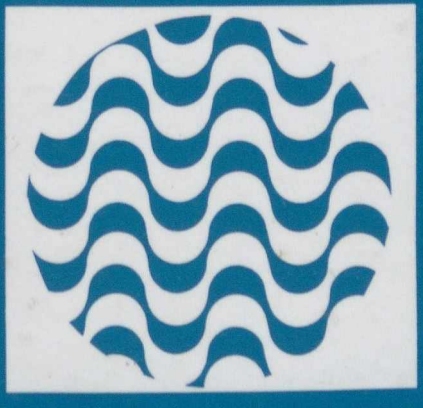
ÖLLŐS GÉZA

SZENNYVÍZ-TISZTÍTÓ TELEPEK ÜZEMELTETÉSE I.



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEK ÜZEMELTETÉSE

I.

33568

SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEK ÜZEMELTETÉSE I.

ÖLLŐS GÉZA

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

MTAK 0 00014 83800 2

AKADÉMIAI KIADÓ · BUDAPEST

508861

Lektor:

Dr. JUHÁSZ ENDRE

a műszaki tudomány
kandidátusa

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

ISBN 963 05 6641 9 (I–II. kötet)
ISBN 963 05 6642 7 (I. kötet)

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

Első magyar nyelvű kiadás: 1994
© 1994, Öllős Géza

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 1994
Nyomdai táskaszám: 22393
Felelős szerkesztő: Grétsy Éva – Műszaki szerkesztő: Merkly László
A kötésterv Székely Edit munkája
Kiadványszám: 4/28
Terjedelem: 32,53 (A/5) ív + 0,25 (A/5) ív melléklet

Printed in Hungary

M. TUD. AKADÉMIA KÖNYVTÁRA
Könyvleltár 45.47./19 94. sz.

SZERETETTEL KEDVES FELESÉGEMNEK,
GIZELLÁNAK

TARTALOM

Bevezetés 13

1. A szennyvíztisztító rendszer 17

1.1. Kérdések 20

2. A szennyvíztisztító telepek üzemeltetése 21

2.1. Az üzemeltetők szerepe 21
2.2. Az üzemeltetők feladatkörei 22
2.3. Kérdések 23

3. Ipari szennyvizek 24

3.1. Az ipari szennyvizek minőségi jellemzése 24
3.2. Az ipari szennyvizek hatása a szennyvíztisztításra 27
3.3. Az ipari szennyvizek előtisztítása 31
3.4. Irodalom 33
3.5. Kérdések 33

4. Rácsok, komminutorok (tisztítótelepi előtisztítás) 35

4.1. Az előtisztítás igénye 35
4.2. A rácsok elhelyezési szempontjai 35
4.3. Rácstípusok 36
4.3.1. Durva rácsok és típusaik 37
4.3.2. Finom rácsok és típusaik 38
4.3.3. Kézi tisztítású rácsok 38
4.3.4. Mechanikai (gépi) tisztítású rácsok 39
4.3.5. Komminutorok 41
4.3.6. Barminutorok 43
4.3.7. Üzemeltetés 44
4.3.8. Üzemeltetési stratégia 44
4.3.9. Rácsszemét 45
4.3.10. A rácsszemét mennyisége 46
4.3.11. A rácsszemét összetétele 47
4.3.12. A rácsszemét kezelése 47
4.3.13. Szenyvíztisztító-telepi gépi rácsok üzemeltetési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése 49
4.4. Irodalom 53
4.5. Kérdések 54

5. Homokfogók ... 55

5.1. A homokeltávolítás célja ... 55
5.2. Homokanyagok ... 55
5.3. Homokfogótípusok ... 55
5.4. A homok szeparálása ... 59
5.5. Ciklonos homokszeparáló ... 60
5.5.1. Üzemeltetés ... 61
5.6. Homokmosás ... 62
5.7. A homok mennyisége ... 62
5.8. A homok elhelyezése ... 63
5.9. Szennyvíztisztító-telepi homokfogók üzemeltetési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése ... 65
5.10. Hosszanti átfolyású légbefúvásos homokfogó üzemelési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése ... 67
5.11. Irodalom ... 69
5.12. Kérdések ... 69

6. Ülepítők ... 70

6.1. Az ülepítők fajtái, céljuk ... 70
6.2. Az ülepítést befolyásoló tényezők ... 71
6.2.1. A hőmérséklet hatása ... 71
6.2.2. A rövidzárlat hatása ... 72
6.2.3. A tartózkodási idő hatása ... 73
6.2.4. Lebegőanyag-koncentráció eloszlása és hatása ... 74
6.2.5. Az ülepítőmedencék geometriai kialakítása ... 75
6.2.6. Bukóélterhelés ... 81
6.2.7. Felületi hidraulikai terhelés ... 82
6.3. Utóülepítők ... 82
6.3.1. Csepegtetőtest utáni utóülepítő ... 83
6.3.2. Eleveniszapos medence utáni utóülepítő ... 83
6.3.3. Iszapeltávolítás az ülepítőmedencéből ... 84
6.3.4. Az utóülepítő hatékonyságának változása tranziens terhelések hatására ... 88
6.4. Abnormális üzemelési állapotok ... 91
6.5. Lamellás ülepítők ... 92
6.6. Mintavétel és analízis ... 95
6.7. Az ülepítő hatásfoka ... 96
6.8. Iszapkaparók, iszapszivattyúk, tranziens folyamatok miatti üzemelési hibák ... 97
6.9. Szennyvíztisztító-telepi ülepítők üzemeltetési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése ... 99
6.10. Irodalom ... 107
6.11. Kérdések ... 108

7. Flotáció ... 110

7.1. A flotáció alapfolyamatai ... 110
7.2. Gravitációs ülepítés, flotálás ... 112
7.3. Eljárások ... 114
7.3.1. Nyomás alatti flotáció ... 114
7.3.2. Vákuumos flotáció ... 114
7.3.3. Elektroflotáció ... 114

7.4. A flotáció alkalmazása a szenyvíztisztításban ... 115
7.4.1. Nyomás alatti flotáció ... 115
7.4.1.1. Flotációs medence ... 115
7.4.1.2. Üzemeltetési ismeretek, tapasztalatok ... 116
7.5. Flotációs iszapsűrítők ... 120
7.5.1. Felületi hidraulikai terhelés ... 120
7.5.2. Felületi iszapterhelés ... 120
7.5.3. A levegő és a szilárdanyag aránya ... 120
7.5.4. A flotált iszap szárazanyag-tartalma ... 121
7.6. Laboratóriumi és félüzemi vizsgálati igények ... 121
7.7. Irodalom ... 123
7.8. Kérdések ... 124

8. Iszapfelfúvódás, iszapfelúszás ... 125
8.1. Az utóülepítés szerepe az eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerben ... 125
8.2. Iszapfelfúvódás, iszapfelúszás, iszaptérfogati index ... 126
8.3. Az eleveniszap ülepíthetőségét befolyásoló tényezők ... 132
8.3.1. Pehelyszerkezet ... 133
8.3.2. Fonalas iszapfelfúvódás ... 138
8.3.3. Felfúvódás nélküli iszapproblémák ... 139
8.3.3.1. *Sphaerotilus* és *zooglea* mikroszervezetek egyensúlya ... 139
8.3.3.2. Fonalas szervezetek nélküli kis pelyhek ... 139
8.3.3.3. Deflokkuláció ... 140
8.3.3.4. Denitrifikáció ... 140
8.3.3.5. Gombák által előidézett iszapfelúszás ... 141
8.3.4. Fő fonalas mikroorganizmus-fajták, előfordulásuk vélhető okai ... 142
8.3.5. Az iszaptérfogati indexet (SVI) befolyásoló tényezők ... 143
8.4. Különböző iszaptérfogati indexek ... 148
8.5. A fonalas iszapfelfúvódás szabályozása ... 150
8.5.1. Szabályozás kémiai úton ... 151
8.5.1.1. A klóradag meghatározása ... 153
8.5.2. Szabályozás az eleveniszapos reaktorrendszer célszerű kialakításával ... 154
8.5.2.1. Kamrákra osztott eleveniszapos medence ... 154
8.5.3. Az iszapfelfúvódás-szabályozás folyamatsémája ... 157
8.6. A fonalas baktériumok és gombák hosszának mérése ... 157
8.7. Irodalom ... 161
8.8. Kérdések ... 162

