint a tisztítótelepi mérések, hiszen a *tisztítótelep valódi célja a befogadó vízfolyás védelme.* Valamely tisztítótelep mindig olyan hatékonyan üzemeltetendő, ahogy csak lehet, ezért a telepi mértékadó ellenőrző mérések szerepét nem szabad lebecsülni.

Az elfolyás hatása a befogadó vízfolyásra valójában a következő módon határozandó meg:

– a mértékadó vízminőségi paraméterek az elfolyás hatásától mentes, az elfolyás helye feletti folyószakaszra határozandók meg; ezt követően
– a mértékadó vízminőségi paramétereket az elfolyás helye alatti keverékszakaszban kell meghatározni,
– a két helyről származó, megfelelő mérési adatokat egymással *össze kell hasonlítani.*

A hígításon alapuló elfolyáselhelyezés sikeres megvalósítása olyan lelkiismeretes üzemeltetőn múlik, kinek:

– a mintavételekre és
– az analízisekre

megfelelő technikai feltételek állnak rendelkezésre.

A minta lehet önálló (vagy pont) *minta,* amely sem idő-, sem hozamokhoz nem illeszkedik (grab sample).

Az *összetett minta* az egyes minták összessége, amelyeket szabályos időközökben, a 24 órás időtartam alatt óránként vagy kétóránként (vagy folyamatos szivattyúzással) vesznek. Minden mintát vegyíteni kell a többivel, a mintavétel időpontjához tartozó hozammal arányosan. Az eredő keverék (composite sample) a reprezentatív mintát képviseli. Ennek analizálása adja meg a vizsgált időszak átlagos vízminőségi jellemzőjét. Egyes összetett mintavevők jóval komplexebb feladatkörűek, mint mások.

Az összes coliform és a fekálcoliform meghatározások csak gondosan vett önálló minták alapján végezhetők. Minden felszíni befogadó terület speciális kiegészítő mintavételi igényeket is támaszthat. Például: a lassan áramló felszíni vízfolyásban a halak veszélybe kerülhetnek az ammónia (NH_3) miatt, amely az elfolyás ammónium- (NH_4^+-) tartalmából ered.

Egyes esetekben, ha például az elfolyásban toxikus vegyület(ek) van(nak), rendszerint a megoldást nem az elfolyás tározása szolgáltatja, hanem neutralizáló vegyszert kell az elfolyásba – a befogadóba vezetése előtt – adagolni. Ha a szennyvíztisztító rendszerben üzemelési zavar jelentkezik vagy a befogadóban kritikus vízminőségi szint észlelhető, az elfolyást szükségtározóba kell vezetni. Miután a zavar megszűnt, az elfolyás elvezetésére a következő módok jöhetnek szóba:

1. A tározott elfolyás lassan a tisztítótelepi elfolyáshoz adagolható (hígítás a telepi elfolyásban).

2. A tározott elfolyás a tisztítótelep elejére recirkuláltatható tisztítás céljából. A recirkuláltatást a kisebb telepi szennyvízhozamok időszakában célszerű megvalósítani, mert így a telep nem lesz túlterhelt.

3. Ha a tározott elfolyás nagyon toxikus, kémiai kezelése szükséges, vagy ahol az lehetséges, a párolgás révén hagyni kell koncentrálódni, majd a toxikus szennyező anyagot feltöltésbe kell helyezni.

6.5. HŐMÉRSÉKLET MÉRÉSE A BEFOGADÓBAN

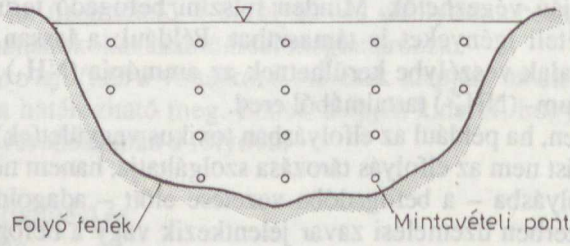
A befogadó víztérbeli hőmérséklet-eloszlása, számszerűsítése fontos feladat. A hőmérséklet-eloszlást elsősorban a halállomány védelme érdekében, ill. a megfelelő reakciókinetika megőrzése érdekében kell ismerni.

Először a befolyás helye feletti folyószakasz hőmérsékleti viszonyait kell meghatározni. Feladat: *a)* a napon belül az óráról órára történő változások; *b)* az év hónapjai alatti változások megismerése. A méréseket oly módon kell megejteni, hogy a folyókeresztmetszetben a jellemző átlagos hőmérséklet, ill. az ettől való eltérések a keresztmetszetben meghatározhatók legyenek.

Egyes folyókban, amelyek mélyek és lassú áramlásúak, a hőmérséklet a fenéken jóval hidegebb lehet, mint a felszín környezetében. Így ha a mért hőmérséklet az elfolyás helyétől a folyón feljebb lévő keresztmetszet fenékzónájából származik, az elfolyás helye alatti folyószakasz valamely keresztmetszetének pedig felső zónáját minősítjük, akkor úgy tűnhet, hogy a hőmérséklet-különbséget az elfolyás okozza, ami valójában a hőmérsékleti viszonyokra kismértékű hatású lehet. A mérési pontok a *153. ábrá*nak megfelelően választhatók meg. A mérések a parthoz és a fenékhez közeli térhez is essenek közel.

A hőmérsékletmérések:

– napi,
– havi és
– évszakos értékeket, ill. azok változásait tehetik ismertté. A hónapról hónapra történő változás kevésbé jelezhető előre, mert egyik év hidegebb, mint a másik, vagy a nyár hosszabb, vagy valami más szokatlan jelenség jelentkezhet.

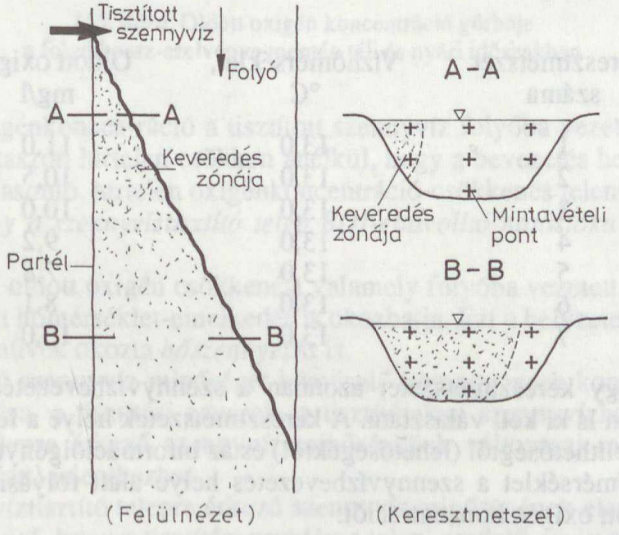


153. ábra. Célszerű mintavételi pontok a folyó keresztmetszetében, hőmérséklet-meghatározás céljából

Mindig tervet kell készíteni előre, hogy a vett minták valóban a tényleges állapotot képviseljék. Ez azt jelenti, hogy valamely kis térfogatú víz a mintázott nagy víztér tartalmát reprezentálni legyen képes.

A mintavételi keresztmetszetet az elfolyás helye alatti folyószakaszon olyan távolságra kell megválasztani, ahol a keveredés már teljesnek tekinthető.

Ha valamely folyó nagyon lomha, széles, kisebb mélységű, akkor a keveredés – várhatóan – nagy távolságon belül sem tökéletes. Ez esetben a mintavételezés olyan legyen, hogy a nem keveredett mederzóna is meghatározhatóvá válhasson (*154. ábra;* Dendy és Hinrichs nyomán, 1988). Minél nagyobb az áramlási sebesség, minél sekélyebb a víz és élesek a folyókanyarok, annál nagyobb a turbulencia, és az elfolyás annál gyorsabban keveredik a folyóvízzel (Szolnoky, 1987).



154. ábra. Az elfolyó szennyvíz elkeveredése a felszíni befogadó vizével

6.6. OLDOTT OXIGÉN MÉRÉSE A BEFOGADÓBAN

A folyóbeli oldott oxigén meghatározásához a mintavétel elve a hőmérsékletmérésnél vázoltakkal azonos (6.5. fejezet). Az oldott oxigén koncentrációt egyebek mellett a hőmérséklet is jelentősen befolyásolhatja.

A szennyezőanyag-mentes hideg víz oldott oxigén koncentrációja a meleg víz oldott oxigén koncentrációjánál nagyobb. Ez azonban egyáltalán nem jelenti azt, hogy a befogadó vízfolyás hideg vize a melegebb vizénél mindenkor több oldott oxigént tartalmaz. Például: a folyóbeli hidegebb víz a melegebb víz alatt igyekszik áramlani, mert sűrűsége nagyobb. A hideg víztömeg azonban így a természetes, felszíni oxigénbediffundálás és az algaaktivitás terétől távolabb van. A hideg

víz a fenékre ülepedett szerves anyagok szomszédságában áramolhat, miközben a fenékiszap szerves anyagait stabilizáló mikroorganizmusok respirációjuk során a szomszédos víztér oldott oxigén készletét hasznosítják. A nettó eredmény a *hideg vízben,* ha a hideg vizek a fenékzónában hosszú ideig tartózkodnak, *az alacsonyabb oldott oxigén koncentráció.*

A tisztított szennyvíz felszínivíz-befogadóba vezetésének helye alatti folyószakasz oldott oxigén koncentrációja meghatározásakor gondolni kell arra is, hogy *az oxigéntartalom csökkenése nem biztos, hogy közvetlenül a bevezetés alatti szakaszon észlelhető, még akkor sem, ha az elfolyás a folyó vizével jól keveredett.* Számos órára lehet szükség a szervesanyag-tartalom oxidálása miatti számottevő oxigéncsökkenéshez.

A meghatározáshoz a szennyvízbevezetés helye alatti szelvényekben kell az oxigéntartalmat a reprezentatívnak tekinthető minta alapján analizálni.

Például:

Keresztmetszet száma	Vízhőmérséklet, °C	Oldott oxigén, mg/l
1	13,0	11,0
2	13,0	10,5
3	13,0	10,0
4	13,0	9,2
5	13,0	7,8
6	13,0	8,1
7	13,0	10,0

Legalább egy keresztmetszetet azonban a szennyvízbevezetés helye feletti folyószakaszon is ki kell választani. A keresztmetszetek helye a folyó jellemzőitől, a megközelíthetőségtől (lehetőségektől) és az információigénytől függ.

Ha a vízhőmérséklet a szennyvízbevezetés helye alatt folyásirányban nő, a tényleges oldott oxigén koncentrációt:

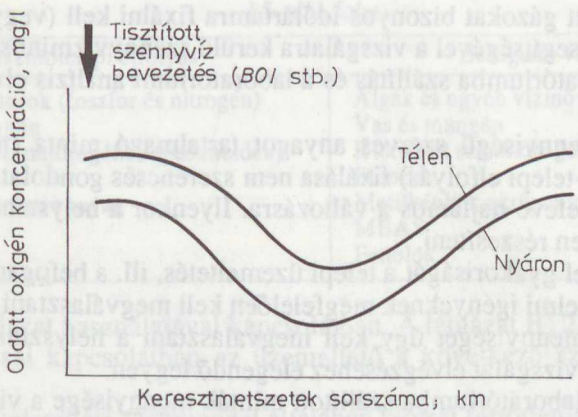
– a hőmérséklet-emelkedés,
– a mellékágak csatlakozása,
– a folyó vízhozama és
– egyéb szennyezőanyag-bevezetések alakíthatják.

Az oldott oxigén koncentráció a folyó hossz-szelvény menti változása az elfolyás hatására, a téli, ill. nyári időszakban, azonos elfolyásterhelést feltételezve, a *155. ábrán* követhető. Az ábrán ábrázolt kapcsolaton túlmenően, ugyanazon az ábrán:

– a különböző napokhoz,
– a különböző hónapokhoz

tartozó oldott oxigén görbék is ábrázolhatók.

Az oldott oxigén görbékkel kapcsolatos üzemeltetési tapasztalatok a következők:



155. ábra. Oldott oxigén koncentráció görbéje a folyó hossz-szelvénye mentén téli és nyári időszakban

1. Ha az oxigénkoncentráció a tisztított szennyvíz folyóba vezetési szelvénye alatti folyószakaszon hirtelen csökken anélkül, hogy a bevezetés helye feletti folyószakaszon hasonló, hirtelen oxigénkoncentráció-csökkenés jelentkezne, az annak a jele, hogy *a szennyvíztisztító telep BOI-eltávolító hatásfoka csökkent, azt javítani kell.*

2. A hirtelen oldott oxigén csökkenést valamely folyóba vezetett ipari szennyvíz által okozott hőmérséklet-emelkedés is okozhatja. Ezt a helyzetet képviselheti *például* az erőművek okozta *hőszennyezés* is.

3. Az elfolyó szennyvíz minőségét képviselő komponensek koncentrációinak hirtelen változása, a tisztítási zavarok, a tisztítótelepi szennyvízhozam hirtelen változása, a telepre érkező szennyvíz minőségének változásai miatt (pl. ipari szennyvizek miatt) jelentkezhet.

4. A szennyvíztisztító telepre érkező szennyvíz minőségének elemzése (input) alapján kideríthető, hogy a tisztítási probléma telepi eredetű, vagy a telepre érkező szennyvíz jellemzőinek változása miatt jelentkezik. Amíg a telepi zavar forrása kideríthető, a befogadó védelme érdekében megfelelő telepi üzemkorrekciókat kell foganatosítani.

6.7. MINTÁZÁS ÉS ANALÍZIS

Az üzemeltető a mintázással és az analízissel kapcsolatban a következőket tartsa szem előtt (Dendy és Hinrichs, 1988):

1. A minták vétele és tartósítása oly módon valósítandó meg, hogy azok a vétel időpontjától a végső analízis végzéséig számottevően ne változzanak. (Például: ha valamely folyóból vett vízminta célja az oldott oxigén koncentráció meghatározása, akkor az analízis előtt meg kell győződni, hogy az oldott oxigén tartalom nem változott-e.)

2. Egyes vízminőségi paramétereket a mintavételt követően azonnal analizálni kell. (Például: oldott oxigén, hőmérséklet, pH.)

3. Egyes oldott gázokat bizonyos időtartamra fixálni kell (vegyszert kell adagolni, amelynek segítségével a vizsgálatra kerülő szennyvízminőségi komponens változása a laboratóriumba szállítás és a laboratóriumi analízis elvégzéséig megakadályozható).

4. Jelentős mennyiségű szerves anyagot tartalmazó minta (mint amilyen a szennyvíztisztító-telepi elfolyás) fixálása nem szerencsés gondolat, mivel az ilyen minta minősége eleve hajlamos a változásra. Ilyenkor a helyszínen történő analízist kell előnyben részesíteni.

5. A mintavétel gyakoriságát a telepi üzemeltetés, ill. a befogadóval kapcsolatos környezetvédelmi igényeknek megfelelően kell megválasztani.

6. A minták mennyiségét úgy kell megválasztani a helyszíni analízisekhez, hogy az a kívánt vizsgálat elvégzéséhez elegendő legyen.

7. A fixált és laboratóriumba szállított minták mennyisége a vizsgálathoz igényelt mennyiség kétszerese legyen. Ezáltal a lehetőség is adott a vizsgálatok ismétlésére.

8. A minták azonosíthatóságára nagy gondot kell fordítani (mintavétel helye, a hely megjelölése a térképen és a helyszínen, időpontja, óra, levegő- és vízhőmérséklet, mintát vevő neve, folyó vízszintje, vízhozam, időjárási viszonyok, csapadék, felhőzet, a megelőző három-négy napi és a mintavételi napon észlelt szélviszonyok feljegyzése egyaránt szükséges). A mintavételi nap és a megelőző napok környezeti tényezői ugyanis jelentősen eltérhetnek egymástól. *A környezeti tényezők pedig a minták minőségi komponenseit alapvetően befolyásolhatják.*

9. Az üzemeltetőnek a tisztított (befogadóba vezetett) szennyvíz és a befogadó folyóvíz egymásra hatásának mindenkori megítélése céljából minimálisan a következő paraméterek meghatározására és összehasonlítására kell törekedni: *85. táblázat* (Dendy és Hinrichs, 1988).

85. táblázat. Szennyvíztisztító-telepi elfolyás és a befogadó vízfolyás minőségi jellemzői

Tisztítótelepi elfolyás	Befogadó vízfolyás
A) *Alapparaméterek*	
1. Vizuális megjelenés (szín, flotálódó anyagok)	Vizuális megjelenés (szín, flotálódó anyagok)
2. Coliform-csoport baktériumok és maradék klór	Coliform-csoport baktérium
3. Biokémiai oxigénigény	Oldott oxigén
4. Szuszpendált lebegőanyagok és ülepíthető lebegőanyagok	Szuszpendált lebegőanyagok és átlátszóság
5. Hőmérséklet	Hőmérséklet
6. pH	pH
7. Szag	Szag
8. Zsír, olaj	Zsír, olaj
B) *Egyes esetekben fontos egyéb paraméterek*	
1. Összes oldott szilárd anyag	Összes oldott szilárd anyag
2. Klór	Klór
3. Keménység	Keménység
4. Toxicitás	Víziállatok egészsége

85. tábl. folyt.

Tisztítótelepi elfolyás	Befogadó vízfolyás
5. Biostimulátorok (foszfor és nitrogén)	Algák és egyéb vízinövények
6. Vas és mangán	Vas és mangán
7. Klórozott szénhidrogének (peszticidek)	Klórozott szénhidrogének (peszticidek)
8. Fluorid	Fluorid
Metilénkék aktív anyag	Metilkénkék aktív anyag
MBAS	MBAS
Fenolok	Fenolok

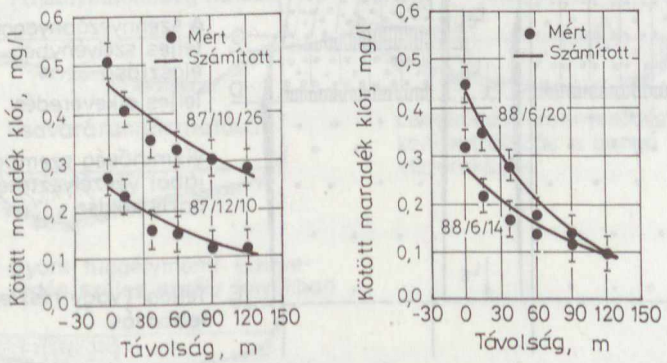
Példa a táblázat használatával kapcsolatban. A táblázat B) 2. pontja alatti klórmeghatározással kapcsolatban az üzemeltető a következő szempontokat tartsa szem előtt.

A tisztított települési szennyvizet általában klórral fertőtlenítik. A nagymértékben nitrifikált telepi elfolyás kivételével az adagolt klór zöme a szennyvízbeli ammóniával lép reakcióba és *kötött maradék klór* (azaz monoklóramin, diklóramin) *keletkezik*, amely a telepi elfolyásban és a befogadó vízben eléggé tartósan megmarad, hiszen a szabad aktív klórnál (hidratogén klór vagy hipoklorit) jóval stabilabb (Jolley és Carpenter, 1983).

A laboratóriumi kutatások szerint (Reckhow et al., 1990) a klórozott települési szennyvizek a vízi élet bizonyos típusaira toxikusak. Ez a toxicitás elsősorban a klóradagolásnak tulajdonított, és legalább egy része a kötött maradék klórvegyületek jelenlétének köszönhető.

Az *U.S. EPA* a krónikus toxicitásra a befogadó vizében 0,011 mg/l összes maradék klór (kötött maradék klór + szabad maradék klór) koncentráció kritériumot, az akut toxicitásra pedig 0,019 mg/l koncentrációt állapított meg. Az üzemeltetőnek a toxikus vegyületek:

– típusaival,
– koncentrációikkal,
– a befogadókbeli sorsukkal (*156. ábra;* Reckhow et al. nyomán, 1990),
– transzportálódásukkal,
– vízi élőlényekre gyakorolt hatásaikkal is tisztában kell lenni.



156. ábra. Diffúziós transzport modellből számított és mért kötött maradék klórkoncentráció változása a folyó hossz-szelvényében. Mérés 1987 októberében és 1988 júniusában

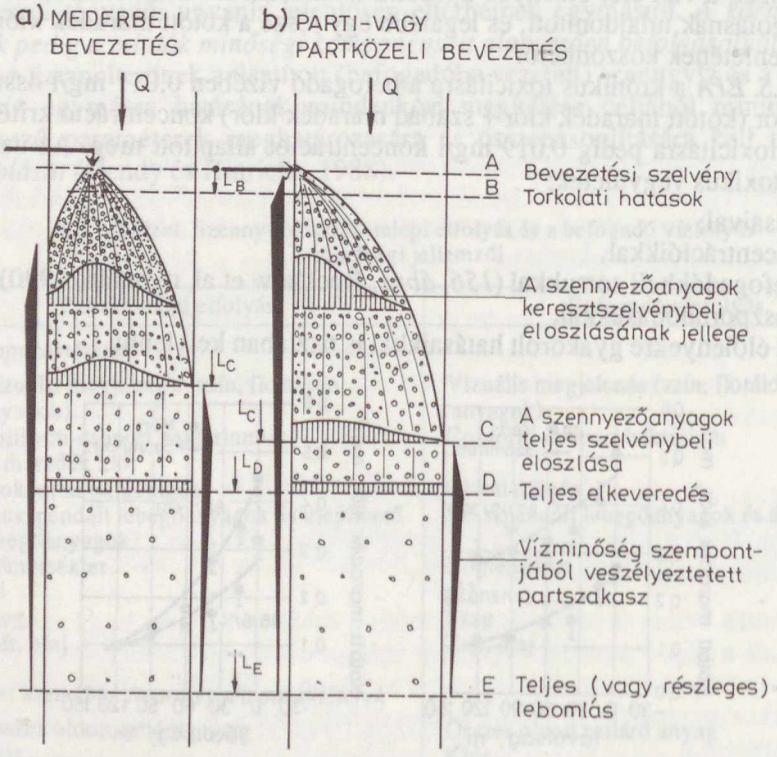
Ezért kell esetenként a *85. táblázat* B) pontja alatti meghatározásokkal is foglalkozni. *Okszerű, környezetvédelmi, ill. vízminőség-szabályozási szempontból elfogadható üzemeltetés a 85. táblázat előző példa szerinti értelmezésén kell hogy alapuljon.*

6.8. A TISZTÍTOTT SZENNYVÍZ BEFOGADÓ VÍZFOLYÁSBA VEZETÉSE

1. A telepi elfolyás befogadóba vezetése a *mindenkori vízszint alatt* történjék. Ezáltal a habzásból és elszíneződésből származó panaszok általában kiküszöbölhetők.

2. A bevezetés kis vízálláshoz tartozó vízszintje alatti bevezetése ellenőrzendő. Meg kell bizonyosodni arról is, hogy az elfolyásbevezetési feltételek (mederviszonyok, maximális vízszint) a tervezettnek megfelelőek maradnak.

3. Ha a vízszint alatti elfolyásbevezetés bizonyos számú kiömlőnyíláson vagy diffúzoron keresztül valósul meg, azok fenntartásáról gondoskodni kell. Meg kell győződni, hogy a bevezető rendszer végső részében lévő tisztítónyílás könnyen hozzáférhető-e. Gyakran bizonyos minimális kifolyást vagy bizonyos minimális áramlási sebességet kell fenntartani, miáltal a diffúzorok eltömődése elkerülhető.

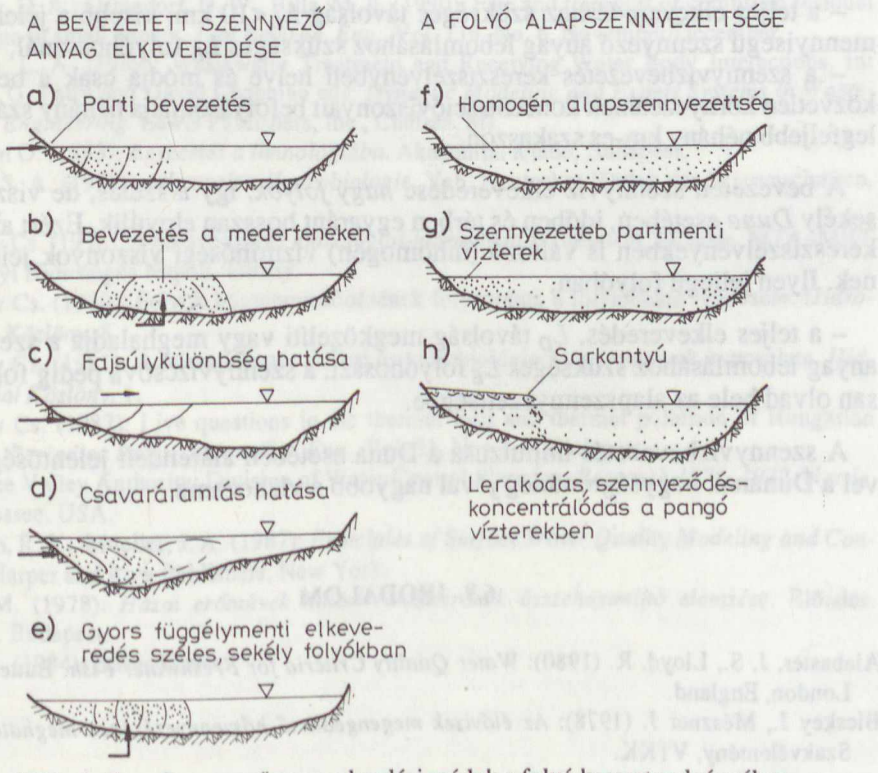


157/a–b ábra. A szennyezőanyag elkeveredése (eloszlása) a folyóban az elfolyásbevezetés módjától függően

4. Egyes esetekben a befogadók vízállása az árvízi időszakban nagyon magas. Ellenőrizni kell, hogy a tisztítótelepi elfolyást biztosító szivattyúk kapacitása és nyomómagassága ezen árvízi időszakban is megfelelő-e.

5. A tisztított szennyvíz folyómederbeli (sodorvonalbeli) vagy part menti bevezetésekor az elkeveredés- és a levonulásviszonyokat a *157/a–b ábra* (Szolnoky, 1980) szemlélteti.

A viszonylag kisebb szélességű folyó *A* keresztszelvényébe bevezetett tisztított szennyvíz áramlása a bevezetés módjától, a folyó- és a szennyvízhozam, ill. impulzus arányától, a sebesség-, sűrűség- és viszkozitásarányoktól függően alakul. Bizonyos hígulás után a *B* szelvényben már a *folyó mozgásállapota* és turbulens diffúziós viszonyai érvényesülnek, amelyek eredményeképpen a szennyvíz a keresztszelvény egyre nagyobb hányadában keveredik el, a *C* szelvényben pedig a folyó teljes szélességében megjelenik. A turbulens elkeveredés miatt később bekövetkezik a *D* szelvényben a szennyezőanyag-koncentráció teljes kiegyenlítődése, majd a szennyező anyagtól és a folyó öntisztulási viszonyaitól függő sebességgel, ill. távolságban *(E)* a szennyező anyag teljes vagy részleges lebomlása. Igen széles és a bevezetett tisztított szennyvízhozamánál nagyságrendekkel nagyobb vízhozamú folyók esetében a keresztszelvénybeli elkeveredés időben és térben rendkívül elnyújtott lehet.



158/a–h ábra. Szennyezőanyag-eloszlási módok a folyó keresztszelvényében

A *158/a–h ábra* (Szolnoky, 1980) szerint a folyó valamely keresztszelvényében a a szennyezőnyag-koncentráció elkeveredése *(158/a–e ábra)*:

– a bevezetés módjától és keresztszelvénybeli helyétől,
– a szennyvíz egyedi tulajdonságaitól (pl. folyóvíztől eltérő sűrűség),
– a folyó hidrológiai és hidraulikai viszonyaitól (pl. vízállás, keresztirányú áramlások),
– a keresztszelvény geometriai viszonyaitól függően alakul.

Az elkeveredés eredményeképpen létrejött szennyezőanyag-eloszlás a folyó *alapszennyezettségére* szuperponálódik, amely a *158/f–h* részlet*ábrák* szerint a folyó keresztszelvényében közel homogén (vagy inhomogén), esetleg valamely helyi hatástól befolyásoltan (pl. a folyó helyszínrajzi viszonyai, keresztirányú folyószabályozási mű) folyásirányban is hirtelen változó lehet.

A *kis és közepes nagyságú folyókon* a közel homogén, illetőleg a gyorsan kiegyenlítődő alapszennyezettség a jellemző. Viszonylag kis távolságon bekövetkezik a bevezetett szennyvíz elkeveredése is, amelyet kis vízfolyások esetében a kis mederszélesség, a nagyobbaknál (pl. Tisza) pedig a meder sajátos geometriai és turbulens diffúziós adottságai, kanyargós, erősen változó mélységű meder indokolnak.

Ilyen kis- vagy közepes hozamú folyóknál tehát:

– a teljes elkeveredéshez szükséges távolság L_D<10 km, kisebb a jelentősebb mennyiségű szennyező anyag lebomlásához szükséges L_E folyóhossznál,
– a szennyvízbevezetés keresztszelvénybeli helye és módja csak a bevezetés közvetlen környezetének koncentrációviszonyait befolyásolhatja néhány száz m-es, legfeljebb néhány km-es szakaszon.

A bevezetett szennyvíz elkeveredése *nagy folyók*, így a széles, de viszonylag sekély *Duna* esetében, időben és térben egyaránt hosszan elnyúlik. Ezért az egyes keresztszelvényekben is változó (inhomogén) vízminőségi viszonyok jelentkeznek. Ilyen jellegű folyóban,

– a teljes elkeveredés, L_D távolság megközelíti vagy meghaladja a szennyező anyag lebomlásához szükséges L_E folyóhosszt, a szennyvízcsóva pedig fokozatosan olvad bele az alapszennyezettségbe.

A szennyvízbevezetés impulzusa a Duna esetében alárendelt jelentőségű, mivel a Dunának nagyságrendileg jóval nagyobb a vízhozama.

6.9. IRODALOM

Alabaster, J. S., Lloyd, R. (1980): *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*. Butterworths, London, England.

Bicskey J., Mészner J. (1978): *Az élővizek megengedhető hőszennyezésének meghatározása*. Szakvélemény, VTKK.

Culp, W. (1979): *Water Reuse.* Vol. 2. Evaluation of Treatment Technology. OWRT/RU–79/2. Report for U.S. Dept. of Interior, Office of Water Research and Technology, Washington. D.C.

Csiti A. (1993): Land disposal of contaminated dredged material and related issues: state of the art review. *Terra et Aqua.* No. 53, December.

Dendy, B. B., Hinrichs, D. J. (1988): Effluent Disposal. In: Kerri et al.: *Operation of Wastewater Treatment Plants.* Vol. II. A Field Study Training Program. Calif. State Univ., Sacramento. (For the EPA.)

Dunai Államok Kutatóinak Munkaközössége (1967): *Limnologie der Donau.* Lief. 3, Stuttgart.

Felföldy L. (1970): *A hőszennyezés.* (Irodalmi Szemle.) VITUKI-jelentés.