9. Habképződés ... 164
9.1. Jelentkezési formák és okok ... 164
9.2. Baktériumok ... 166
9.3. Üzemeltetési tapasztalatok ... 166
9.4. Irodalom ... 169
9.5. Kérdések ... 169

10. Tavas szennyvíztisztítás ... 170
10.1. Előnyei, hátrányai ... 170
10.2. Osztályozás ... 172
10.2.1. Aerob tó ... 174
10.2.2. Anaerob tó ... 175
10.2.3. Fakultatív tó ... 175

10.3. A tavas tisztítás hatásfoka ... 176
10.3.1. A levegőztetett tavak hatásfokának meghatározása mintavételek alapján 177
10.4. Üzemeltetés ... 182
10.4.1. A tó üzembe helyezése ... 182
10.4.2. Szagszabályozás ... 183
10.4.3. A felúszott iszap eltávolítása ... 184
10.4.4. A makronövényzet szabályozása ... 185
10.4.5. Rézsűfelületek fenntartása ... 186
10.4.6. A tavas rendszerből elfolyó szennyvíz további tisztítása (utótisztítás) 186
10.4.6.1. Vízinövény-kultúra ... 188
10.4.7. Recirkuláció ... 191
10.5. Az ammónia- és szulfidtoxicitás hatása az algaszaporodásra ... 192
10.6. Hidrográf-szabályozású tisztított szennyvíz elvezetése a befogadóba ... 196
10.7. Mintavétel és analízis ... 197
10.8. A mintavétel gyakorisága és helye ... 198
10.9. A tavas rendszerből elfolyó tisztított szennyvíz hatása a befogadóra ... 199
10.10. Szennyvízbevezető és -elvezető berendezések ... 201
10.11. Kerítés és jelzőtáblák ... 201
10.12. A tavas tisztítás üzemzavarai és azok kiküszöbölési módjai ... 202
10.13. Irodalom ... 204
10.14. Kérdések ... 205

11. Csepegtetőtestes szennyvíztisztítás ... 207

11.1. A tisztítás elve ... 207
11.2. A kőtöltetű csepegtetőtest ... 209
11.2.1. A csepegtetőtestek osztályozása ... 213
11.2.2. A töltőtest hatása a tisztítási folyamatokra ... 216
11.2.3. Töltőtestfajták ... 216
11.2.4. Hatásfok-összehasonlítás ... 216
11.2.5. Recirkuláció ... 219
11.2.6. Üzembe helyezés, üzemeltetés, leállítás ... 222
11.2.6.1. Üzembe helyezés előtti teendők ... 222
11.2.6.2. Üzembe helyezés ... 223
11.2.6.3. Napi normál üzemeltetés ... 223
11.2.6.4. Abnormális üzemelési állapotok ... 224
11.2.6.5. Leállítás ... 226
11.2.7. Mintavétel és analízis ... 227
11.2.8. A csepegtetőtest hatásfokával kapcsolatos üzemeltetési tapasztalatok 227
11.2.9. Egylépcsős csepegtetőtestes rendszer ... 229
11.2.10. Kétlépcsős csepegtetőtestes rendszer ... 230
11.2.11. A csepegtetőtestes és eleveniszapos tisztítás kombinálása ... 231
11.2.12. A kőtöltetű csepegtetőtest előforduló üzemelési problémái, a problémák valószínű okai, ellenőrzésük és megoldásuk ... 234
11.3. Forgó merülőtárcsás biológiai szennyvíztisztítás ... 239
11.3.1. A tisztítási folyamat és berendezéseinek jellemzése ... 239
11.3.2. Üzemelés ... 243
11.3.3. A befolyás és elfolyás analízise ... 245
11.3.4. Az első lépcső túlterhelése ... 248
11.3.5. Szennyvízrávezetés ... 250
11.3.6. A biológiai hártya vizuális megfigyelése ... 252
11.3.7. A forgó merülőtárcsás csepegtetőtest lehetséges üzemelési problémái, a problémák valószínű okai, ellenőrzésük, megoldásuk ... 253

11.4. Műanyag töltetű csepegtetőtest ... 255
11.4.1. Üzemeltetési tapasztalatok ... 255
11.4.2. A műanyag töltetű csepegtetőtest üzemelési zavarai, a zavarok lehetséges okai, az okok felismerése és kiküszöbölése ... 259
11.5. Irodalom ... 260
11.6. Kérdések ... 261

12. Eleveniszapos szennyvíztisztítás ... 263

12.1. Definíciók ... 263
12.2. Az eleveniszapos tisztítási folyamat ... 267
12.3. Az eleveniszapos eljárás iszapkor szerinti osztályozása ... 272
12.3.1. A hagyományos eleveniszapos eljárás módosításai ... 273
12.4. Levegőztető rendszerek ... 280
12.4.1. A levegőztetés célja ... 280
12.4.2. A légbefúvásos levegőztetés berendezései, üzemeltetési tapasztalatok 283
12.4.2.1. A finombuborékos diffúzorok jellemzői ... 283
12.4.2.2. Az oxigénátadás hatékonyságát befolyásoló tényezők ... 286
12.4.2.3. Fenntartás ... 288
12.4.2.4. A diffúzorok tisztítása ... 288
12.4.2.5. A finombuborékos rendszerek jellemzése ... 289
12.5. Üzemeltetési stratégia ... 290
12.5.1. Normál állapotokhoz tartozó üzemeltetés ... 292
12.6. Az eleveniszapos telep üzemének beindítása ... 295
12.7. Eleveniszap-elvétel az utóülepítőből ... 299
12.8. Terhelésingadozás ... 301
12.8.1. A tápanyagterhelés jellemzése ... 303
12.8.1.1. A tápanyagkoncentráció-terhelés lökésszerű változásának hatása ... 304
12.8.1.2. A lökésszerű (tranziens) hidraulikai terhelés ... 306
12.8.1.3. Kioltási tranziens folyamatok ... 308
12.9. Tisztítótelepi és laboratóriumi mérések ... 309
12.10. Mikrobiológiai analízis ... 311
12.10.1. Mintavétel ... 311
12.10.2. Mintavételi helyek ... 311
12.11. Az eleveniszapos rendszerek üzemelési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése ... 313
12.12. Irodalom ... 323
12.13. Kérdések ... 324

13. Oxidációs árok ... 326

13.1. Kis és nagy terhelésű rendszer ... 326
13.2. Iszapelvétel az árkos rendszerből ... 329
13.3. Jellemző üzemelési paraméter-tartományok ... 330
13.4. Az üzemeltetés feltételei ... 330
13.4.1. Oldott oxigén koncentráció ... 331
13.4.2. Megfelelő környezet ... 331
13.4.3. Hidraulikai tartózkodási idő és áramlási sebesség ... 331
13.4.4. Hidraulikai terhelés csapadékos időszakban ... 332
13.4.5. A hideg időszak hatása ... 332

13.5. Vizuális megfigyelések ... 332
13.6. A telep beindítása ... 333
13.7. Az árok üzemének leállítása ... 334
13.8. Az árok tisztítóképessége ... 334
13.9. Az árkos eleveniszapos rendszer üzemelési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése ... 337
13.10. Irodalom ... 341
13.11. Kérdések ... 341

14. Fertőtlenítés ... 342

14.1. A fertőtlenítési igény ... 342
14.2. Definíciók ... 345
14.3. Klór-reakciók ... 346
14.3.1. Szabad klór (Cl_2) ... 346
14.3.2. Hipoklorit (OCl^-) ... 346
14.3.3. Klór-dioxid (ClO_2) ... 347
14.4. A klóroldatok és a szennyvíz szennyező anyagai közötti reakciók ... 347
14.4.1. Reakciók szervetlen redukáló anyagokkal ... 347
14.4.2. Reakciók ammóniával ... 348
14.5. Klóradag-tartományok ... 351
14.6. Fertőtlenítést befolyásoló üzemeltetési tényezők ... 351
14.7. A klóros oxidáció és fertőtlenítés lehetséges helyei a szennyvíztisztító rendszerben ... 352
14.7.1. Klórozás a csatornahálózatban ... 352
14.7.2. Előklórozás ... 352
14.7.3. Tisztítótelepi klórozás ... 353
14.7.4. Az utótisztító lépcsőt segítő klórozás ... 353
14.7.5. Klóradagolás a recirkulációs iszapágba ... 353
14.7.6. Fertőtlenítés (utóklórozás) ... 354
14.8. A klóradagolás szabályozása ... 354
14.9. Klórszállító vezetékek ... 355
14.10. A klórozó üzembe helyezése ... 355
14.11. A klórozó leállítása ... 356
14.12. Klórbiztonsági program ... 356
14.13. A klórgáz hatása az emberi szervezetre ... 357
14.14. Klórszivárgás ... 357
14.15. Deklórozás ... 358
14.15.1. Kén-dioxid ... 358
14.15.1.1. A kén-dioxid és a szennyvíz közötti kémiai reakciók ... 358
14.15.1.2. A kén-dioxid adagolási helye ... 359
14.15.1.3. A kén-dioxid hatása az emberi szervezetre ... 359
14.16. A fertőtlenítés üzemelési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése ... 360
14.17. Irodalom ... 364
14.18. Kérdések ... 364

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 inhibítor 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 bizonyításául 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 jelenlegi I. (és várhatóan 1994-ben megjelenő 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 II." könyvében foglalt ismeretekre.