Jolley, R. L., Carpenter, J. H. (1983): A Review of the Chemistry and Environmental Fate of Reactive Oxidant Species in Chlorinated Water. In: Jolley, R. L. et al. eds: *Water Chlorination: Environmental Impacts and Health Effects.* Vol. 4., Ann Arbor Science Pub., Ann. Arbor, Mich.

Khalanski, M. (1973): Concéquences biologiques et écologiques du rechauffement artificiel des cours d'eau. *Électricité de France.*

Mitchell, R. ed. (1972): *Water Pollution Microbiology.* Wiley Interscience, New York.

Öllős G. (1978): *Vízellátás.* AQUA Kiadó, Budapest.

Öllős G. (1991): *Szennyvíztisztítás.* AQUA Kiadó, Budapest.

Öllős G. (1992): *Szennyvíztisztítás I.* MTI, Budapest.

Rathbun, R. E., Tai, D. Y. (1982): Volatilization on organic compounds from streams. *J. of the Environ. Eng. Div., Proc. of the ASCE,* Vol. 108, No. EE5, October.

Reckhow, D. A., Ostendorf, D. W., Billa, M. E. (1990): Fate and transport of combined residual chlorine in small stream. *J. of Environ. Eng.,* Vol. 116, No. 6, November/December.

Rossman, L. A. (1989): Wastewater Treatment and Receiving Water Body Interactions. In: Gilles G. Patry and David Chapman eds: *Dynamic Modeling and Expert Systems in Wastewater Engineering.* Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.

Sebestyén O. (1963): *Bevezetés a limnológiába.* Akadémiai Kiadó, Budapest.

Sernow, S. A. (1958): *Allgemeine Hydrobiologie.* Veb. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.

Szolnoky Cs. (1976): *A hőszennyezés hidrológiai-hidraulikai kérdéseiről.* Előadás. MTA–MHT Tihanyi Hidrológus Napok, Tihany.

Szolnoky Cs. (1980): Folyók hőszennyeződésének folyamatai, a folyamatok rendszere. *Hidrológiai Közlöny,* 8.

Szolnoky Cs. (1981): A hőszennyezés fizikai és hidrobiológiai folyamatainak kapcsolata. *Hidrológiai Közlöny,* 1.

Szolnoky Cs. (1987): Live questions in the thermal load and thermal pollution of Hungarian rivers. *Periodica Polytechnica, Civ. Eng.,* Vol. 31, Nos 3–4, Budapest.

Tennessee Valley Authority: Division of Water Control Planning: *Research 1971–1972.* Norris. Tennessee. USA.

Thomann, R. V., Mueller, J. A. (1987): *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control.* Harper and Row Publishers, New York.

Váradi M. (1978): *Hazai erőművek hűtési rendszerének összehasonlító elemzése.* Előadás. MHT. Budapest.

Varga M. (1994): Írásos közlés.

6.10. KÉRDÉSEK

1. Melyek a tisztított szennyvíz lehetséges elhelyezési módjai? (6. fejezet.)
2. Melyek a befogadó vízminőségi kritériumai? (6.2. fejezet.)
3. Mit jelent a híguláson alapuló elfolyáselhelyezés? (6.3. fejezet.)
4. Melyek a toxicitás kritériumok a befogadóban? (6.3. fejezet.)
5. Milyen az önálló minta? (6.7. fejezet.)
6. Milyen az összetett minta? (6.7. fejezet.)
7. Miként lehet az elfolyás toxikus voltát csökkenteni vagy megszüntetni? (6.4. fejezet.)
8. Miként mérhető meg a hőmérséklet a vízfolyásban? (6.5. fejezet.)
9. Miként határozható meg a befogadó mértékadó oldott oxigén koncentrációja? (6.6 fejezet.)
10. Miként vezethető a tisztított szennyvíz a befogadó vízfolyásba? (6.8. fejezet.)
11. Mi a szerepe az elfolyásbevezetés módjának a folyóbeli elkeveredésben? (6.8. fejezet.)

7. A TISZTÍTOTT SZENNYVÍZ ELHELYEZÉSE TALAJBAN

Az előző, 6. fejezet a tisztított szennyvíz *vízfolyásba* helyezésével foglalkozik. A szennyvíztisztító telepek elfolyó szennyvize azonban a *talajban* is elhelyezhető. Ahhoz, hogy a szennyvíz a talajban *elszikkasztható*, beszivárogtatható legyen, vagyis a talaj természetes tisztítóképességét igénybe lehessen venni, a nyers szennyvíz előtisztítása elengedhetetlen. Ezáltal érhető el, hogy az *elszikkasztott szennyvíz lebegőanyag-, ill. szervesanyag-tartalmát az elszikkasztás szempontjából elfogadható mértékig lehessen csökkenteni.* Az elszikkasztás másik fő feltétele az, hogy a szennyvíz mennyisége kevés legyen.

Az előtisztítás *a csatornázatlan területek családi házaiból, a házcsoportokból vagy a nagyon kis településekről, településrészekből* (ahol a laksűrűség <50 fő/ha nagyságrendű) *kikerülő szennyvizek esetében* valósítható meg. Míg a családi ház kertjébe egyedi előtisztítóként szinte kivétel nélkül oldómedencét célszerű telepíteni, addig a házcsoportok összegyűjtött szennyvizei és a nagyon kis települések szennyvizeinek előtisztítására az oldómedencén túlmenően már több tisztítási műveletet magába foglaló kis előtisztító rendszer (7.8. fejezet; *171/a–h ábra*) létesítése szükséges.

Tekintettel a nagyszámú közepes, kis és nagyon kis települések jövőbeni szennyvíztisztítására, az ilyen irányú igényekre, az üzemeltetőnek a tisztított szennyvíz talajban való elhelyezése, az ilyen jellegű eljárások és üzemeltetési tapasztalatok tekintetében is tájékozottnak kell lennie. A 7. fejezet ezt a célt szolgálja.

7.1. A TALAJ MINT SZŰRŐKÖZEG

A részlegesen előtisztított szennyvíz talajba (szűrőközegbe) szivárogtatása (elszikkasztása) hatására:

– a szűrőközeg hézagtérfogata csökken, aminek következtében
– hidraulikai kapacitása kisebbé válik.

A szennyvíz a szűrőközegbe folyamatosan szivárog be, a beszivárgás sebessége azonban idővel az eredetéhez képest jelentősen csökken.

Maga *a szűrés mint tisztítási folyamat*, a viszonylag nagy szerves- és lebegőanyag-terhelés miatt, a beszivárogtató felület (zóna) környezetében *aerob/anaerob* állapotú. A rendszert úgy kell üzemeltetni, hogy a tisztítás lehetőleg *aerob jellegű legyen.*

7.2. AZ ELTÖMŐDÉS FOLYAMATA

Az eltömődéssel kapcsolatos üzemelési tapasztalatok:

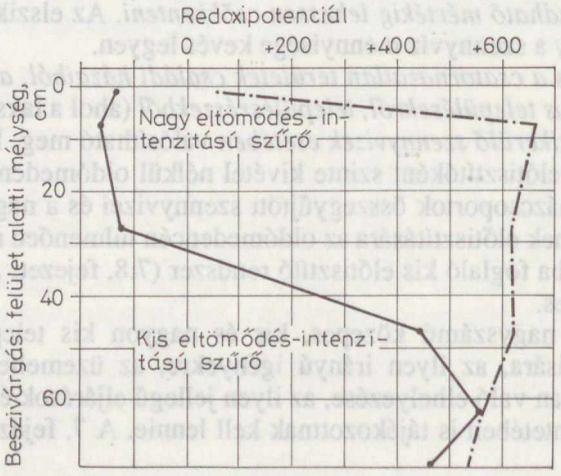
1. A szemcsés közeg felületén, a beszivárgási zónában a baktériumok és egyéb mikroorganizmusok *biológiai hártyát alkotnak.*

2. A beszivárgást korlátozó, hidraulikai szempontból nagyobb ellenállású „másodlagos" réteg a beszivárogtató felület alatt 0,5–5,0 cm vastagságú.

3. Ebben a rétegben főleg lebegőanyagok, baktériumok, különféle élő és elhalt mikroorganizmusok találhatók, amelyek lebonthatók.

A beszivárgási felület környezetében, a talaj pórusaiban a hőmérsékleti viszonyoktól függően, kisebb-nagyobb mennyiségű levegőbuborék hidraulikai ellenállást növelő jelenlétével is számolni kell.

4. A környezet állapota az eltömődés miatt a szűrőréteg mélységében – az eltömődés kialakulásának intenzitásától függően – kisebb-nagyobb mértékben redukált (*159. ábra;* Kristiansen, 1982).



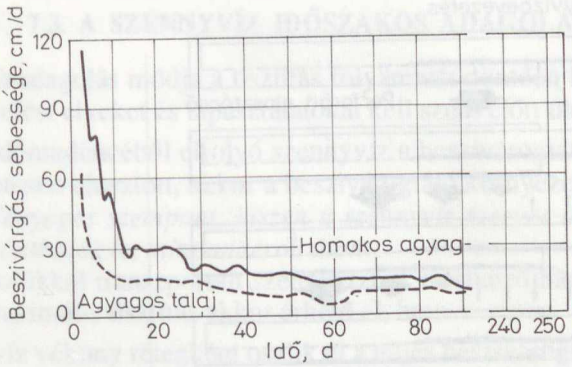
159. ábra. A redoxipotenciál – eltömődéstől függő – mélységbeli változása

5. *Az eltömődött zóna feketés, nyálkás réteg.* A feketés réteg azonban az eltömődött zóna alatt nagyobb mélységben is megfigyelhető. A megnövekedett hidraulikai ellenállás zöme azonban csak a feketés, nyálkás rétegben jelentkezik.

6. A tervezés és az üzemeltetés szempontjából az egyik legfontosabb kérdés – folyamatos beszivárogtatás a különböző kezdeti szivárgási tényezőjű szűrőközeg (talaj) esetében –, hogy a beszivárgás mértéke az idő függvényében miként alakul.

A *160. ábra* (Orlob és Butler, 1955 kutatása) szerint:

1. Valamely szűrőközeg beszivárgási kapacitását elsősorban nem a közeg vízáteresztő képessége, hanem *a képződött hártyás zóna sajátosságai határozzák meg:*



160. ábra. A beszivárgás sebessége különböző vízáteresztő képességű talajok esetében az idő függvényében

– ha a beszivárgási felületre a szennyvíz rávezetése szakaszos, vagyis a keletkezett hártyás zóna az egymást követő szennyvízelárasztások közötti időszakban kiszáradhat, a szűrőközeg eredeti beszivárgási kapacitása gyakorlatilag helyreáll. Ennek magyarázata az, hogy a hártyás rendszer a kiszáradás, a benne lévő szerves anyag lebontódása után megrepedezik. Az agyagtartalmú talajok pihentetése különösen hasznos, mert a beszivárogtatás szüneteltetése időszakában regenerálódnak, így az eredeti beszivárgási kapacitás nagyobb része helyreáll;

– funkcionális szempontból a hártyás zóna biológiai tisztítórendszert képvisel. Emellett a mechanikai tisztító hatás is érvényesül. Noha a hártyás rendszer bizonyos mélységig a rétegbe is benyúlik, zöme a réteg felszínén, ill. annak közvetlen környezetben alakul ki.

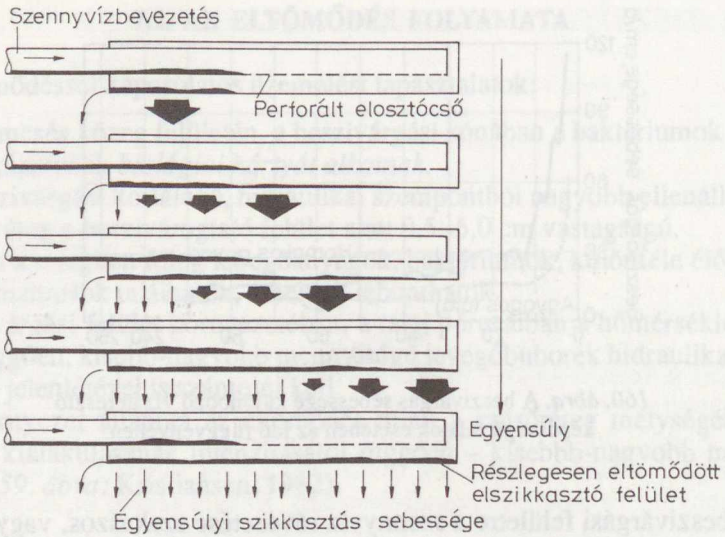
2. Minthogy a hártyás rendszer mechanikai és biológiai szűrő, ebből kifolyólag a szennyvíz beszivárogtatását, majd a környező, mélyebb talajzónába jutását legtöbbször a hártyás zóna hidraulikai jellemzői alapvetően befolyásolják. Kivételt csak a nagyon durva kavicsszűrő és a jelentős agyagtartalmú talajszűrők képezik.

3. *A hártyás rendszer hosszú időtartamú hidraulikai kapacitása 12–20 l/m² · d tartományba esik,* a hidraulikai nyomástól függően (Laak, 1986; Winneberger, 1984). Ez esetben a beszivárgás, a hidraulikai ellenállás már *egyensúlyban lévőnek tekinthető.*

Az eltömődés a tisztítási folyamatot bizonyos mértékig kedvezően befolyásolja abból a szempontból is, hogy a részlegesen eltömődő zóna alatt a háromfázisú zóna kialakulását és fennmaradását segíti (Heidweiller et al., 1989).

Az egyensúlyi állapotnak a teljes beszivárogtató felületen ki kell alakulnia, ezért nagyon fontos, hogy az elárasztás egyenletes legyen. Gyakorlatban az elosztást valamilyen perforált csőrendszer segítségével lehet biztosítani, melyből a szennyvíz a cső környezetének hidraulikai ellenállásától és a csőben áramló víz nyomásától függően szivárog ki.

Tekintettel arra, hogy a két tényező közül elsősorban a csőben uralkodó nyomást tudjuk egyszerűen befolyásolni, *az egyenletes elosztást a szakaszos, nyomás alatti áramlással célszerű biztosítani.* Ezt támasztja alá a *161. ábra* (Metcalf and



161. ábra. A beszivárogtató zóna eltömődése gravitációs és nyomás alatti szennyvízrávezetés esetében

Eddy Inc. nyomán, 1991), mely érzékelteti, hogy ha folyamatosan kevés szennyvíz, kis nyomáson érkezik az elosztórendszerbe, a részleges eltömődés (túlterhelés következtében) a rendszer elejétől a vége irányában fokozatosan következik be, az egyensúly beálltáig.

Az eltömődés folyamatára jellemző:

– Először a perforált cső elején jön létre a terhelés, mivel a hidraulikai feltételek nem teszik lehetővé a csőben való továbbáramlást, a szennyvíz itt hagyja el a csőrendszert, túlterheli a szűrőközeget és eltömődést okoz. Az oldómedencéből érkező, anaerob állapotú szennyvíz azon túlmenően, hogy a talajban az aerob körülményeket nem segíti, az eltömődés következtében bizonyos mértékig még a háromfázisú tér kialakulását is gátolja.

– A továbbiakban a folyamatosan érkező, kis nyomású és kis hozamú szennyvíz az eltömődött szakaszon csak kismértékben tud beszivárogni, mivel annak hidraulikai ellenállása megnőtt. Így az intenzívebb beszivárgás az elosztó perforált csövek távolabbi szakaszára tevődik, és ott is a kezdetihez hasonló túlterhelés és eltömődés jelentkezik.

– A folyamat mindaddig halad tovább, míg az egész perforált csőrendszer környezetének részleges (egyensúlyi) eltömődése bekövetkezik. *Ez az üzemeltetés azonban a szakaszos adagolással tehető biztonságossá.*

A teljes beszivárogtató rendszer egyensúlyi helyzete a szakaszos, nyomás alatti elárasztás (adagoló szifon vagy szivattyú segítségével) esetében is létrejön. Az eltömődés folyamata ilyen esetben a teljes rendszerben egyidejűleg játszódik le, ami előnyös.