A könyv anyagának összeállítását jelentősen segítette *Bendicsek József* igazgató, *dr. Dulovics Dezső* egyetemi adjunktus, *dr. Hajós Gyula* ny. igazgató, *dr. Keresztúri János* főosztályvezető, *K. D. Kerri* igazgató (California State University, Sacramento), *dr. Solti Dezső* igazgató, *dr. Szilágyi Mihály* műszaki igazgatóhelyettes, *Szombati József* üzemmérnökség-vezető. Támogatásukat hálásan köszönöm.

Nagyon köszönöm *dr. Kollár György* tudományos munkatárs, laboratóriumvezető mindenkori szíves segítségét. Gazdag elméleti és gyakorlati ismeretei birtokában a könyv összeállítását széleskörűen támogatta.

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

1. A SZENNYVÍZTISZTÍTÓ RENDSZER

Mindenekelőtt tisztázni kell a *szennyvíztisztító rendszer* fogalmát, hiszen a szennyvíztisztítást befolyásoló tényezők számának és súlyának növekedésével, továbbá a környezetvédelmi problémák és igények fokozódásával elengedhetetlenné vált a szennyvíztisztító rendszer korábbinál tágabb körű értelmezése. Ezt az igényt támasztják alá a következő tények:

1. A hagyományos szennyvíztisztítási szemlélet elsősorban a szennyvíztisztító-telepi folyamatokra épül.

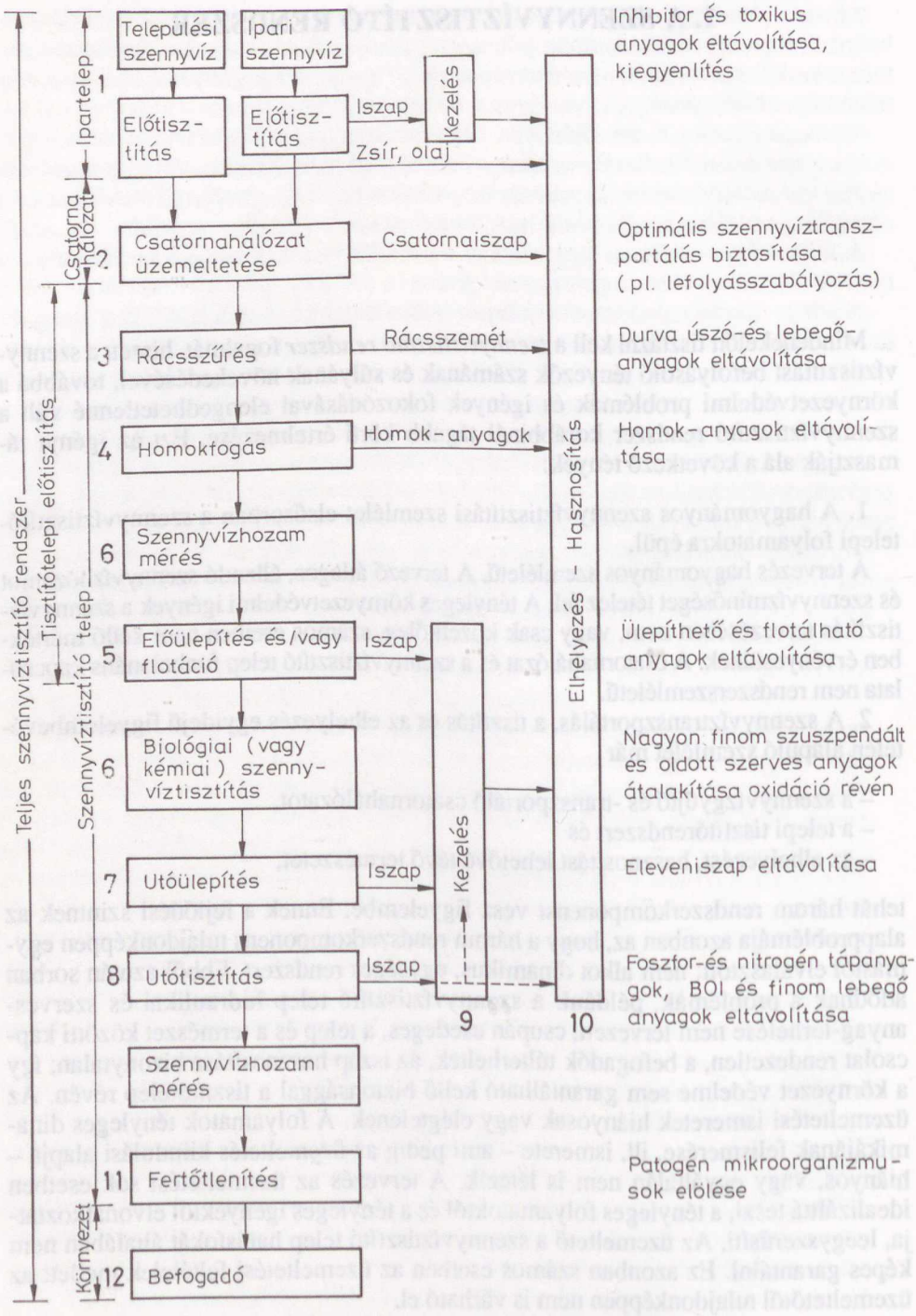
A tervezés hagyományos szemléletű. A tervező átlagos, állandó szennyvízhozamot és szennyvízminőséget tételez fel. A tényleges környezetvédelmi igények a szennyvíztisztítás tervezésében nem, vagy csak közelítőleg, számos esetben nem kellő mértékben érvényesülnek. A csatornahálózat és a szennyvíztisztító telep funkcionális kapcsolata nem rendszerszemléletű.

2. A szennyvíztranszportálás, a tisztítás és az elhelyezés egyidejű figyelembevételén alapuló szemlélet már

– a szennyvízgyűjtő és -transzportáló csatornahálózatot,
– a telepi tisztítórendszert és
– az elhelyezést, hasznosítást lehetővé tévő természetet,

tehát három rendszerkomponenst vesz figyelembe. Ennek a fejlődési szintnek az alapproblémája azonban az, hogy a három rendszerkomponens tulajdonképpen egymástól elválasztott; nem alkot dinamikus, egységes rendszert. Ebből azután sorban adódnak a problémák, például: a szennyvíztisztító telep hidraulikai és szerves-anyag-terhelése nem tervezett, csupán esetleges, a telep és a természet közötti kapcsolat rendezetlen, a befogadók túlterheltek, az iszap hasznosítása bizonytalan; így a környezet védelme sem garantálható kellő biztonsággal a tisztítótelep révén. Az üzemeltetési ismeretek hiányosak vagy elégtelenek. A folyamatok tényleges dinamikájának felismerése, ill. ismerete – ami pedig az üzemeltetés kiindulási alapja – hiányos, vagy egyáltalán nem is létezik. A tervezés az üzemeltetést sok esetben idealizálttá teszi, a tényleges folyamatoktól és a tényleges igényektől elvonatkoztatja, leegyszerűsíti. Az üzemeltető a szennyvíztisztító telep hatásfokát általában nem képes garantálni. Ez azonban számos esetben az üzemeltetési feltételek mellett az üzemeltetőtől tulajdonképpen nem is várható el.