7.3. A SZENNYVÍZ IDŐSZAKOS ADAGOLÁSA

A szennyvízadagolás módja a tisztítás folyamatát döntően befolyásolja. A következő üzemelési elveket és tapasztalatokat kell szem előtt tartani:

1. Ha az oldómedencéből elfolyó szennyvíz a beszivárogtató mező teljes felületére egyenletesen elosztott, akkor a beszivárogtató környezet rendszerint *aerob állapotú. Ez lényeges szempont, hiszen a szennyvíz szerves anyagai aerob úton gyorsabban bonthatók le, mint anaerob úton.*

2. Az adagolókkal transzportált szennyvízből keletkező hártyarendszer kisebb mértékű. A maximális tisztítás akkor érhető el, ha:

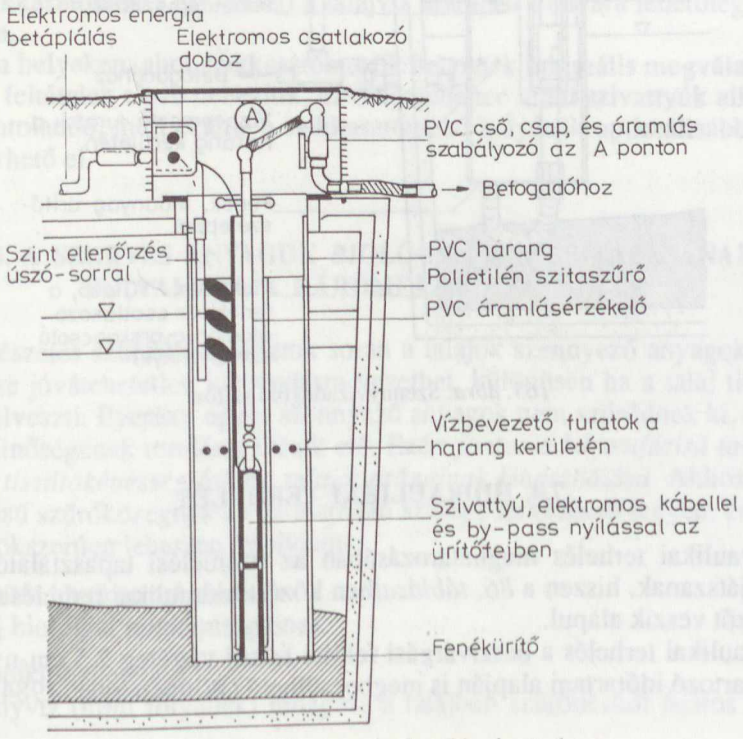
– a szennyvíz vékony rétegként oszlik el a teljes beszivárogtató felületen és
– a talaj legfelső zónájában *háromfázisú szűrőrendszerben halad át.*

3. A tapasztalatok szerint a szennyvíz azonban még szemcsés közegben is igyekszik önlló csatornákban, kétfázisú rendszerben szűrődni lefelé. Ez a jelenség gyorsszűrőkben és egyéb szivárgási folyamatok esetében is megfigyelhető (Öllős és Lipták, 1964).

4. A nagy vízáteresztő képességű talajok esetében a hatékony tisztítás eléréséhez:

– az időszakos adagolás,
– a kis dózisok,
– az egész beszivárogtató felületre való egyenletes szennyvízelosztás

szükséges.



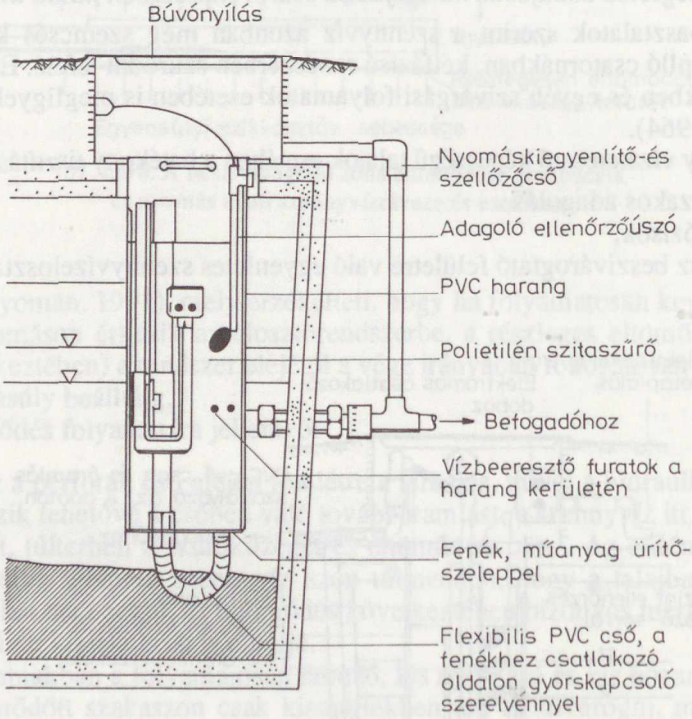
162. ábra. Szennyvízadagoló szivattyú

5. Az adagolás

– speciális tervezésű szivattyúval *(162. ábra)* vagy
– szifonnal *(163. ábra)*

valósítható meg (Orenco Systems Inc.).

6. Minthogy a beszivárogtató rendszer az adagolás után rendszerint nem tócsásodik, ezért a tervezők hajlamosak a beszivárogtató felület csökkentésére. Az üzemeltetéskor azonban arra kell ügyelni, hogy *az igényelt beszivárogtató felület csökkentése ne legyen olyan mértékű, amikor a teljes beszivárogtató mező alatt kétfázisú (szaturált) beszivárgás jelentkezik.*



163. ábra. Szennyvízadagoló szifon

7.4. HIDRAULIKAI TERHELÉS

A hidraulikai terhelés meghatározásában az üzemelési tapasztalatok fontos szerepet játszanak, hiszen a *86. táblázat*ban közölt hidraulikai terhelések csupán a *k* tényezőt veszik alapul.

A hidraulikai terhelés a beszivárgási felület feletti vízréteg 2,5 cm-nyi süllyedéséhez tartozó időtartam alapján is megbecsülhető (Winneberger, 1984).

86. táblázat. Az elszikkasztható vízmennyiség, a szivárgási tényező, talajfajták szerint

Talajfajta	Szivárgási tényező közelítő értéke, m/d	Elszikkasztható szennyvízmennyiség fajlagos értéke, $l/m^2 \cdot d$
Kavics, durva homok	10^2–10^3	10^5–10^6
Durva–közepes szemcséjű homok	10^1–10^2	10^4–10^5
Finom homok, agyagos homok	10^0–10^1	10^3–10^4
Homokos agyag, agyag	10^{-1}–10^0	10^2–10^3
Agyag, porózus iszapos agyag	10^{-2}–10^{-0}	10^1–10^3
Iszapos agyag	10^{-3}–10^{-1}	10^0–10^2
Agyagok, kollodiális anyagok	$\leq 10^{-3}$	$\leq 10^0$

7.5. A SZIKKASZTÓMEZŐ ELHELYEZÉSE

A szikkasztórendszer fő telepítési szempontjai:

1. szikkasztás szempontjából a lehető legmegfelelőbb talaj álljon rendelkezésre,
2. a szennyvizet a lehető legegyenletesebben kell elosztani, miáltal a tisztítás és az asszimiláció maximalizálható,
3. a szikkasztóárok vagy -mező a talajvíz áramlási irányára lehetőleg merőleges legyen,
4. olyan helyeken, ahol szikkasztómezők helyének optimális megválasztását a korlátozó feltételek eleve nehezítik, az oldómedence utáni szivattyúk alkalmazása megfontolandó, mert ezáltal a szikkasztómező helyének optimálisabb megválasztása érhető el.

7.6. A SZERVES ANYAGOK BIOLÓGIAI STABILIZÁLÁSÁNAK FOLYAMATA A HÁROMFÁZISÚ TALAJBAN

A természetes szűrési folyamatok során a talajok szennyező anyagokkal való túlterhelése jóvátehetetlen károsodásra vezethet, különösen ha a talaj tisztítóképességét elveszti. Ilyenkor egyes szennyező anyagok nem szűrődnek ki, hanem a talajvíz minőségének romlását idézik elő. Ezért *fontos a háromfázisú talajtér jelenléte és tisztítóképesség-fokozó tulajdonságainak kihasználása.* Ahhoz, hogy a háromfázisú szűrőközegnek ez az alapvető szerepe tervezhető legyen, és az üzemeltetést okszerűen lehessen lefolytatni:

– a tisztítás hatékonyságának és
– a talaj biológiai tulajdonságainak

ismerete nélkülözhetetlen.

A szennyvíz (mint folyadék) mozgása a talajbeli szűrődéskor fontos szerepet játszik:

1. a szennyező anyagokat, így a szubsztrátumot is szállítja, ezáltal a mikroorganizmusok szaporodását segíti,
2. a mikroorganizmusok és az oldott szerves anyagok (szubsztrátumok) közötti kontaktidőt determinálja,
3. a talajbeli mikrobiológiai szaporodás viszont a talaj hidraulikai sajátosságait befolyásolja, ami viszont
4. a talajbeli biomasszára gyakorol hatást.

A szűrődés mértéke és a mikrobiológiai szaporodás közötti egymásra hatás teszi a biotalajokat önszabályozókká. A biotalaj-rendszer oly módon optimalizálható, hogy valamely szennyezőanyag-maradék koncentrációja adott mélységben a kívánt értékű legyen.

A mikrobiológiai tevékenység különösen a kezdeti 10–30 cm mélységben jelentős, ahol a biológiai szempontból limitáló tápanyagok jelenléte bőséges biomasszát eredményez. A talajbeli mikroorganizmusok általi szennyezőanyag-stabilizálás elsősorban ebben a bioaktív talajrétegben jelentkezik, ahol az nemcsak a talaj-mikroorganizmusok számától (koncentrációjától), de a mikroorganizmusok és a szennyező anyagok közötti kontaktidőtől is függ.

A szűrődés sebessége a tartózkodási időt eleve determinálja. Így a tartózkodási idő közelítőleg a bioaktív talajzóna vastagsága/szűrődés sebessége hányadosaként számítható.

A talajba jutó szennyező anyagok (így a tápanyagok) koncentrációja különböző reakciók, mint az:

– adszorpció,
– ioncsere,
– csapadékképződés,
– stabilizálódás

révén csökken (Landon és Matry, 1979). Ismert, hogy *valamennyi fizikokémiai mechanizmus, így az adszorpció is, mindig eléri az egyensúlyi állapotot.* Ez szempontunkból annyit jelent, hogy az adszorpció által, ezen egyensúlyi állapot elérését követően, további szennyezőanyag-koncentráció csökkenés nem várható, kivéve, ha egyidejűleg egyéb mechanizmusok, mint például a biodegradáció az adszorpciós helyeket regenerálja.

Ésszerű tehát azt feltételezni, hogy a *biotalajban a biodegradáció az utolsó eltávolító mechanizmus. A lényegében aerob állapotú biodegradáció hatékony voltának kialakulásához és fenntartásához azonban a háromfázisú talajzóna jelenléte elengedhetetlen.*

A talajrészecskék felületén rögzült mikroorganizmusok az exogén szénforrás hiánya miatt „éhezhetnek", *különösen a szakaszos terhelésű szikkasztórendszerekben.* Az „éhezési" időszakban a baktériumok „oldódhatnak", ezáltal más életképes baktériumok szubsztrátumává válhatnak (endogén fázis).

A baktériumok jelenlétének módja a háromfázisú talajban a kétfázisú talajbeli módtól eltérő. *A baktériumok a folyadék–levegő határfelületen igyekeznek kolóniákat alkotni,* így az oldott szennyezőanyag-fázishoz és az oldott oxigénhez közvetlenül hozzáférnek. Ez a mátrixszerű jelenlétük a tápanyagfelvételt különösen a

szakaszos szikkasztórendszerekben segíti. Ilyen esetekben a szennyezőanyag-eliminálást:

– a folyadékfilm vagy
– a biofilm

szabályozza.

A szikkasztófelület és a talajvízfelszín közötti háromfázisú talajtérben a szennyvízmátrixban lévő szennyező anyag:

– *a talajvízbe* és
– *a talajfelszínhez*

vándorolhat. Éves alapon a szennyvíz nettó szűrődése a talajvíz irányába hat. Ezért *a szűrődő szennyvíz* a szennyező anyagok elsődleges transzportálója a talajvízbe. A háromfázisú zónában a levegőmozgást az egymással kapcsolatban álló pórustérfogatbeli nyomás és a hőmérséklet eloszlása szabályozza. A *levegő* az elsődleges médiuma a szennyező anyagok diffúzió általi atmoszférába történő transzportálódásának. Egyes esetekben a biokémiai folyamatok révén jelentősebb mennyiségű gáz keletkezik, amely a pórustérfogatban eredetileg jelen lévő levegőt kiszorítja, és így a szennyező anyagok is a talajfelszín irányába transzportálódnak.

A talajfázis általában adszorbeáló médium, amely szűrőként funkcionál a szennyező anyag és a talajfelszín, valamint a szennyező anyag és a talajvíz közötti háromfázisú zónában (Nair et al., 1990).

7.7. SZIKKASZTÓRENDSZEREK

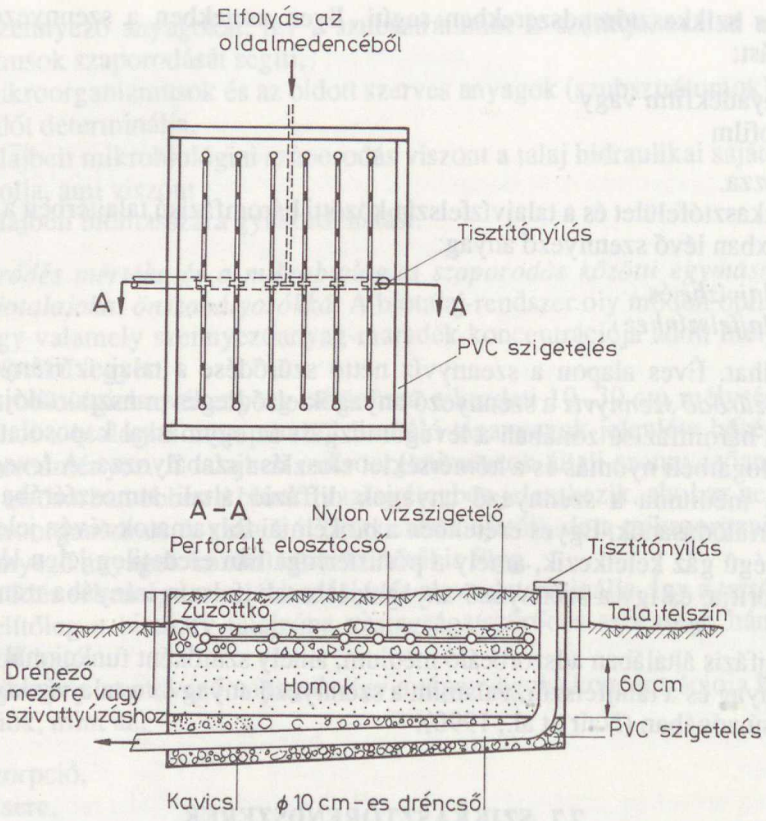
7.7.1. SZAKASZOS TERHELÉSŰ HOMOKSZŰRŐ

7.7.1.1. A HOMOKSZŰRŐ KIALAKÍTÁSA

A kis kiterjedésű telkeken, ahol szikkasztásra nem áll rendelkezésre elegendő terület, a szennyvíz a talajba helyezés előtt *homokszűrőn vezethető keresztül.*

A szakaszos terhelésű homokszűrők sekély, 60–80 cm vastag homokágyak (*164. ábra;* Metcalf and Eddy Inc., 1991). Fent szennyvízelosztó perforált csővezetékek, alul drénrendszer van. A homokszűrőből a drénrendszeren át távozó szennyvíz további tisztítás céljából szikkasztóárok-rendszerbe kerülhet, vagy fertőtlenítés után valamely felszíni befogadóba juttatható. A legtöbb szakaszos terhelésű homokszűrő föld alatti (bár nyitott szűrők is előfordulhatnak).

A szennyvíz tisztítása a szakaszos terhelésű homokszűrőkben a fizikai, kémiai és a biológiai transzformációk révén jelentkezik. A lebegőanyagokat elsősorban a mechanikai szűrési és ülepítési hatások távolítják el. A baktériumok a szűrőközegben hártyás rendszert alkotnak (kolonizálódnak), így másodlagos szűrőréteg is keletkezik. Az így finomuló hézagtérfogatú szűrőtérben a lebegőanyagok további, egyre jobb hatásfokú kiszűrése jellemző. A BOI_5 eltávolítását és az ammónia nitráttá oxidálását (nitrifikáció) az aerob baktériumok jelenléte biztosítja. A nitrát



164. ábra. Szakaszos üzemű homokszűrő

nitrogéngázzá alakítása (denitrifikáció) kb. 50%-os hatásfokú. A denitrifikációt az anaerob baktériumok idézik elő, amelyek a szűrőközeg anaerob mikrokörnyezeti elemi térfogataiban léteznek. A mikroszennyező anyagokat a kémiai és fizikai szorpciós folyamatok segítik eltávolítani. *Az állandósult hatékony tisztítás biztosítása érdekében a szűrőrétegben aerob állapotot kell fenntartani.* Ez a követelmény:

– a szakaszos terhelés és
– a drénrendszer hatékony szellőztetése

révén elégíthető ki.

A szakaszos táplálású homokszűrő tervezési-üzemelési adatait a *87. táblázat* foglalja össze.

A szakaszos terhelésű homokszűrő *előnyei:*

– kis létesítési költség, főként a kézi munkaerőigény miatt,
– tervezés és üzemeltetés egyszerű,
– a nem képzett üzemeltető is megfelelő munkaerő,
– vegyszeradagolás nem szükséges,

87. táblázat. A szakaszos táplálású és recirkulációs szűrők tervezési és üzemeltetési adatai (Anderson et al., 1985)

Paraméter		Tervezési adat, illetve tartomány			
		szakaszos táplálású		recirkulációs	
		tartomány	tipikus	tartomány	tipikus
Előtisztítás		Ülepítés (oldómedence vagy ezzel ekvivalens)			
Szűrőközeg	anyag	mosott szemcsés anyag (homok)			
	effektív átmérő, mm	0,5–1,0	0,35	1,0–5,0	3,0
	egyenlőtlenségi tényező, UC	<3,5–4	3,5	<2,5	2,0
	rétegvastagság, cm	40–90	60	40–90	60
Drén-rendszer	drén anyaga	mosott kavics vagy zúzott kő			
	szemcseátmérő, cm	0,6–1,8		0,6–1,8	
Dréncső	rendszer	réselt vagy perforált cső			
	átmérője, cm	7,5–10	10	7,5–15	10
	lejtése, %	0–1,0	vízszintes	0–1,0	vízszintes
	szellőztetés	felfelé irányuló			
Egyéb paraméterek	recirkulációs arány			3:1–5:1	4:1
	adagolásgyakoriság, naponta	3–6	4		
	adagolásgyakoriság, min/30 min			1–10	4
	adagolótartály-térfogat, napi hozam	0,5–1,0	0,5	0,5–1,0	0,5
	lebegőanyag- és BOI_5-eltávolítás, mg/l		<10		

– a homok gyakran a helyszínen található,
– kis energiaigény,
– jó tisztítási hatásfok.

Hátrányai:

– legtöbbször előtisztítás szükséges (legalább ülepítés),
– a nyitott szűrő esetében szagproblémák jelentkezhetnek,
– tekintélyes teleknagyságra van szükség,
– az alacsonyabb hőmérséklet a tisztítási hatásfokot jelentősen csökkenti,
– ha a homok nem helyi anyag, a szűrő létesítése költséges.

A szakaszos táplálású szűrő nem öblíthető, ezért rajta a lebegőanyagok akkumulálódnak. A szűrő felületén hártya-iszapréteg alakul ki. A táplálás szüneteltetése időszakában ez a réteg repedezik, szervetlen anyagúvá válik, s lassan megváltoztatja hártyás jellegét, eltűnik.

Az előtisztítás utáni, szennyvízben maradt lebegőanyag egy része azonban a homokréteg felső zónájába is behatolhat. Emiatt a homokréteg legfelső vékony zónáját időnként el kell távolítani és helyette új homokot kell a homokszűrő tetejére juttatni. Az iszapréteg és az eltávolított homok a helyszínen feltöltésbe helyezhető.

A talajfelszín alá telepített, talajjal fedett szűrő úgy tervezendő, hogy *fenntartási igény nélkül 20 évig jó hatásfokú legyen* (Martin és Martin, 1991).

A nyitott homokszűrő tetején tócsásodás nem keletkezhet, mert akkor szeptikus hatásra, kellemetlen szagokra és gyenge minőségű szűrletre kell számítani. A tócsásodás azt jelzi, hogy a szűrő tisztításra szorul.

A szűrő teteje síkban kell maradjon, rajta fű stb. nem telepedhet meg. Ilyen típusú szűrőtelepeken azonban az enyhe szag nem küszöbölhető ki.

A nyitott homokszűrő, amint az előző üzemeltetési tapasztalatok érzékeltetik, számos üzemeltetési problémát rejt, ezért alkalmazása *aligha ajánlható*. A lakóházak közvetlen közelében az ilyen környezeti problémák nagyon kellemetlenek lehetnek.

A szakaszos terhelésű szűrő alig kíván üzem közbeni szabályozást. Ha a szennyvizet rávezetjük, a porózus közeg aktív biológiai tisztítóképességét néhány napon, ill. néhány héten belül elnyeri, és ekkor a BOI_5- és a lebegőanyag-koncentráció a szűrőből távozó szennyvízben gyorsan csökken. A nitrifikáció a szemcsemérettől, a hidraulikai terheléstől, a környező atmoszférabeli hőmérséklettől függően 2 héttől 6 hónapig terjedő időszakban kifejlődik. A hideg szűrőre gyakorolt hatását fedőréteggel kell csökkenteni, mivel a baktériumok szaporodása a lehűléssel rohamosan lassul, ill. csökken.

A kisebb mértékű szabályozás a hidraulikai terhelés (dózis) és az adagolás ismétlődési gyakorisága változtatásával érhető el.

A szakaszos táplálású homokszűrők előtt valamilyen előtisztítás feltétlenül szükséges. Oldómedence, kétszintes ülepítő, előülepítő, csepegtetőtest, eleveniszapos tisztítás stb. jöhet szóba, a végső tisztítási követelménytől függően. A homokszűrőn átszűrődő szennyvíz fertőtleníthető.

A szakaszos táplálású homokszűrő-rendszer természetes homokrétegbe telepítésekor ügyelni kell, hogy *előtisztított szennyvíz a talajvízbe ne szűrődjön le*, és így a talajvíz ne szennyeződjön. Ahol a lejutás valószínűsíthető, a talajvíz-szennyeződés veszélye fennáll. Ilyenkor a szűrőrendszer vízzáró alappal vagy műanyag fóliával együtt alakítandó ki. Ez esetben természetesen az építési költség nagyobb.

A szakaszos táplálású homokszűrő-rendszer alkalmasságát az üzemeltetési tapasztalatok bizonyítják. *Viszonylag olyan kis költségű szennyvíztisztítási módszernek tekinthető, amelynek tisztítási hatásfoka nagy.* A módszer megbízható és minimális üzemeltetési figyelmet igényel. Energiaigénye – még átemelés esetén

is – kicsi, kisebb, mint 0,55 KWh/m^3. Az üzemeltetéshez és fenntartáshoz kevésbé szakképzett dolgozók is alkalmasak. A BOI_5- és lebegőanyag-eltávolítás hatásfoka a 95%-ot is meghaladja. Megfelelő üzemeltetés esetében a szűrőkből távozó szennyvíz N-koncentrációja kisebb, mint 5 mg/l.

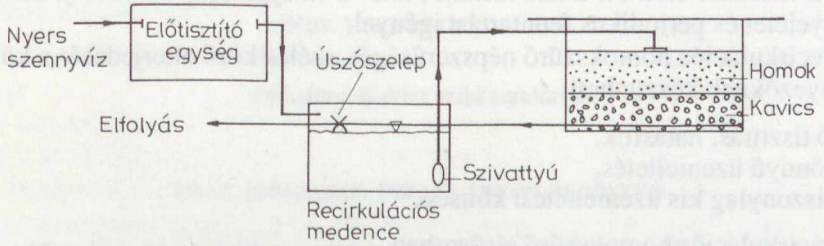
A módszer alkalmas kisebb hozamú, települési szennyvizek tisztításához is (Martin és Martin, 1991).

7.7.2. RECIRKULÁCIÓS HOMOKSZŰRŐ

A szakaszos táplálású homokszűrés *szagproblémáinak kiküszöbölése céljából* a *165. ábrán* látható recirkulációs homokszűrőt vezették be.

Ezen eljárás célja:

– szagprobléma eliminálása és
– nagyobb fokú tisztítás biztosítása.



165. ábra. Recirkulációs homokszűrő-rendszer

Funkcionális szempontból a recirkulációs homokszűrő a szakaszos táplálású homokszűrővel *(164. ábra)* azonos. Fő különbségek:

– az oldómedencéből vagy más előtisztító egységből elfolyó szennyvíz a homokszűrőn keresztül recirkuláltatott,
– a szűrőanyag (durva homok vagy finom kavics) szemcsemérete nagyobb, mint a hagyományos szűrő esetében,
– a hidraulikai terhelés a szakaszos táplálású homokszűrő terhelésénél nagyobb *(87. táblázat)*.

A recirkuláltatáshoz recirkulációs medencét is alkalmazni kell. Ez a medence fogadja

– az oldómedence elfolyó szennyvizét és
– a homokszűrt szennyvizet

avégből, hogy az így keletkezett keverék szennyvizet a medencébe telepített recirkulációs szivattyú 5 cm-es dózisokban, naponta 48-szor a homokszűrőre adagolja.

A recirkulációs aránnyal növelt terhelés a szakaszos táplálású rendszerhez viszonyítva nagyobb.

A recirkulációs medence térfogata akkora legyen, hogy az oldómedencéből távozó 1/2–1 napi elfolyást magába tudja fogadni.

A recirkulációs homokszűrővel tisztított szennyvíz minőségét jelző átlagos koncentrációk:

BOI_5	4 mg/l,
lebegőanyag	5 mg/l,
fekál coliform	kb. 10^5/100 ml.

A szagszint, ha egyáltalán észlelhető, alacsony, mert az oldómedencéből elfolyó szennyvíz a recirkulációs medencében lévő tisztított, általában >5 mg O_2/l oxigéntartalmú szennyvízzel keveredik. Ha a szennyvíz szintje az úszószelepet eléri, a szűrlet a gyűjtőtartályban lévő szivattyúhoz transzportálódik. Ez a szivattyú a tisztított szennyvizet a környezeti viszonyoktól függően a megfelelő helyre továbbítja.

Felszíni vízbe (befogadóba) vezetés vagy öntözés előtt a szűrőből távozó tisztított szennyvíz fertőtleníthető. Bizonyos típusú szűrők a nitrogént jelentősen csökkentik.

Ez a tisztítási mód ott alkalmazható, ahol a talajabszorpció nem jöhet szóba. Felügyeletet és periodikus fenntartást igényel.

A recirkulációs homokszűrő népszerűségét, széles körű elterjedését a következő tényezőknek köszönheti:

– jó tisztítási hatásfok,
– könnyű üzemeltetés,
– viszonylag kis üzemeltetési költség.

A recirkulációs homokszűrő elsősorban

– apartmanépület,
– házcsoport és
– nagyon kicsi település

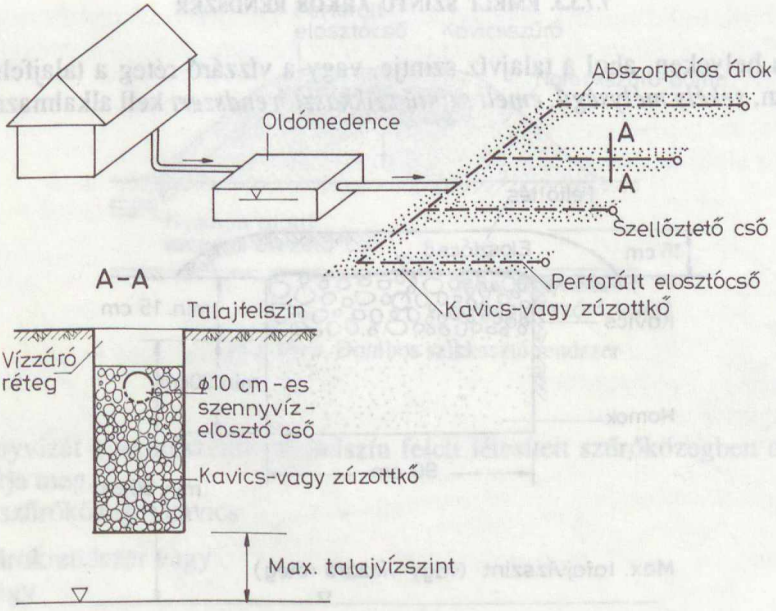
szennyvizeinek tisztítására alkalmazott.

A recirkulációs homokszűrő paramétereit, adatait, tartományait a *87. táblázat* tartalmazza.

7.7.3. SZIKKASZTÓÁROK

7.7.3.1. KAVICS SZIKKASZTÓÁROK

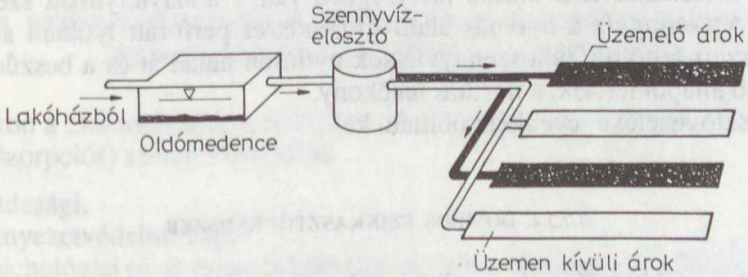
A kavics szikkasztóárok *(166. ábra)* sík területen, megfelelő mélységben lévő talajvízszint esetében általánosan alkalmazott rendszer. A szennyvíz az előtisztító oldómedencéből zárt csővezetékben folyik a perforált elosztó csőrendszerbe, majd abból az azt körülvevő kavicstöltésű árokrendszerbe. Innen a szennyvíz a talajba szűrődik, ahol biológiai úton tisztul meg. Az árokbeli szennyvíz szintje megfigyelőcsöveken át ellenőrizhető. Az oldómedencéből szabályos időközökben történő szippantás elősegíti, hogy az árokba kevesebb lebegőanyag kerüljön, így annak élettartama hosszabbodik. Jó tisztítási hatásfokú oldómedence esetén *az árok váltakozó pihentetése* az árokrendszer élettartamát növeli.