3. A „biológiai" szennyvíztisztító telepeken szerzett üzemeltetési tapasztalatok a *szennyvíztisztítási szemlélet radikálisabb változását igénylik (1. ábra)*. Ma már egy-



1. ábra. A teljes szennyvíztisztító rendszer értelmezése

értelműen tudomásul kell venni, hogy a települési tisztítótelepen a biológiai szennyvíztisztítást *az ipari eredetű inhibitor és toxikus anyagok egyre nehezebbé, bizonytalanabbá teszik* (Kelemen és Dulovics, 1992). Ez a probléma a *környezetvédelem* tekintetében is növekvő kihívás, ami azt jelenti, hogy az *inhibitor és toxikus anyagokat tartalmazó ipari szennyvízhányad előtisztításáról gondoskodni kell.*

Az *1. ábrán* lévő 1. jelű blokk a fent említett szemléleteknek megfelelően az ipari szennyvíz előtisztítását is képviseli. Ez az előtisztítás a teljes szennyvíztisztító rendszer *kiindulási eleme.* Amíg ezt az elvet nem tudjuk a gyakorlatban érvényesíteni, addig az esetek jelentős részében települési szennyvíztisztításról, ill. tudatos környezetvédelemről nem is lehet beszélni.

Az 1. jelű blokk *a települési szennyvíz egyes esetekben szükséges előtisztítását* is érzékelteti. Például a vendéglátóiparból származó nagyobb mennyiségű zsír, a gépkocsiszerviz-állomások fáradtolajának helyi előtisztítása a csatornahálózat és a szennyvíztisztító telep zavarmentes üzemeltetését segíti.

A 2. jelű blokk a csatornahálózat szennyvíztisztítással kapcsolatos szerepköreit képviseli:

a) A csatornahálózat az esetek jelentős részében a lefolyásszabályozási elv alapján létesítendő és üzemeltetendő. Ezáltal a szennyvíztisztító telep hidraulikai és szervesanyag-terhelése viszonylag állandóvá tehető.

b) A szennyvíz tisztítótelepre vezetésének időtartama nem lehet hosszabb a megengedettnél (pl. 6 óra), különben a csatornahálózatban hidrogénszulfid képződik, ami miatt szagemisszió keletkezik.

c) A csatornahálózatba csak olyan minőségű ipari szennyvizek vezethetők be, amelyek sem a hálózat üzemét, fenntartását, sem a tisztítótelep üzemeltetését nem zavarják, ill. nem teszik lehetetlenné.

A 3–5. jelű műveletek célja a *tisztítótelepi előtisztítás,* vagyis a szennyvíz durva szennyezőanyagainak eltávolítása.

Az 5. jelű előülepítési művelet az ülepíthető, ill. flotálható anyagokat távolítja el.

A biológiai lépcsőben (6) a szabályozott miliőben élő mikroorganizmusok az előtisztító lépcsőkön átjutott szerves anyagokat részlegesen lebontják (oxidálják) és közben olyan iszapanyaggá alakítják át, amely a biológiai tisztítás után a szennyvízből már eltávolítható (7).

A tisztítótelepi rendszer végén az utótisztítás áll (8), ami utókicsapatás, tavas szennyvíztisztítás, mikroszitaszűrés, lassúszűrés, ill. gyorsszűrés lehet (Öllős, 1991). A többlépcsős tavas tisztítás azonban a (6) biológiai lépcsőt is helyettesítheti, annak szerepkörét is betöltheti. Célja a tápanyagok (P, N), a biológiai tisztítás után *még a szennyvízben maradt* BOI- és lebegőanyagok eltávolítása.

A telepi tisztítási műveletek által a szennyvízből eltávolított anyagok és iszapok az iszapkezelő műveletek révén válnak elhelyezhetőkké, ill. hasznosíthatókká (9 és 10).

A tisztított szennyvíz befogadóba vezetése előtt – a környezet patogén mikroorganizmusoktól való megvédése érdekében – a fertőtlenítési lehetőséget mindenkor biztosítani kell. Fertőtlenítőszerként rendszerint klórt alkalmaznak (11).

A klór-kontaktmedence után a fertőtlenített szennyvízbe kén-dioxid adagolható, így a klór neutralizálható és a szennyvíz a befogadóba vezetés előtt detoxikálható.

A telepi szennyvíztisztítás és a környezet között *közvetlen kapcsolat* a 10. és 12. ponton van. Hogy a közvetlen kapcsolat a környezetvédelmi igényeket kielégíthesse, a teljes szennyvíztisztító rendszeren belül *a tisztítási műveletek számát, azok kombinációját és a tisztítás mértékét kell megfelelően megválasztani.* Egyes esetekben a kétlépcsős biológiai tisztítórendszer nyújt megfelelő mértékű tisztítást. A tisztított szennyvíz természetesen nemcsak a befogadóba vezethető, hanem hasznosítható is.

1.1. KÉRDÉSEK

1. Mit tekintünk teljes szennyvíztisztító rendszernek?
2. Milyen iszapok kezeléséről, elhelyezéséről, hasznosításáról kell gondoskodni?
3. Milyen egyéb anyagok elhelyezéséről, ill. hasznosításáról kell gondoskodni a teljes szennyvíztisztító rendszerben?
4. A szennyvíztisztító rendszer milyen folyamatok révén kerülhet kapcsolatba a környezettel?
5. Mi az üzemeltető feladata és kötelezettsége a környezet védelmét illetően?

2. A SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEK ÜZEMELTETÉSE

2.1. AZ ÜZEMELTETŐK SZEREPE

A szennyvíztisztító telepek létesítési igényével egyidejűleg életre kel a tervezőkből, építőkből és üzemeltetőkből álló team is. Ennek a teamnek jellegzetes vonása általában az, hogy a tervezők és a kivitelezők feladata bizonyos idő alatt befejeződik, az üzemeltetőké azonban folyamatosan tartó. Az üzemeltető az utolsó láncszem, aki az egészséges, esztétikus környezet védelmében fontos szerepet játszik.

Az üzemeltetők közvetlenül felelősek a tisztítóberendezések

– fenntartásáért és
– hatékony működtetéséért.

Felelősségük egyre inkább növekvő, hiszen a szennyvíztisztító telep alatti befogadószakaszon a vízellátást a tisztított szennyvíz minősége alapvetően befolyásolja.

Az üzemeltetési szemlélet és igény az utóbbi évtizedek alatt folyamatosan változik. Elég arra gondolni, hogy a szennyvízelhelyezés hígítási szemlélete fokozatosan tarthatatlanná vált. Amíg viszonylag nagy mennyiségű hígítóvíz létezett, a szennyező anyagok pedig könnyen lebonthatók voltak, a természet a szennyvízelhelyezés problémáinak zömét gyakorlatilag megoldotta. Amint a települések és az ipartelepek száma, nagysága fokozatosan nőtt, az ipari szennyvízhányad – ezen belül az inhibitor és toxikus anyagok, a nehezen vagy egyáltalán le nem bontható szennyezőanyagok hányada – a normál települési szennyvizekéhez képest állandóan fokozódott. A természet öntisztító képessége egyre inkább elégtelenné vált a szennyvíz-elhelyezési gondok átvállalására, olyannyira, hogy számos befogadó a vízminőség szempontjából nyílt szennyvízcsatorna-jellegűvé vált.

Ma már nyilvánvaló, hogy a szennyvizeket elhelyezés előtt a környezeti igényeknek megfelelő mértékig egyre inkább a *szennyvíztisztító telepeken* kell megtisztítani. Így teremthető összhang a szennyvíztisztítás és a környezet védelme között. Ebben a törekvésben *az üzemeltető kulcsszerepet játszik, felelős feladatkört tölt be.*

Amint az *1. ábra* érzékelteti, a természet bizonyos mértékű szennyvíztisztításra általában igénybe vehető. Ez gazdasági kérdés is. A befogadóbeli kihasználható öntisztulás és az elszikkasztott szennyvíz talajbeli tisztulásának mértékét azonban lehetőleg már a tervezéskor kell meghatározni.

2.2. AZ ÜZEMELTETŐK FELADATKÖREI

Az üzemeltető képzettségével szembeni igény alapvetően függ a szennyvíztisztító telep

– nagyságától és
– fajtájától.

Nagy szennyvíztisztító telepen, ahol számos üzemeltető dolgozik együtt, az üzemeltető rendszerint a szennyvíztisztítás egy vagy több fázisának *specialistája*.

Kis szennyvíztisztító telepen, ahol egy, legfeljebb két-három üzemeltető dolgozik, az üzemeltető *mindenhez értő kell legyen*.