166. ábra. Kavics szikkasztóárok

7.7.3.2. IDŐSZAKOS ÜZEMŰ ÁRKOS RENDSZER

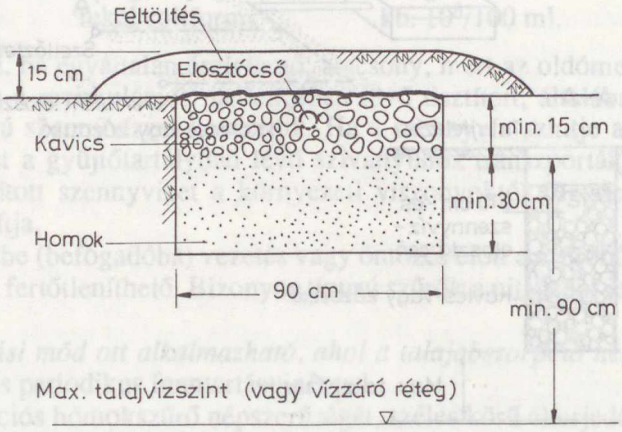
Az időszakos üzemű árkos rendszer elsősorban lejtős területen alkalmazható (*167. ábra;* Kreissl, 1982). A szennyvíz az előtisztítóból először a legmagasabban lévő árkokat tölti meg, majd az elosztón át a következő, alacsonyabban fekvő árokba folyik. Így a szennyvíz valamennyi, egyidejűleg működő árkot eláraszt. Ezt követően a legfelső elosztóárokba vezető nyílásának elzárásával a szennyvíz az addig üzemen kívüli árokrendszerbe terelhető. A wisconsini kutatások szerint a már eltömődött talajzóna regenerálásához *3–4 heti üzemen kívül helyezés szükséges* (USEPA, 1978).



167. ábra. Időszakos üzemű árkos rendszer

7.7.3.3. EMELT SZINTŰ ÁRKOS RENDSZER

Olyan helyeken, ahol a talajvíz szintje, vagy a vízzáró réteg a talajfelszínhez közel van, *sekély mélységű, emelt szintű szikkasztórendszert* kell alkalmazni *(168. ábra)*.



168. ábra. Emelt szintű árkos rendszer

Az oldómedencéből elfolyó szennyvíz a szikkasztóárokba gravitációs vagy nyomás alatti csővezetéken keresztül vezethető. Az árok fölé, a természetes talajfelszínre, a fagyveszély elhárítása céljából, gyakran 15–40 cm vastag földréteget alakítanak ki.

A sekély mélységű szikkasztóárok-rendszer funkcionális szempontból a szakaszos táplálású homokszűrés *(164. ábra)* és a hagyományos szikkasztómezős rendszer kombinációjának tekinthető.

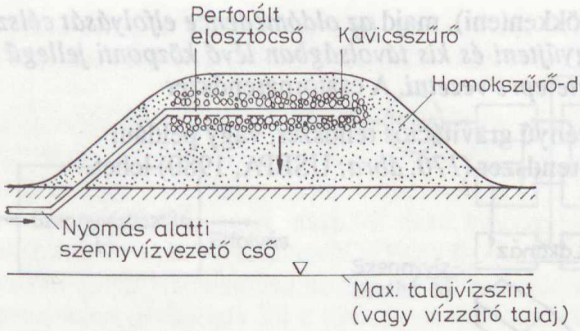
A sekély elszikkasztó árokrendszer tisztítóképessége nagymértékű, jó hatásfokú. A szennyvíz elszikkasztórendszerre való egyenletes rávezetését biztosító nyomás alatti csőrendszer kulcsszerepet játszik.

A kis átmérőjű, kis nyomás alatti elosztó csőrendszer tehát a hagyományos rendszer csőrendszerénél kisebb mélységben van, s a szivattyúzott szennyvizet fogadja. A szennyvíz a nyomás alatti csőrendszer perforált lyukain át a teljes árokrendszert feltölti. Ha a szennyvíz sok nyíláson halad át és a beszűrődés helyén aerob állapot létezik, a tisztítás hatékony.

Az elosztóvezetéket évenként öblíteni kell.

7.7.3.4. DOMBOS SZIKKASZTÓRENDSZER

A dombos szikkasztórendszer olyan szakaszos táplálású, áteresztő talajból épített, mesterséges szikkasztórendszer, amely a természetes talajfelszín szintje felett kialakított (*169. ábra;* EPA, 1980). Ez a rendszer az oldómedence elfolyó



169. ábra. Dombos szikkasztó rendszer

szennyvizét a természetes talajfelszín felett létesített szűrőközegben osztja el és tisztítja meg.

A szűrőközeget kavics

– árokrendszer vagy
– ágy

alkotja.

Az oldómedence elfolyó szennyvizét szivattyúval táplált, nyomás alatti csövek vezetik az elosztórendszerbe. A kavicsréteg fölé fedő talajréteg kerül.

A dombos szikkasztórendszert mint *alternatívát* ott alkalmazzák, ahol

– a talaj vízáteresztő, de a talajvíz vagy a vízzáró réteg szintje a földfelszínhez nagyon közel van, így a hagyományos rendszerek alkalmazása eleve kizárt,
– az altalaj agyagos, tehát kis vízáteresztő képességű,
– a talajfelszín lejtése <12%.

Az alkalmazhatóság további kritériuma az, hogy a domb homoktalaján átszűrődő tisztított szennyvíz természetes vagy mesterséges úton elvezethető legyen. Ha ez a feltétel teljesül, akkor *az elszikkasztás függősége a talajvíz szintjétől gyakorlatilag kiküszöbölhető.*

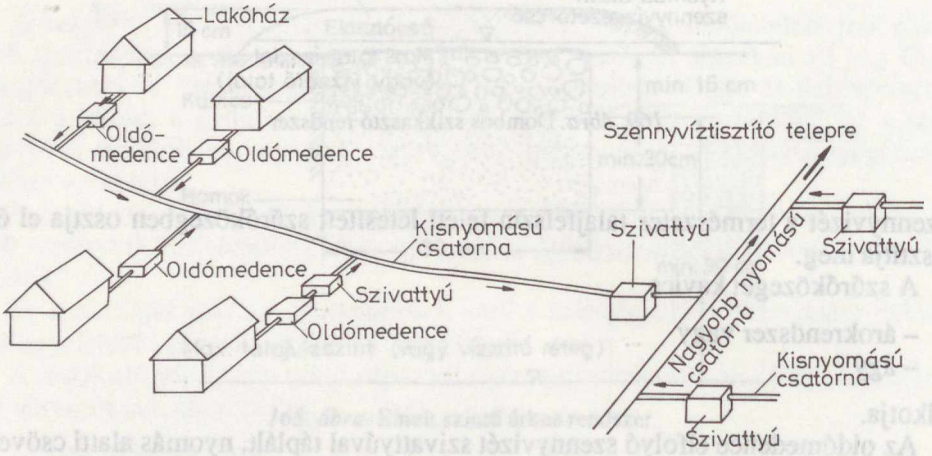
7.8. SZENNYVÍZTISZTÍTÓ RENDSZEREK LAKÓHÁZCSOPORTOK ÉS NAGYON KIS TELEPÜLÉSEK SZÁMÁRA

Azokon a csatornázatlan területeken, ahol a helyi, telkeken belüli elszikkasztásos (abszorpciós) szennyvíztisztítás

– gazdasági,
– környezetvédelmi vagy
– pszichológiai okok miatt (a lakosság egy része idegenkedik attól, hogy a lakóházát övező telkén tisztítsa meg saját szennyvizét) nem valósítható meg, számos esetben a házcsoportokból vagy a nagyon kis településből származó kis mennyiségű szennyvíz lebegőanyag-tartalmát továbbra is helyi oldómedencével célszerű

eltávolítani (ill. csökkenteni), majd *az oldómedence elfolyását célszerű csatornarendszerrel összegyűjteni és kis távolságban lévő központi jellegű szennyvíztisztító, ill. -elhelyező telepre vezetni.* A csatornarendszer

– minimál szelvényű gravitációs rendszer, vagy például
– nyomás alatti rendszer (*170. ábra;* USEPA, 1980) lehet.



170. ábra. Oldómedence-elfolyás összegyűjtése nyomás alatti csatornarendszerrel és a központi jellegű szennyvíztisztító, -elhelyező telepre vezetése

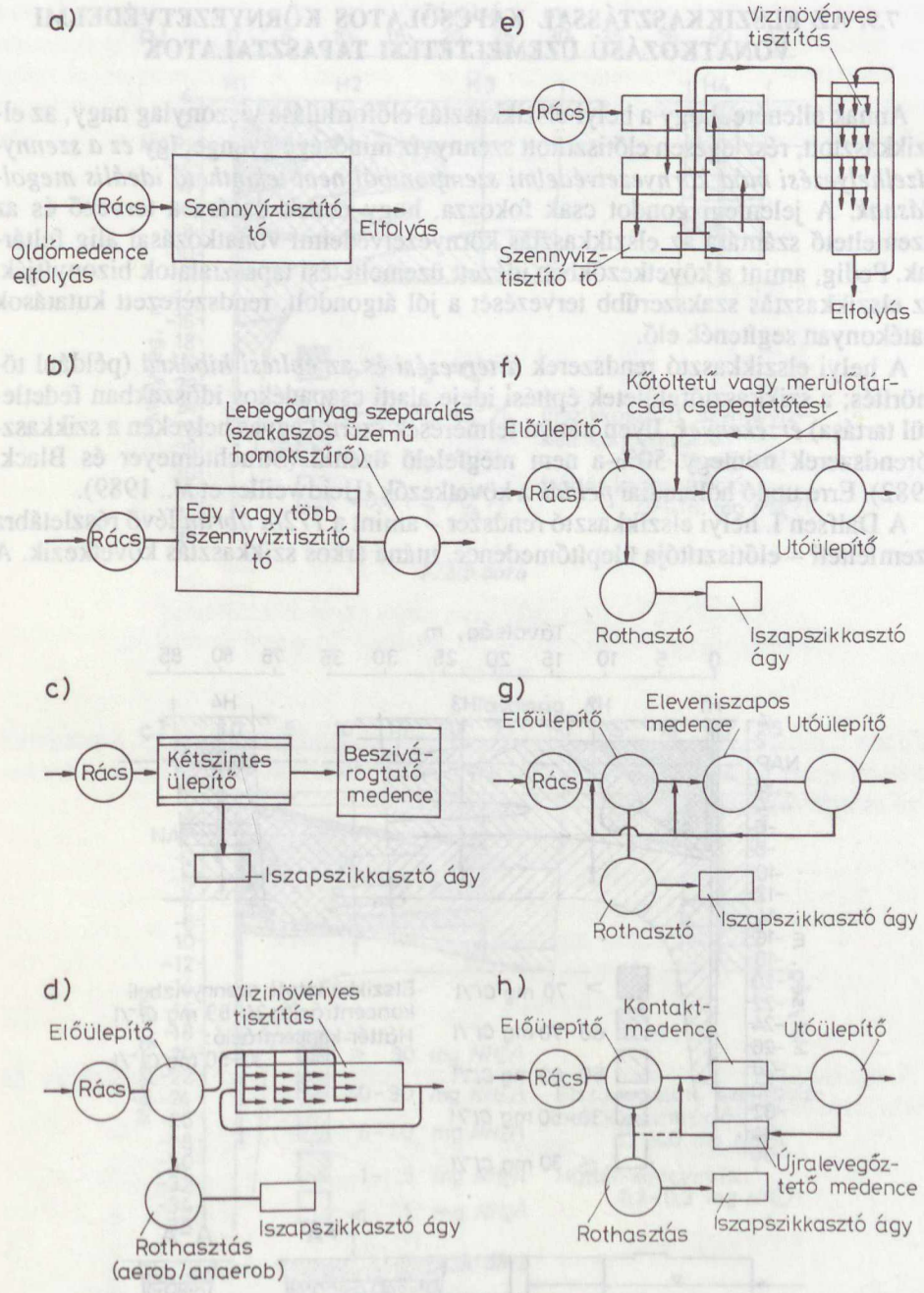
A tisztítás módjai *például* a következők lehetnek:

– az összegyűjtött oldómedence-elfolyás elszikkasztása talajfelszín alatti nagy (vagy nagyobb) rendszerben,
– a szennyvíz beszivárogtatása elárasztott medencékből *(171/c ábra),*
– egyéb elhelyezési módok.

A központi jellegű telepeken a talajba való elhelyezés előtt *rendszerint már több műveletből álló tisztítórendszer beiktatása szükséges (171/a–h ábra;* Metcalf and Eddy Inc. nyomán, 1991). Az ilyen szennyvíztisztító telepek elfolyó szennyvize

– elszikkasztható a talajba,
– közvetlenül vagy közvetve a felszíni vízfolyásba vezethető.

A tervezőnek és az üzemeltetőnek szem előtt kell tartani, hogy *a tisztított szennyvíz talajba helyezésének lehetőségei, tekintettel a szennyvíz kis mennyiségére, a központi jellegű tisztítótelepekkel kapcsolatban is reális lehetőségnek tekintendő,* annál is inkább, mert a nagyobb fokú előtisztítás az elszikkasztás, beszivárogtatás szempontjából jelentős előnyt jelent.



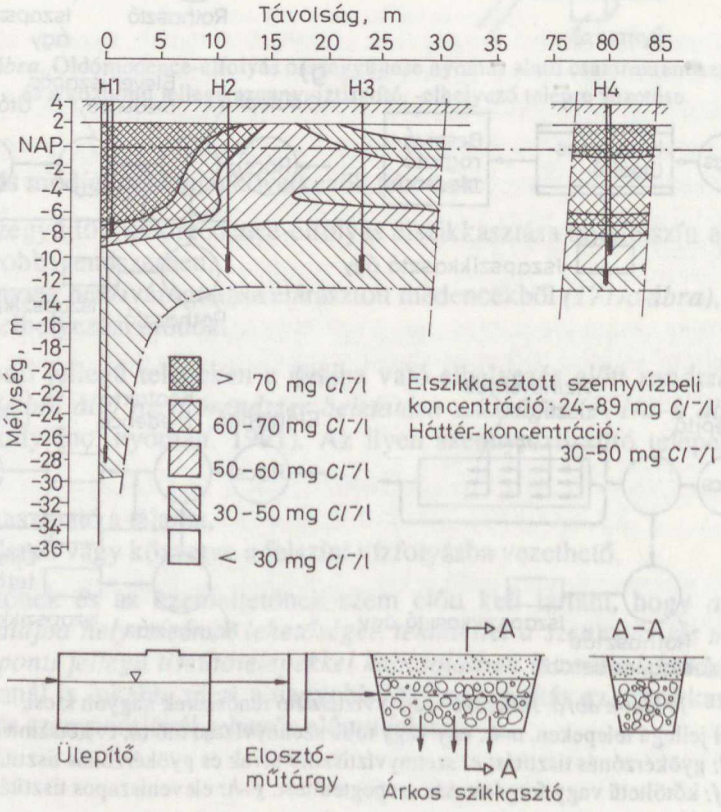
171/a–h ábra. Jellemző szennyvíztisztító rendszerek nagyon kicsi, központi jellegű telepeken. *a–b:* egy vagy több szennyvíztisztító tó; *c:* kétszintes ülepítő; *d:* gyökérzónás tisztítás; *e:* szennyvíztisztító tavak és gyökérzónás tisztítás; *f:* kötöltetű vagy forgótárcsás csepegtetőtest; *g–h:* eleveniszapos tisztítás

7.9. AZ ELSZIKKASZTÁSSAL KAPCSOLATOS KÖRNYEZETVÉDELMI VONATKOZÁSÚ ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK

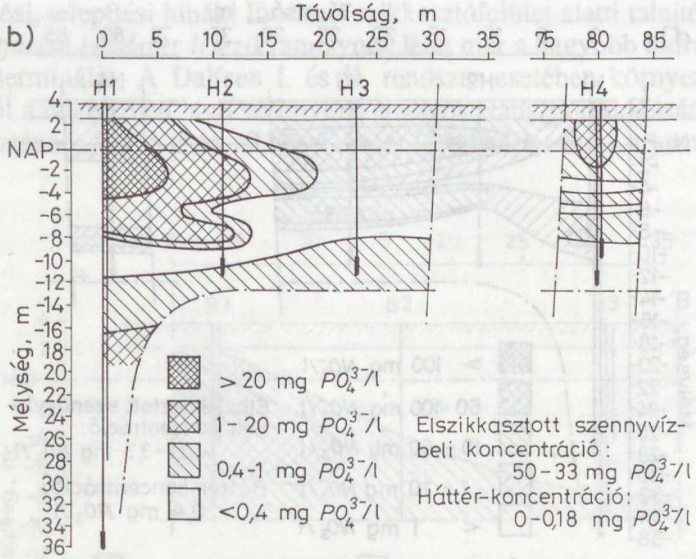
Annak ellenére, hogy a helyi elszikkasztás előfordulása viszonylag nagy, az elszikkasztott, részlegesen előtisztított szennyvíz minősége gyenge, így *ez a szennyvízelhelyezési mód környezetvédelmi szempontból nem tekinthető ideális megoldásnak.* A jelenlegi gondot csak fokozza, hogy ennek dacára a tervező és az üzemeltető számára az elszikkasztás környezetvédelmi vonatkozásai alig feltártak. Pedig, amint a következőkben idézett üzemeltetési tapasztalatok bizonyítják, az elszikkasztás szakszerűbb tervezését a jól átgondolt, rendszerezett kutatások hatékonyan segítenék elő.