Az üzemeltető fő tevékenységi köre a következő lehet:

1. Új telep esetén már a létesítéskor jelen kell lennie avégből, hogy a *teljes telep* felépítését, a berendezéseket, gépészetet, azok működését egyaránt megismerje.
2. A mérnökkel meg kell tárgyalni, hogy a telep miként üzemeltethető, ill. hogy a tervező üzemeltetési elgondolásai miként értelmezendők.
3. Régi telep felújításakor az üzemeltető a konzultáló tervezőnek értékes tanácsokat adhat. Tanácsai

– a szennyvíz jellemzésére,
– a szennyvízforrásokra és
– a meglévő tisztítóberendezések teljesítménykorlátaira vonatkozhatnak.

4. A működő telep üzemét minden szempontból irányítja. Felelős azért, hogy a telep optimálisan működjön. Szem előtt kell tartania, hogy *munkájának fő célja a befogadó védelmének biztosítása* oly módon, hogy *a telep hatásfoka folyamatosan kifogástalan legyen*. A tisztítás minden fázisáról feljegyzéseket készít, az üzemelést pontosan dokumentálja.
5. Tudomása kell legyen a telepfejlesztés, a berendezések korszerűsítése, a laboratóriumi igények és a gazdasági problémák tekintetében egyaránt. Az ilyen problémákat fel kell ismernie, és kellő időben kezdeményezőként kell fellépnie.
6. A teleplátogatókat a telep működéséről és annak céljáról megfelelő módon tájékoztatnia kell. Ilyen irányú munkája egyre inkább fontosabbá és felelősségteljesebbé válik.
7. A telepi látogatásokat nagy gonddal és a biztonsági előírások betartásával kell lebonyolítania. Valamely baleset a lakossággal való kapcsolatok megromlásához vezethet.
8. A telep külső megjelenése a látogató előtt árulkodik az üzemeltetés szintjéről. A piszok stb. látványa a telep nem kellő gondosságú, ill. szakértelmű üzemeltetésének érzetét kelti. Ilyen telep még akkor is hatásfokának elégtelenségét sejteti, ha egyébként a tepe üzeme jó.
9. Az új technika, a fejlettebb berendezések, a növekvő műszerezettség olyan üzemeltetőt igényel, aki tudását folyamatosan fejleszti.
10. Bizonyos laboratóriumi eljárásokat ismernie kell avégből, hogy a szennyvízből, a befogadóból vett minták vizsgálatát irányítani, ill. ellenőrizni, a telep üzemét pedig, ha szükséges, azonnal módosítani tudja.

11. A tisztítási mechanizmusok fő sajátosságait ismernie kell. Az alapvető hidraulikai ismereteknek is birtokában kell lennie. Az elektromos motorok, áramkörök, szabályozórendszerek bizonyos fokú ismeretét sem nélkülözheti.

12. Biztosítania kell, hogy a telep üzeme biztonságos legyen. A balesetveszélyeket ki kell küszöbölnie.

2.3. KÉRDÉSEK

1. A szennyvíztisztító-telepi üzemeltetők fő szerepkörei.
2. Melyek az üzemeltető feladatkörei a telepnagyságrendtől függően?
3. Melyek az üzemeltető fő tevékenységi körei?
4. Melyek az üzemeltető szerepkörei a lakossággal és a teleplátogatókkal való kapcsolattartásban?

3. IPARI SZENNYVIZEK

3.1. AZ IPARI SZENNYVIZEK MINŐSÉGI JELLEMZÉSE

A 2. fejezetben az ipari szennyvizeknek a csatornahálózatok és települési szennyvíztisztító telepek üzemére gyakorolt hatását már említettük. Ennek alapján a szennyvíztisztító telep üzemeltetője az ipari szennyvízforrások és az ipari szennyvizek befolyásának súlyát már érzékeli, az ipari szennyvízkibocsátás okozta problémákat fel tudja ismerni, azokat értelmezni képes, és a kiküszöbölésük lehetséges módjai tekintetében is legalább közelítő véleményt alkothat.

Ezen túlmenően az ipari szennyvizek fő típusait, azok keletkezését, egymásra gyakorolt hatásukat, a kémiai és biológiai reakciókat, a gyártási technológiák fő vonásait is ismernie kell.

Az ipari szennyvizek a biológiai szennyvíztisztítás szempontjából két fő csoportba sorolandók (Langen, Talebi és Kerri, 1988):

1. Olyan szennyező anyagokat tartalmazók, amelyek szennyezőkomponensei normális üzemelési körülmények között a biológiai szennyvíztisztító telepen kielégítő mértékig eltávolíthatók. Ilyen komponensek:

– a biokémiai oxigénigény (BOI),
– a szuszpendált állapotú lebegőanyagok (SS),
– ammónia (NH_4^+, NH_3).

2. Olyan szennyező anyagokat tartalmazók, amelyek normális üzemelési körülmények között a biológiai szennyvíztisztító telepen nem, vagy csak elégtelen mértékig távolíthatók el. Ilyen szennyezőanyag-komponensek például:

– nehézfémek (réz, ólom, nikkel, cink stb.),
– szerves anyagok (metilén-klorid, 1,1,1-triklór-metilén, metil-etil-keton, aceton, gazolin, toxikus szerves anyagokat és/vagy fémeket tartalmazó iszapok stb.).

Egyéb kémiai komponensek, mint a kalcium, nátrium, nitrát, karbonát, szulfid, pH – ha koncentrációi, ill. szintjei bizonyos határon felüliek –, a csatornahálózati és a szennyvíztisztító-telepi berendezéseket folyamatosan befolyásolhatják. Az ipari szennyvizek fizikai jellemzői, mint a hőmérséklet, oldhatóság, oldhatatlanság, viszkozitás, a transzportáló- és tisztítórendszer kémiai, mechanikai és biológiai folyamatait szintén befolyásolhatják.

Az ipari szennyvizek még elfogadható *hatását* a csatornahálózat, a szennyvíztisztító telep, a tisztított szennyvíz és iszap elhelyezése, valamint az újrahasználat szempontjából tisztázni kell. A szóba jöhető hatások: az ipari szennyvíz

– hőmérséklete,
– szagemissziója,
– pH-ja,
– hozama stb.

Például: valamely magas hőmérsékletű ipari szennyvíz kibocsátása elősegítheti és gyorsíthatja

– a biológiai lebontást,
– a hártyaszaporulatot,
– a szagemissziót (az anaerob lebontásból),
– a betoncsövek és a fémanyagú csatornaszelvények korrózióját (*2. ábra;* Langen, Talebi és Kerri nyomán, 1988).

A biológiai tisztítórendszerben a magas hőmérséklet baktériumpopuláció átrendeződését eredményezheti, miáltal

– felúszó iszap keletkezhet,
– a BOI-eltávolítás mértéke csökken,
– a befogadó terhelése kedvezőtlenebbé válik, így a teleptől megkívánt tisztítási hatásfok elérése veszélybe kerülhet.

A biológiai szennyvíztisztító telep feladata elsősorban

– a normál települési szennyvizek, valamint
– az olyan ipari szennyvizek tisztítása, amelyek normálisan lebonthatók, ill. szennyező anyagjaik az ismert szennyvíztisztító műveletek révén eltávolíthatók.

2. ábra. Szulfid okozta korrózió betoncsatorna felületén

Az ipari szennyvizek bizonyos ipari tevékenységekhez kötődnek. Például a magas nitrát- és peszticidtartalmú szennyező anyagok rendszerint mezőgazdasági eredetűek. Poliklórozott bifenileket az elektromos transzformátorokban hidraulikai folyadékként és hőátadó folyadékként alkalmaznak. A savak, a nehézfémek, a cianid a galvánipari szennyvizekben vagy a mikroelektronikai szennyvizekben találhatók. Az olaj, a zsír, a fenolok, az ammónia és a szulfid az olajfinomítók szennyvizeiben tipikus. A nagy BOI- és lebegőanyag-koncentrációk általában az élelmiszeripari szennyvizekre jellemzők.

A különböző ipari szennyvizek fő minőségi jellemzői az *1. táblázat*ban adottak.