A helyi elszikkasztó rendszerek *a tervezési* és az *építési hibákra* (például tömörítés; a szikkasztófelületek építési ideje alatti csapadékos időszakban fedetlenül tartása) *érzékenyek.* Ilyen irányú felmérések szerint egyes helyeken a szikkasztórendszerek mintegy 50%-a nem megfelelő üzemű (Struchtemeyer és Black, 1982). Erre utaló hollandiai *példák* a következők (Heidweiller et al., 1989).

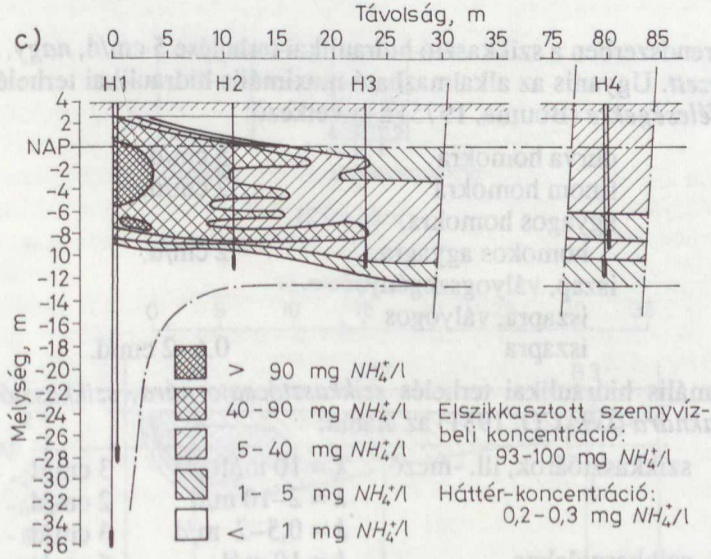
A Dalfsen I. helyi elszikkasztó rendszer – amint a *172/a ábrán* lévő részletábra szemlélteti – előtisztítója ülepítőmedence, utána árkos szikkasztás következik. A



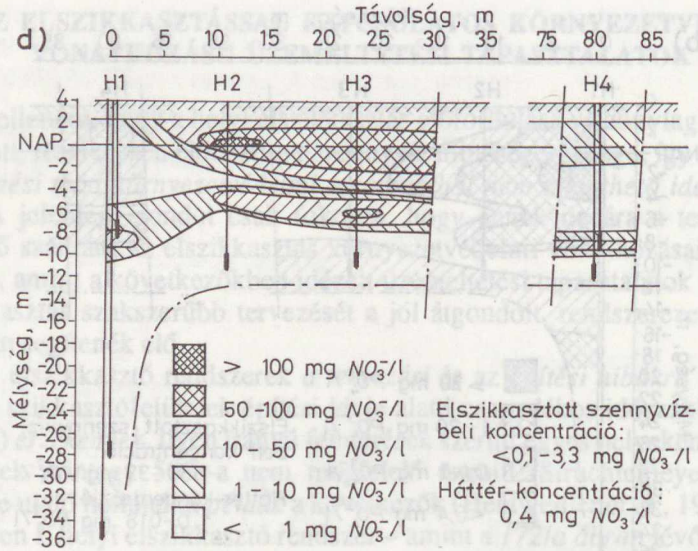
172/a ábra



172/b ábra



172/c ábra



172/d ábra

172/a–d ábra. Az árkos szikkasztás hatása a talajvíz minőségére. A talajvíz szennyeződése kloriddal *(a);* foszfáttal *(b);* ammóniummal *(c);* nitráttal *(d)*

Dalfsen I. rendszerben a szikkasztó hidraulikai terhelése 5 cm/d, *nagy, a rendszer alulméretezett.* Ugyanis az alkalmazható maximális hidraulikai terhelés *a különböző talajféleségekre* (Bouma, 1975) a következő:

durva homokra	5 cm/d,
finom homokra	2 cm/d,
agyagos homokra, homokos agyagra,	2 cm/d,
iszap, vályogszegény iszapra, vályogos iszapra	0,6–2 cm/d.

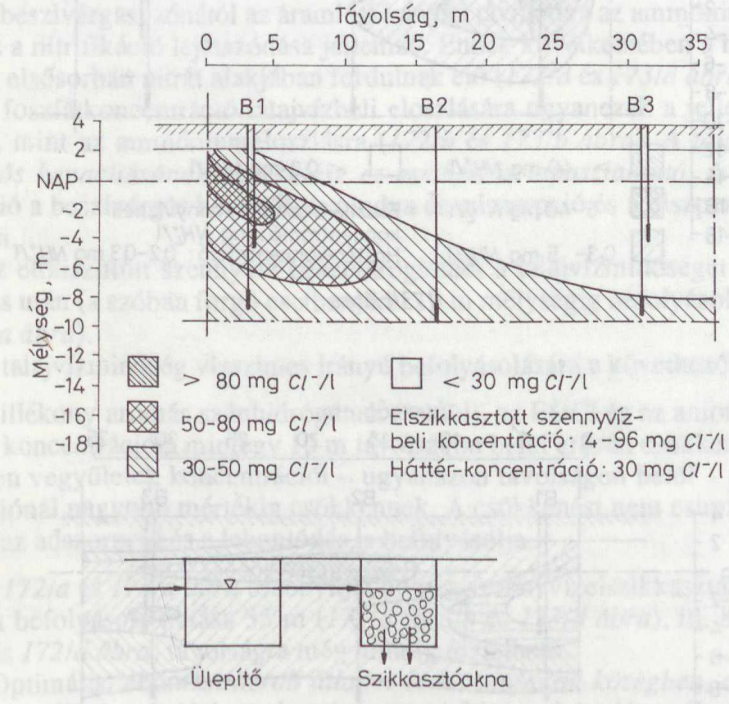
A maximális hidraulikai terhelés *szikkasztócsatornára, szikkasztómezőre* és *szikkasztóaknára* (IWACO, 1981) az alábbi:

szikkasztóárok, ill. -mező	k = 10 m/d	3 cm/d
	k = 2–10 m/d	2 cm/d
	k = 0,5–2 m/d	3 cm/d
szikkasztóakna	k = 10 m/d	6 cm/d
	k = 1–10 m/d	4 cm/d

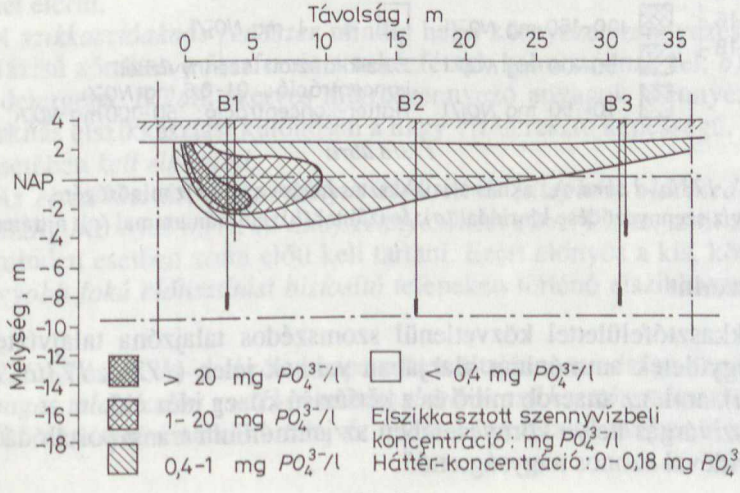
A Dalfsen II. helyi szikkasztórendszer, amint a *173/a ábra* szemlélteti, előtisztítója ülepítőmedence, utána szikkasztóakna következik.

A Dalfsen I. rendszer esetében a talajvíz szintje a szikkasztóárok feneke alatt csupán 0,3 m-re van, a Dalfsen II. rendszer szikkasztóaknája pedig a talajvízben

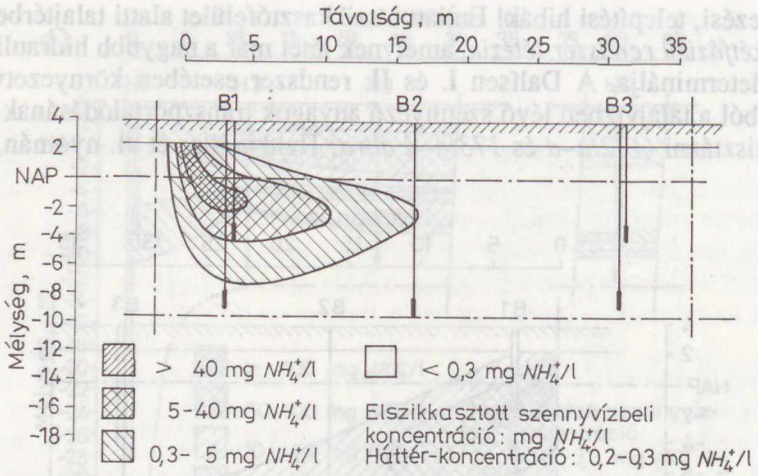
van. Tervezési, telepítési hibák! Emiatt a szikkasztófelület alatti talajtérben *eleve anaerob kétfázisú rendszer létezik,* amelynek létét már a nagyobb hidraulikai terhelés is determinálja. A Dalfsen I. és II. rendszer esetében környezetvédelmi szempontból a talajvízben lévő szennyező anyagok transzportálódásának jellemzőit kell tisztázni (*172/a–d* és *173/a–d ábra;* Heidweiller et al. nyomán, 1989).



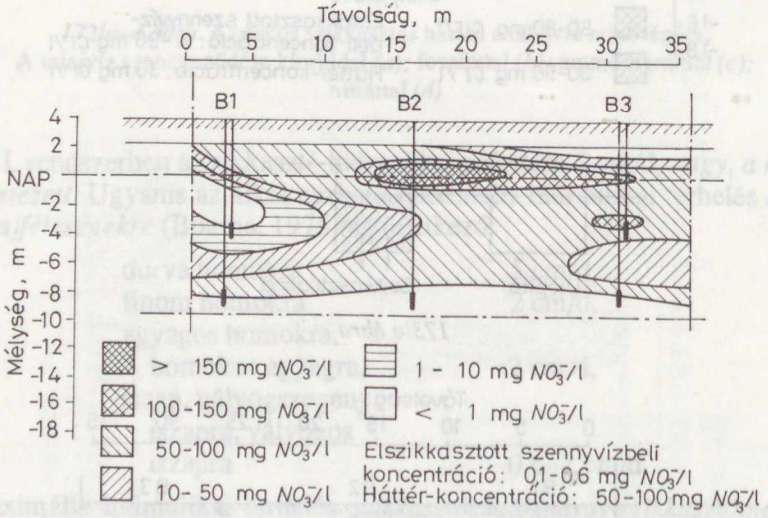
173/a ábra



173/b ábra



173/c ábra



173/d ábra

173/a–d ábra. Az aknás elszikkasztás hatása a talajvíz minőségére.
A talajvíz szennyeződése kloriddal *(a)*; foszfáttal *(b)*; ammóniummal *(c)*; nitráttal *(d)*

Az ábrák szerint

1. a szikkasztófelülettel közvetlenül szomszédos talajzóna talajvízterében a nitrogénvegyületek ammónium alakjában vannak jelen (*172/c*, *173/c*, *172/d* és *173/d ábra*), amit az anaerob miliő és a kétfázisú közeg idéz elő.

2. A beszivárgás helye környezetében az ammónium transzportálódási sebessége a kloridéval azonos nagyságrendű.

3. Az ammónium- és a kloridkoncentráció a beszivárgási zónában a beszivárgó szennyvíz megfelelő koncentrációival közelítőleg azonos (*172/a, 172/c, 173/a* és *173/c ábra*).

4. A 2. és 3. pont alatti megállapításokból az következik, hogy a szóban forgó talajzónákban *a talaj adszorpciós kapacitása a 12 évi üzemeltetési időszakban telítődött.*

5. A beszivárgási zónától az áramlási irányba távolodva az ammónium adszorpciója és a nitrifikáció lejátszódása jellemző. Ennek következtében a nitrogénvegyületek elsősorban nitrát alakjában fordulnak elő (*172/d* és *173/d ábra*).

6. A foszfátkoncentráció talajvízbeli eloszlására ugyanezek a jellemzők érvényesek, mint az ammóniumeloszlásra (*172/b* és *173/b ábra*). *A talaj foszfátadszorpciós kapacitásának kimerülése ez esetben is tapasztalható.* A foszfátkoncentráció a beszivárgás helyétől távolodva az adszorpció és a diszperzió hatására csökken.

7. Az előtisztított szennyvíz beszivárogtatása a talajvízminőséget 12 évi üzemeltetés után (a szóban forgó esetben) kb. 13 m mélységig befolyásolta (pl. *172/a* és *173/a ábra*).

8. A talajvízminőség vízszintes irányú befolyásolására a következők jellemzők:

– az illékony aromás szénhidrogének (toluol), az EOCl és az anionaktív detergensek koncentrációja mintegy 10 m távolságon belül erősen csökkennek,

– ezen vegyületek koncentrációi – ugyanazon távolságon belül – a kloridkoncentrációnál nagyobb mértékig csökkennek. A csökkenést nem csupán a hígulás, hanem az adszorpció és a lebontódás is befolyásolja.

9. A *172/a* és *173/a ábra* bizonyítja, hogy a szennyvízelszikkasztás talajvízminőséget befolyásoló hatása 35 m (*173/a, 173/b* és *173/d ábra*), ill. 85 m (*172/a, 172/b* és *172/d ábra*) távolságra még mindig észlelhető.

10. Optimális lebontást *aerob állapot* és *háromfázisú közegben, a megengedhető hidraulikai terheléskor* a beszivárogtató felület alatt elég mélyen lévő, min. 0,6–1,2 m talajvízszint meglétekor és egyenletes szennyvízrávezetés biztosításakor lehet elérni.