1. táblázat. A különböző ipari szennyvizek minőségi jellemzői

Ipar	Szennyvíz jellemzői
Gépkocsi	Olaj, zsír, fenolok, fémek, BOI, KOI, savak, toxikus szerves vegyületek
Pékség	Zsírok, olaj, kenőanyag
Akkumulátor	Savak, fémek
Vegyszerek (szerves)	Toxikus szerves anyagok, BOI, KOI, savak, fémek
Vegyszerek (szervetlen)	Savak, fémek, ammónia, foszfát
Elektromos és elektronikus	Fémek, savak, lebegőanyagok, toxikus szerves anyagok, fluorid
Galvanizálás és fémfeldolgozó	Savak, fémek, cianid, toxikus szerves anyagok
Élelmiszer	BOI, KOI, lebegőanyag, alkáliák, olaj, zsír
Bőrcserzés és -feldolgozás	BOI, lebegőanyag, króm, olaj, zsír, szulfid, fecal coliform
Fémek (olvasztás és feldolgozás)	Savak, fémek, BOI, KOI, lebegőanyag, fenolok, cianid, szulfid, ammónia
Bányászat	Savak, fémek
Mázolás	BOI, KOI, lebegőanyag, toxikus szerves anyagok, réz, ólom, higany
Petróleum	Olaj, zsír, BOI, KOI, savak és alkáliák, fémek, szulfid, ammónia, fenolok, hő, merkaptán
Gyógyszer	BOI, fémek
Műanyagok és szintetikus anyagok	BOI, KOI, lebegőanyag, toxikus szerves anyagok
Energiatermelés	Hő, olajok, lebegőanyag, fémek, klór
Fa és papír	Savak, alkáliák, BOI, KOI, lebegőanyag, klór
Fatermékek	Lebegőanyag, olaj, zsír, BOI, KOI, fatartósító szer
Gumi	BOI, lebegőanyag, olaj, zsír
Textil	KOI, króm, fenol, szulfid, festékek

3.2. AZ IPARI SZENNYVIZEK HATÁSA A SZENNYVÍZTISZTÍTÁSRA

Az ipari szennyvizek fő ártalmas hatásai a biológiai szennyvíztisztítással kapcsolatban (Gudgel, in Kerri és Herr, 1989):

Csatornahálózat

1. Eltömődés a zsír, olaj jelenléte miatt.
2. Savas szennyvíz által okozott korrózió.
3. Hűtővizek csatornába vezetése miatti hidraulikai túlterhelés.
4. Robbanásveszély gazolin vagy egyéb üzemanyagok miatt.
5. Magas hőmérsékletű szennyvizek csatornába vezetése.

Rácsok és komminutorok

1. Túlterhelés úszó- és lebegőanyagokkal.
2. A komminutor túlzott igénybevétele kemény anyagok aprítása miatt.

Homokfogó

1. Túlterhelés a nagy homokkoncentráció miatt.
2. A homok nagy szervesanyag-tartalma.
3. Váltakozó szennyvízhozam miatt az eltávolítás hatékonysága csökken.

Ülepítők

1. A váltakozó hidraulikai terhelések a hatékonyságot csökkentik.
2. Úszóiszap-problémák a nagy olajtartalom miatt.
3. Finom eloszlású szuszpendált lebegőanyagok az elfolyó szennyvíz minőségét lerontják.
4. Magas szuszpendált lebegőanyag-tartalom miatti nagy iszapmennyiség.

Eleveniszapos medence

1. A tisztított szennyvíz minőségének leromlása a tranziens terhelések hatására.
2. Nagy szénhidrát-koncentráció jelenléte iszapfelfúvódást, ill. gyengén ülepedő iszapot eredményez.
3. Habproblémák.
4. Toxikus anyagok a lebontást gátolják.
5. A nagyon alacsony vagy magas pH-jú ipari szennyvizek a tisztítási folyamatokat felboríthatják.

Iszaprothasztás

1. Szervetlen lebegőanyagok az iszaprothasztásra negatív hatással vannak.
2. Nagy mennyiségű iszap által okozott túlterhelés.
3. Felúszóiszap-képződés nagy mennyiségű szerves iszap jelenléte miatt.
4. pH-problémák ipari szennyvíz miatt.
5. Toxikus anyagok.

Iszapelhelyezés, hasznosítás

1. Toxikus anyagok jelenléte.
2. Természetes-idegen anyagok jelenléte.

A fejezetből kitűnik, hogy a *káros hatású ipari szennyvizek előtisztítása*

– *a csatornahálózat és*
– a *szennyvíztisztító rendszer* (az iszapelhelyezést is beleértve) *védelme érdekében elengedhetetlen.*

Ezen igény felismerését az üzemeltetési tapasztalatok egyre inkább elősegítik. Az ipari szennyvizek előtisztítása a jövőben már fejlettebb, átfogóbb célok

– a szennyvíztisztító rendszer védelme,
– a környezet védelme,
– a szennyvízzel kapcsolatba kerülő emberek védelme,
– a lakosság védelme miatt szükséges.

Minél inkább ismertekké válnak az ipari vegyszerek káros hatásai a szennyvízzel kapcsolatba kerülő emberekre, az egészségügyi szempontok annál erőteljesebben érvényesítendők. De a korróziós hatások is veszélyesek lehetnek a csatornahálózati és szennyvíztisztító-telepi dolgozókra, mert a csatornaelemek és szennyvíztisztító-telepi berendezések egyaránt károsodhatnak, ami eleve veszélyforrást jelent.

Egyes szennyvizek, mint például a cianid-tartalmúak, a csatornahálózat üzemeltetői részére toxikus atmoszferikus állapotokat okozhatnak.

További példa: a nem toxikus, de nagy BOI-koncentrációjú élelmiszeripari szennyvizek a csatornahálózatban anaerob állapotokat idézhetnek elő (ami a csatornarendszer reaktor voltának egyértelmű bizonyítéka), így toxikus hidrogénszulfid-gáz jelenlétére kell számítani. A csatornahálózati anaerob állapot általában a biológiai szennyvíztisztítás szempontjából sem kívánatos.

A települések lakossága is egyre inkább felismeri, ill. sejti az ipari szennyvizek által okozott veszélyes és kellemetlen problémákat. A láthatatlan, ismeretlen ipari szennyvizek – mint potenciális veszélyforrások – miatti aggodalom egyre fokozódik.

Dél-Kaliforniában a veszélyes hulladék feltöltésbe helyezése után a helyi lakosság azt gyanította, hogy a csatornahálózat szellőztetőin át vinil-klorid gázok jutottak a légtérbe, és ez a lakásokban is észlelhető. Erre a gyanúra az a tény nyújtott alapot, hogy a feltöltésből a talajvízbe jutott szennyezett folyadék a talajvízzel együtt a csatornahálózatba infiltrálódott. Noha a feltöltésből kijutó folyadék vinil-klorid gáztartalma valójában kicsi volt, így nem jelentett reális veszélyt, *a lakossági közérzet miatt* a feltöltésből származó folyadék csatornába való infiltrációját mégis meg kellett akadályozni.

Számos ipari szennyvíz jelentős mértékű szagártalmat okozó szennyezőkomponenseket tartalmaz. Ilyen például a hidrogénszulfid. Ezek szabályozásához, megszüntetéséhez, légkörbe kerülésük megakadályozásához (vagy legalábbis megfelelő mértékű csökkentéséhez) fontos érdekek fűződnek, hiszen a kiszolgált települések lakosságával a pozitív kapcsolatok fenntartása alapkövetelmény kell hogy legyen.

A lakosság esztétikus, egészséges környezetet igényel, amely mentes a szennyező anyagoktól, így a toxikus vegyületektől, a patogén baktériumoktól, vírusoktól és gombáktól, valamint a fizikai stresszhatásoktól (zaj, hő, hideg, kellemetlen szagok, vibráció, kisugárzás stb.).

A csatornahálózaton és a tisztítótelepen átjutó anyagok és a részlegesen tisztított szennyvíz káros hatásai:

– a befogadókba jutva azokat szennyezi, a halak és egyéb vízi szervezetek elpusztulnak,
– a befogadók vize a vízellátás szempontjából potenciális veszélyforrássá válik,
– a tisztítótelepi iszapok mezőgazdasági hasznosítása, elégetése, feltöltésbe helyezése a környezet károsodását eredményezi olyan mértékben, amilyen és amennyi ipari szennyvíz kerül a csatornahálózatba, ill. a szennyvíztisztító telepre.

A szakterületünket érintő tudományterületek ismeretanyagai birtokában azonban azt is hangsúlyozni kell, hogy *a környezetszennyeződés elkerülhető*

– az ipari toxikus szennyező anyagoktól mentes szennyvíz és
– jól üzemeltetett szennyvíztisztító telep esetében.

Mint ahogy a szagemisszió nem velejárója a szennyvíztisztításnak szakszerű üzemeltetés esetében, úgy *a környezetszennyezés sem velejárója a szennyvíztisztításnak, ha a tisztítás üzemeltetési szempontból optimális. Ha az optimális üzemű szennyvíztisztítás feltételei biztosíthatók, a társadalom és a szennyvíztisztításból eredő* – ma még számos esetben létező – *konfliktushelyzet eleve kiküszöbölhető.* Ezt az üzemeltetőnek is egyértelműen szem előtt kell tartania.