11. *A szikkasztóaknás rendszer* mindig helyi környezetszennyezést okoz: *a)* a háromfázisú zónában a foszfor és a nehézfémek halmozódnak fel; *b)* a talajvizet nitrát, detergens, *E coli*, szerves mikroszennyező anyagok szennyezik. A szikkasztóaknás elszikkasztást különösen a nagy vízáteresztő képességű, kavicsos talajok esetében *kell elkerülni.*

12. *Az elszikkasztás, hagyományos előtisztítás (ülepítés, oldómedence) esetében, mindig bizonyos mértékű talajszennyeződést okoz.* Ez az, amit az üzemeltetőnek minden esetben szem előtt kell tartani. Ezért előnyös a kis, központi jellegű, *nagyobb fokú előtisztítást biztosító* telepeken történő elszikkasztás *(171/a–h ábra).*

A *172/a–d* és *173/a–d ábrával* kapcsolatos általános tanulság: *a szikkasztórendszert magas talajvízszint esetében mindig dombos szikkasztórendszerként (169. ábra) kell kialakítani.* Enélkül a talajvíz feletti háromfázisú talajtér birtoklása lehetetlen.

7.10. AZ OLDOTT SZERVES ANYAGOK SORSA A TALAJVÍZBEN

A hagyományos előtisztítású (ülepítőmedence, oldómedence) elszikkasztás hatására, különösen, ha minden esetben a szikkasztófelület alatt természetes vagy a szikkasztás hatására megemelkedett kétfázisú talajvíztér létezik, természetszerű, hogy a talajvíz is szennyeződik. Ahhoz, hogy *az üzemeltető az oldott szennyező anyagok kétfázisú talajvízbeli transzportját ellenőrizhesse, ill. nyomon követhesse,* a legalapvetőbb folyamatokat és fogalmakat ismernie kell. Ezek

- az advekció,
- a diszperzió,
- a szorpció és
- a degradáció.

Advekció: valamely oldott anyag transzportálódásának sebessége a talajvízszivárgás sebességével megegyező.

Diszperzió: az oldott szennyezőanyag-front terjedése

- a talajpermeabilitás térbeli változása,
- a folyadékkeveredés és
- a molekuláris diffúzió

következtében.

Szorpció: az oldott anyagok visszatartása a talajfázisban a folyadék és a szilárd fázis közötti szennyezőanyag-szeparálódás következtében. A szorpció és a diszperzió a koncentrációingadozást mérsékli.

Degradáció (lebontódás): az oldott szerves anyagok eltűnése az oldatból, amikor

- azokat a mikroorganizmusok tápanyagként hasznosítják, hogy ezáltal energiához juthassanak és szaporodhassanak, vagy
- mint reagáló anyagok, a talaj szilárd anyagaival, a vízzel, a vizes oldatokkal, kolloidokkal kapcsolatos kémiai reakciók révén fogynak el.

Az oldott anyagok hosszú tartózkodási ideje, a kis hidraulikai szivárgási sebességgel párosuló szorpció következtében, a porózus közeg nagy fajlagos felületét is figyelembe véve, nyilvánvaló, hogy az így kiadódó miliő a mikrobiológiai szaporodás és a biodegradáció szempontjából nagyon kedvező. A degradáció sebességei, legyenek azok kémiai vagy biológiai természetűek, nagymértékben függnek a kőzet makroszerkezetétől (struktúrájától) és a környezeti állapotoktól.

Környezetvédelmi szempontból feltétlenül szem előtt kell tartani, hogy a talajvízbeli transzport- és tisztítási folyamatokat az oldott anyagok és a víz között jelentkező hidrofób egymásra hatás is alapvetően befolyásolja. Általános szabályként állítható, hogy *a veszélyes, le nem bontható, csak gyenge hidrofób tulajdonságokkal rendelkező szerves vegyületek okozzák a vízellátás szempontjából a legnagyobb gondot. Ezek a vegyületek hajlamosak*

- *a gyors transzportálódásra a szikkasztás környezetében lévő talajvízben és*
- *a talajvízbeli tisztulás révén történő eltávolításuk nehezebben érhető el.*

A szennyezőanyag-transzportálódással kapcsolatos, az előzőkben bemutatott kutatási eredmények, a telken belüli elszikkasztást *környezetvédelmi szempontból* az eddigi szemlélettől sok vonatkozásban eltérő megvilágításba helyezik. Hiszen a *kisméretű telkek* esetében a szennyező anyagok a szomszédos telek (esetleg telkek) felszín alatti terébe is bejuthatnak, ami több gondot okozhat:

– környezetvédelmi érdekeket sérthet,
– a szomszédos telken lévő objektumok (például házak) alapjaira káros hatású lehet,
– jogi problémákat okozhat.

Az üzemeltetőnek (és a tervezőnek) nem elég tehát csak az elszikkasztás előtti „megfelelő" tisztításról és az elszikkasztás szakszerűségéről gondoskodni. Amint a befogadó felszíni vizek vízminőségi folyamatai, úgy a jövőben majd a szennyező anyagok felszín alatti transzportálódása tekintetében is tájékozottnak kell lennie.

7.11. A SZENNYVÍZELSZIKKASZTÓ RENDSZEREK ÜZEMELTETÉSI PROBLÉMÁI, OKAI, ELLENŐRZÉSÜK, KIKÜSZÖBÖLÉSÜK MÓDJAI

88. táblázat. A szennyvízelszikkasztó rendszerek üzemeltetési problémái, okai, ellenőrzésük, kiküszöbölésük módjai

Probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
1. Az elszikkasztó rendszer környezetében a talaj és a talajvíz elszennyeződése tapasztalható	1a Az előtisztítás elégtelen mértékű	1a Az ülepítő- vagy az oldómedence-elfolyás minőségének ellenőrzése	1a Az előtisztítás mértékének növelése
	1b A szikkasztófelület környezetében anaerob milió létezik	1b A hidrogeológiai viszonyok és a talajvíz helyzetének ellenőrzése	1b Szikkasztódomb létesítése
	1c Az elszikkasztófelület és a talajvíz között nincs háromfázisú zóna		
	1d A szikkasztóakna alatt közvetlenül durva kavics, kavicsos réteg van		1d A szikkasztóakna felváltása egyéb elszikkasztórendszerre
2. Egyes szennyező anyagok az elszikkasztóhelytől nagyobb (pl. 80–100 m) távolságra transzportálódnak	2a A talajvíz szintje túl magas, duzzasztott beszivárgás létezik	2a A talajvízszint ellenőrzése	2a Szikkasztódomb létesítése
	2b Egyes szennyező anyagok hidrofób tulajdonságai	2b A szennyező anyagok hidrofób tulajdonságainak ellenőrzése	2b Az előtisztítás mértékének növelése
	2c Kedvezőtlen hidrogeológiai viszonyok	2c Hidrogeológiai viszonyok pontosabb feltárása	2c Mint 2b

88. tábl. folyt.

Probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
3. A talaj tisztítóképességét elveszti	3a Túlterhelés szennyező anyagokkal	3a Szennyezőanyag-terhelés	3a Szennyezőanyag-terhelés beszabályozása
	3b Háromfázisú zóna hiánya	3b A szikkasztózóna fázisállapota	3b A megfelelő szakaszos adagolás biztosítása
4. Az elszikkasztórendszer körzetében szag jelentkezik	4a Előtisztítás elégtelen	4a Előtisztítás mértéke	4a Megfelelő előtisztítás biztosítása
	4b Szennyvízadagolás nem megfelelő	4b Szennyvízadagolás	4b Szennyvíz-adagolási periódus beszabályozása
	4c A beszivárgási zónában kétfázisú állapot létezik	4c Beszivárgási zóna állapota	4c A háromfázisú szűrődési állapot biztosítása
	4d Magas talajvíz	4d Talajvíz szintje	4d Dombos szikkasztórendszer létesítése
	4e A szellőztetés a szikkasztórendszerben tökéletlen	4e Szellőztetés	4e A megfelelő szellőztetés biztosítása

7.12. IRODALOM

Anderson, D. L., Siegrist, R. L., Otis, R. J. (1985): Technology Assessment of Intermittent Sand Filters. *EPA*, Office of Municipal Pollution Control (WH–546). Washington, D.C., April.

Bouma, J. (1975): Unsaturated flow during soil treatment of septic tank effluent. *J. of the Environ. Eng. Div.*, 6.

Costerton, J. W., Geesy, G. G., Cheng, K. J. (1978): How bacteria stick. *Scientific American*, January.

Dulovics D. (1987): Small sewage treatment works and the water pollution control. *Periodica Polytechnica*, 31, Nos 3–4.

Dulovics D. (1991): Wastewater treatment of medium and small settlements. *Periodica Polytechnica*, 35, Nos 1–2.

Dulovics D., Dulovicsné Dombi M. (1983): Kistelepülések egyedi, települési méretű vagy térségi csatornázásának, illetve szennyvízelhelyezésének kérdései. *MHT*, Győr.

Dulovics D., Dulovicsné Dombi M. (1989): Nem csatornázott területek szennyvízelhelyezése. *Csatornamű Információ*, 1.

Dulovics D., Márkus I.-né, Szinay M. (1980): Oldómedencék szerepe a csatornázással el nem látott területek szennyvíztisztításában. *MHT*, Hévíz.

EPA (1980): *Design Manual:* On-site Wastewater Treatment Facilities for Sewered Small Communities. EPA–625/1–77–009. Cincinnati, OH and Disposal Systems. EPA 625/1–80–012. Office of Water Program Operations, Washington. D.C.

Heidweiller, V. M. L., Chardon, G. M., Duijsens, L. J. E. (1989): Kleinschatige bodeninfiltratiesystemen voor conventioneel voorbehandeld afvalwater: milieuhygiënisch aanvaardbaar. *H_2O*, 18.

IWACO BV (1988): *Individuele behandeling van afvalwater bij verspreide bouwing.* Onderzoek fase 2B: Praktijkonderzoek naar infiltartietechnische aspecten en kwalifeitsbeinvloeding van het bodensysteem.

Juhász G. (1990): A szennyvízszikkasztás környezeti hatása. *Építésügyi Szemle*, 33, Nos 1–2.
Kreissl, J. F. (1982): On-site Wastewater Disposal Research in the United States. In: Eikum, A. S. and Seabloom, R. W. (eds): *Alternative Wastewater Treatment*. Reidel D. Publ. Company, Boston, MA.
Kristiansen, R. (1981): Sand-filter trenches for purification of septic tank effluent. The clogging mechanism and soil physical environment. *J. Environ. Qual.*, 10.
Kristiansen, R. (1982): The Soil as a Renovating Medium – Clogging of Infiltration Surfaces. In: Eikum, A. S., Seabloom, R. W. (eds): *Alternaive Wastewater Treatment*. Riedel D. Publ. Company, Boston, MA.
Laak, R. (1986): *Wastewater Engineering Design For Unsewered Areas*. (2nd ed.) Technomic Publishing Co., Lancaster, PA.
Landon, R. A., Matry, A. A. (1979): Pollution prediction techniques for waste disposal siting. *Proc. of IES 25th Annual Techn. Meeting*, Seattle, Wash., Apr.
Martin, E. J., Martin, E. T. (1991): *Technologies for Small Water and Wastewater Systems*. (Env. Eng. Series.) Van Nostrand Reinhold, New York.
Metcalf and Eddy Inc. (1991): Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. (3rd ed.) McGraw-Hill, New York.
Nair, S., Longwell, D., Seigneur, Ch. (1990): Simulation of chemical transport in unsaturated soil. *J. of Environ. Eng.*, Vol. 116, No. 2, March/April.
Orlob, G. T., Butler, R. G. (1955): An investigation of sewage spreading on five California soils. *Sanitary Eng. Res. Lab. Technical Bulletin*, 12, Univ. of California, Berkeley, CA.
Otis, R. J. (1982): Evaluation of Site Suitability for Subsurface Soil Absorption of Wastewater. In: Eikum, A. S.: *Alternative Wastewater Treatment*. Reidel D. Publ. Company, Boston, MA.
Öllős G. (1970): Kis és közepes szennyvíztisztító telepek. *VMGT–15*.
Öllős G. (1991): *Szennyvíztisztítás*. AQUA Kiadó, Budapest.
Öllős G., Dulovics D. (1993): *Csatornázatlan területek szennyvíztisztítása*. Szakértői vélemény, BME.
Öllős G., Lipták F. (1964): Burkolt és szigetelt öntözőcsatornák szivárgása. *Vízügyi Közlemények*, 4.
Renner, H. (1979): *Die Entwicklung einer biologischen Kläranlage für kleinste Verhältnisse*. TV Graz. Band 5.
Rouhart, J. (1986): L'épuration des eaux usées domestiques. *Trib. CEBEDEAU.*, aug.–sept.
Struchtemeyer, R. A., Black, R. W. (1982): Proc. of Third Nat'l Symposium on Individual and Small Community Sewage Treatment. *Am. Soc. of Agric. Eng. Publ.*, St. Joseph, MI.
Szabó T. (1990): *Nyomás alatti és vákuumos szennyvízcsatornázás*. Tankönyvkiadó, Budapest.
USEPA (1978): *Small Scale Waste Management Project: Management of Small Wastewater Flows*. Report No. 600/2–78–173.
USEPA (1980): *Design Manual: Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems*. EPA 625/1–80–012.
Winneberger, J. H. T. (1984): *Septic Tank Systems: A Consultant's Toolkit*. Butterworth Publishers, Boston, MA.

7.13. KÉRDÉSEK

1. Milyen szennyvízelhelyezési módok léteznek? (7. fejezet.)
2. Milyen feltételekhez kötött a szikkasztásos szennyvízelhelyezés? (7. fejezet.)
3. Milyen előtisztítási módok ismertek az elszikkasztáshoz? (7. fejezet; *171/a–h ábra*.)
4. Miként alakul a szűrőközeg eltömődési folyamata? (7.2. fejezet.)
5. Miként adagolható a szennyvíz a szikkasztórendszerbe? (7.3. fejezet.)
6. Mi a háromfázisú talaj szerepe az elszikkasztásban? (7.6. fejezet.)
7. Milyen szikkasztórendszerek léteznek? (7.7. fejezet.)

8. Mi a szerepe a szikkasztórendszerek szakaszos üzemeltetésének? (7. és 7.7.1. fejezet.)
9. Lakóházcsoportok, kis laksűrűségű településrészek, nagyon kis települések szennyvíztisztítása miként valósítható meg? (7.8. fejezet; *171/a–h ábra.*)
10. A 9. pont alatti feladatmegoldáshoz milyen csatornarendszerek alkalmazhatók? (7.8. fejezet; *170. ábra.*)
11. Milyen mechanizmusok alakítják a szerves oldott anyagok sorsát a talajvízben? (7.10. fejezet.)
12. Környezetvédelmi szempontból milyen vegyületek a legveszélyesebbek a szikkasztórendszer környezetében? (7.9. fejezet.)

Bibliotheca Academiae Scientiarum Hungaricae
MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

A szennyvíztisztító telepi üzemeltetési tapasztalatok arra utalnak, hogy a kívánt tisztítási hatásfok, ill. a környezetvédelmi előírások folyamatos, megbízható kielégítése, fejlettségünk jelenlegi szintjén, az esetek jelentős részében nem lehetséges.

Ennek oka az, hogy az elméleti ismeretek, a tervezés, az építés és az üzemeltetés között nincs kellő összhang. A szennyvíztisztítás olyan közelítő ismereteken, tervezési módszereken és üzemeltetési szemléleten alapul, amely számos esetben csak csökkent értékű tisztítást eredményezhet.

A könyv a tisztítási folyamatok „logikai fák" alapján való értelmezéséből kiindulva bizonyítja, hogy a „tisztítás" jóval bonyolultabb dinamikai rendszerben játszódik le, mint amit az eddigiekben feltételeztünk.

Az üzemeltetést befolyásoló paraméterek, azok egymással való kapcsolatának felismerése, identifikálása, a törvényszerűségek elméleti alapokon nyugvó, kellő mélységű feltárása azonban lehetővé teszi a tisztítás szabályozását. Ezt a célkitűzést kívánja a könyv elősegíteni.

Ára: 1344,- Ft áfával

ISBN 963 05 6858 6

9 789630 568586

ÖLLŐS GÉZA

SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEK ÜZEMELTETÉSE II.

17.3305