Az ipari szennyvizek települési szennyvíztisztításra gyakorolt káros hatásainak értelmezésekor abból kell kiindulni, hogy e káros hatásokat az ipari szennyvízkibocsátás

– egyedül vagy
– egyéb kibocsátásokkal együttesen

gátolhatja, vagy megszakíthatja.

Ezért a tisztítótelep üzemeltetőjének *a potenciális egymásrahatás problémáit* is *időben,* már a települési szennyvíztisztító-telepi elfolyás minőségének káros mértékű romlása előtt *fel kell ismernie.* A vízminőségi felügyelet és a tisztítótelepi üzemeltető közötti megfelelő együttműködés az a reális út, amelyen járva a tisztítótelepi üzemeltetésben és/vagy az elfolyás minőségében bekövetkező változások időben felismerhetők, jelentkezzenek azok hirtelen vagy fokozatosan.

Példák:

1. A BOI-eltávolítás sebességének vagy a biológiai populációnak a változását

– a tisztítótelepi üzemeltetésben bekövetkezett kedvezőtlen változás, vagy
– az ipari szennyvízkibocsátás okozhatja.

2. A tisztítótelepi toxikus szennyvízterhelés első jele rögtön felismerhető az eleveniszapos medence oldott oxigén koncentrációját jelző mérőberendezés segítségével: ahogy a toxikus terhelés az eleveniszapos medencét eléri és rajta áthalad, az oldott oxigén koncentráció maradéka jelentősen nő. Az oldott oxigén koncentráció növekedése a levegőbevitel növelése nélkül azt jelzi, hogy a toxikus szennyvízterhelés az eleveniszapos medencében lévő mikroorganizmusok normál lebontó tevékenységét gátolja, ezáltal a mikroorganizmusok oxigénfogyasztása (respirációja) csökken.

3. A szennyvíztisztító telepet ért toxikus szennyvízterhelés második jele az, hogy az utóülepítőből távozó szenyvízben, a sejtek elhalásának jeleként, egyre több a pe-

hely. A távozó pehely mennyisége a toxikus szennyvíz komponenseitől, ill. azok koncentrációitól függ.

4. A toxikus anyagok a mikroorganizmusok respirációsebességét lassítják, ezáltal a szubsztrátumátalakulás sebességét befolyásolják.

5. A toxikus komponensek tartós hatására a mikroorganizmusok szaporodási sebessége csökkenhet, sőt a mikroorganizmus-populáció összetétele is változhat.

Amikor a toxikus anyag szennyvíztisztító telepre jutása nyilvánvalóvá vált, az üzemeltetőnek mindent el kell követnie annak érdekében, hogy a szennyvízből vett minta mielőbbi analízisével meghatározza a toxikus komponenseket, és ezzel a toxikus inputforrást felderítse.

A *2. táblázat* további példákat szolgáltat arra, hogy az ipari szennyvízkibocsátások befolyásolják a tisztítórendszerbeli folyamatokat (Langen, Talebi és Kerri, 1988).

2. táblázat. Ipari szennyvizek hatása a szennyvíztisztítási folyamatokra

Forrás	Szennyező anyag	Hatás a tisztítórendszerre
Fémfeldolgozó és nyomtatott áramkör ipar, akkumulátor- és elemgyártó ipar	A) Nehézfémek	1. A biológiai eltávolítás sebessége csökken vagy leáll 2. Az iszapfelhasználás lehetetlenné válik, ill. az iszap veszélyes szennyezőanyaggá válik
	B) Klórozott oldószerek	1. Hatásuk, mint A)-nál 2. Toxikus gázráhatás a tisztítótelepi dolgozókra
	C) Savak	1. Mikroorganizmusok elpusztulnak, a biológiai tisztítás leáll 2. Anaerob rothasztás felborul, gáztermelődés csökken 3. Szerkezetek korróziója
Tisztítási műveletek (gépek javítása stb.)	D) Detergensek	1. Utóülepítőbeli habképződés, ami az iszap ülepíthetőségét és víztelenithetőségét csökkenti
Olajtermelés, finomítás, gyógyszergyártás	E) Olaj	1. Ülepítést zavarja 2. Nagy mennyisége toxikus az anaerob baktériumokra, így a gáztermelődés csökken 3. Robbanékony, tiszta oxigénes eleveniszapos rendszer esetében
	F) Gyúlékonyak	1. Hatások, mint A)-nál 2. Robbanékony, ha az ülepítési folyamatnál akkumulálódnak
	G) Szulfid (olajtermelés)	1. Toxikus a tisztítótelepi dolgozókra 2. Szagpanaszok 3. Oxigénigény nő 4. Szellőztetési igény nő
	H) Só (olajtermelés)	1. Oxigénátadás hatékonysága csökken 2. Biológiai aktivitás gátlódik

2. tábl. folyt.

Forrás	Szennyező anyag	Hatás a tisztítórendszerre
Élelmiszergyártás	I) BOI (oldott, oldhatatlan)	1. A biológiai tisztítás oxigénigényét növeli 2. A biológiai tisztítás mikrobiológiáját változtathatja, így ülepítési problémákat okoz 3. Szaghatás
Szerves vegyszerek (ketonok, alkoholok stb.)	J) Aceton, metil-etil-keton, izopropanol	1. Biológiai tisztítás esetében a mikroorganizmusok aklimatizálódnak. Hatás, mint I)–1-nél 2. Biológiai tisztítás esetében a mikroorganizmusok nem aklimatizálódnak. Hatás, mint B)-nél
Közszolgáltatások (gőz, elektromosság, hűtőtornyok)	K) Hőmérséklet (meleg)	1. Ülepíthetőség kedvezőbb Biológiai aktivitás nő Eltávolítási hatékonyságok általában nőnek
	L) Hőmérséklet (forró)	1. Hőmérsékleti határok túllépése 2. Mikrobiológiai vagy a biológiai tisztítás változik 3. Hidrogénszulfid termelődése gyorsul, ami szagokat és korróziót okoz

3.3. AZ IPARI SZENNYVIZEK ELŐTISZTÍTÁSA

Az előző fejezetekből kitűnik, hogy a hagyományos biológiai szennyvíztisztítás célja a BOI- és a szuszpendált anyagok eltávolítása. A továbbfejlesztett, hagyományos szennyvíztisztító rendszer a nitrogén- és foszforvegyületeket is eliminálja. Ma már olyan tisztított-szennyvízminőségi előírások is életbe lépnek, amelyek igénylik

– az illékony szerves szén és
– egyes mikroszennyező-anyagok µg/l-koncentrációra csökkentését és
– a növényi és állati életre toxikus szerves és szervetlen anyagok megfelelő mértékű eltávolítását.

Számos esetben az ilyen szerves anyagok eleve nehezen lebonthatók (refraktory), vagy a biológiai folyamatok és a fizikai-kémiai technológia melléktermékei. Ezek a vegyületek vagy vegyületcsoportok gátló (inhibitor) vagy toxikus (mérgező) hatásúak a biológiai szennyvíztisztításra (a széntartalmú anyagok lebontására és a nitrifikációra egyaránt), gyors, ill. tartós (krónikus) toxicitásúak lehetnek az élő szervezetekre (Eckenfelder, 1991).

Az ilyen minőségű, zömmel *az ipari tevékenységből eredő szennyvizek tisztítástechnológiája* az alábbiakat foglalja magában:

– a sajátos szennyező anyagoknak a keletkezés helyén (például az ipartelepen belül) történő eltávolítását (source treatment),
– a biológiai tisztítást követő utótisztítást (tertiary treatment),
– a hagyományos biológiai tisztítástechnológia továbbfejlesztését, mint például por alakú aktív szén (PAC) adagolását, vagy kémiai oxidálószerek alkalmazását.

A toxikus ipari szennyvizek ipartelepen belüli előtisztítása feltétlenül szükséges, ha

– a toxikus anyagokat a szennyvíztisztító telep nem képes eltávolítani és/vagy
– a toxikus szennyeződés a biológiai tisztítást zavarja, ill. lehetetlenné teszi.

A fenti követelmények elkerülésének, ill. minél hatékonyabb mérséklésének lehetőségei a következőképpen ítélendők meg (Kelemen, 1992).

Az ipari szennyező anyagok települési szennyvizekbe kerülésének hányada – várhatóan – nő, hiszen a kis üzemek szaporodása e hányad növekedésével jár együtt. A nagy ipartelepek rovására létesülő kis- és közepes ipari üzemek esetében ugyanis az önálló ipari szennyvíztisztítás a jelenleg létező technológiákkal nem gazdaságos. Pedig ipari előtisztítás nélkül a települési szennyvizek jelentős hányada csak részlegesen vagy esetleg egyáltalán nem tisztítható.

A megoldás: bizonyos időtartamon belül *a toxikus anyagokat tartalmazó ipari szennyvízhányad előtisztításáról, ill. előkészítéséről kell gondoskodni.*

A toxikus és a biológiailag nehezen lebontható anyagokat az ipartelepet elhagyó szennyvízből ki kell zárni, de el kell kerülni egyéb üzemi szennyvizekkel való keveredésüket is. Meg kell akadályozni a keverék üzemi szennyvíznek a települési csatornarendszerbe való bejutását, valamint a települési szennyvíznek és a keverék ipari szennyvíznek a szennyvíztisztító telepre, ill. közvetlenül a befogadóba való bejutását, hiszen már viszonylag kis koncentrációjuk is káros a biológiai folyamatokra.

Ha valamely üzemben csak a gyártástechnológiák egyikéből-másikából származnak toxikus anyagok, csak *azok szennyvízhányadának szelektív előtisztítása szükséges.* Ez azért előnyös megoldás, mert ez a szennyvízhányad rendszerint még kicsi, ezért kis berendezésekkel és viszonylag kis költséggel tisztítható.

Ha ez az üzemi szennyvízhányad az üzem egyéb szennyvizeivel, majd a települési szennyvízzel keveredve már nagy mennyiségűvé válik, gazdasági okok miatt gyakorlatilag megoldhatatlan feladat a legveszélyesebb toxikus anyagok eltávolítása és a biológiai szennyvíztisztító rendszer tehermentesítése.

Ezért a feladatokat súlypontosítva kell kezelni (Kelemen, 1992):

1. Először a legveszélyesebb toxikus komponensek szelektív eltávolítását biztosító üzemek részesítendők támogatásban, adókedvezményekben.
2. A kevésbé veszélyes toxikus komponenseket kibocsátó üzemeknek türelmi időt kell biztosítani, ami alatt a toxikus anyagok üzemen belüli eltávolítását meg kell oldani. Ehhez is célszerű támogatást nyújtani, amennyiben az eltávolítás hatékony. Új üzem esetében azonban, legyen az nagy vagy kicsi, türelmi idő nem adható.

Az optimális megoldás tehát az üzemekből származó toxikus anyagok kibocsátásának (emisszió) megakadályozása.

Ezzel szemben *az üzemekből származó nem toxikus, biológiailag jól bontható szennyező anyagokat a települési szennyvízzel együtt (tehát keverék szennyvízként) a települési szennyvíztisztító telepen célszerű tisztítani.*

Hiszen például a települési szennyvízzel való keveredés révén az üzemi szennyvizek olyan mértékben hígulhatnak, ami a biológiai tisztítást kedvezőbbé teszi, mintha az ipari üzem önállóan, biológiai úton tisztítaná. Ezt a célt a többlépcsős biológiai tisztítórendszerek is jól szolgálják.

Az is nyilvánvaló, hogy egyes *nagy szervesanyag-tartalmú* üzemi szennyvizek esetében az *üzemen belüli anaerob előtisztítás* gondolatát is fokozottabban kell felkarolni.

Az ipari előtisztítás nagy, közepes és kis ipartelep esetében eltérő feltételek mellett valósítható meg.

A *nagy ipartelepen* az előtisztítási feltételek kedvezőbbek, hiszen

– a szakember-ellátottság kedvezőbb,
– laboratórium pedig rendelkezésre áll.

A *közepes és a kis ipartelepen* ezek a feltételek rendszerint nem, vagy csak bizonyos mértékben adottak. Ezeken a telepeken az elfolyó, vagyis *a csatornahálózatba kerülő szennyvíz minőségének fokozottabb ellenőrzése nyújthat biztonságos megoldást.*

Az ipari szennyvizek problémáit az üzemeltetőnek mind a települési szennyvíztisztító telep üzeme, mind a befogadó (ami lehet folyó, szikkasztórendszer, tisztított települési szennyvíz ipari újrahasználata) szempontjából *egyidejűleg, felelősségteljesen* szem előtt kell tartani. Ez azonban természetes, hiszen *az üzemeltető közvetlenül érzékeli* a szennyvíztisztítás hatékonyságának időbeli alakulását és annak a befogadókra gyakorolt kedvező vagy kedvezőtlen következményeit.

3.4. IRODALOM

Dulovics D. (1992): Szóbeli közlés.

Eckenfelder, W. W. (1975): Wastewater Treatment Design: Economics and Techniques. Part I. *Water and Sewage Works*, June.

Eckenfelder, W. W. (1991): Strategies for Toxicity Reduction in Industrial Wastewaters. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 24, No. 7.

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

Kelemen L. (1992): Szóbeli közlés.

Kwok, P. S., Kerri, K. D. (1988): The Pretreatment Facility Inspector. In: *Pretreatment Facility Inspection*. California State University, Sacramento, EPA.

Langen, R. W., Talebi, M., Kerri, K. D. (1988): Industrial Wastewaters. In: *Pretreatment Facility Inspection*. California State University, Sacramento, EPA.

Lewandowski, Z. (1987): Behaviour of Biological Reactors in the Presence of Toxic Compounds. *Wat. Res.*, Vol. 21, No. 2.

Öllős G. (1991). *Szennyvíztisztítás*. VÍZDOK. Budapest. AQUA Kiadó.

3.5. KÉRDÉSEK

1. Ipari szennyvizek jellemző típusai a települési biológiai szennyvíztisztítás szempontjából. (3.1. fejezet.)
2. A különböző ipari szennyvizek minőségi jellemzői. (3.1. fejezet.)
3. Ipari szennyvizek hatása a települési szennyvíztisztításra. (3.2. fejezet.)

4. Ipari szennyvizek hatása a befogadókra (folyókra, szikkasztórendszerekre, tisztított szennyvíz ipari újrahasználatára (3. fejezet.)
5. Az üzemeltető szerepe a toxikus ipari szennyvizek káros hatásainak felismerésében, ill. kiküszöbölésében. (3. fejezet.)
6. Az ipari szennyvizek előtisztításának követendő elvei. (3.3. fejezet.)
7. Az iparteleni előtisztítás kis, közepes és nagy iparteleпek esetében. (3.3. fejezet.)
8. Milyen ipari szennyvizek tekinthetők toxikusnak? (3. fejezet.)
9. Miként ismerhetők fel a toxikus hatások az eleveniszapos medencékben? (3.2. fejezet.)
10. Az ipari szennyvizek toxikus hatásai a környezetre; a hatások hol és milyen formában nyilvánulhatnak meg? (3.2. és 3.3. fejezet.)

4. RÁCSOK, KOMMINUTOROK (TISZTÍTÓTELEPI ELŐTISZTÍTÁS)

4.1. AZ ELŐTISZTÍTÁS IGÉNYE

A tolózárak, szivattyúk, iszapszállító vezetékek eltömődése, a rothasztó térfogatának csökkenése, a különböző tisztítóberendezések felesleges terhelése, az ülepítők iszapkaparó berendezéseinek meghibásodása stb. – tipikus problémák az olyan szennyvíztisztító telepeken, amelyek elejéről a megfelelő előtisztító lépcsők hiányoznak vagy elégtelenül funkcionálnak. Az előtisztító lépcső lehet rács, komminutor (aprító, 4.3.5. fejezet) és homokfogó. Az ezekkel eltávolítandó anyagok szemmel követhető durva úszó és lebegő szennyező anyagok (pl. ágak, kövek, fogkrémes tubusok zárókupakjai, palackok, rongydarabok, konzervdobozok, falevél, homok), amelyek különféle úton juthatnak a csatornahálózatba, majd a szennyvízzel együtt a tisztítótelepre transzportálódhatnak. Ezen anyagok zöme lebontást nem igényel, közös vonásuk továbbá, hogy a tisztítótelep üzemét csak zavarnák, súlyos üzemelési, fenntartási és hatásfokproblémákat okoznának. *Eltávolításuk (az előtisztítás után) a tisztítóberendezések védelmét szolgálja.* Ennek érdekében *a durva szennyező anyagokat minél előbb el kell távolítani.*

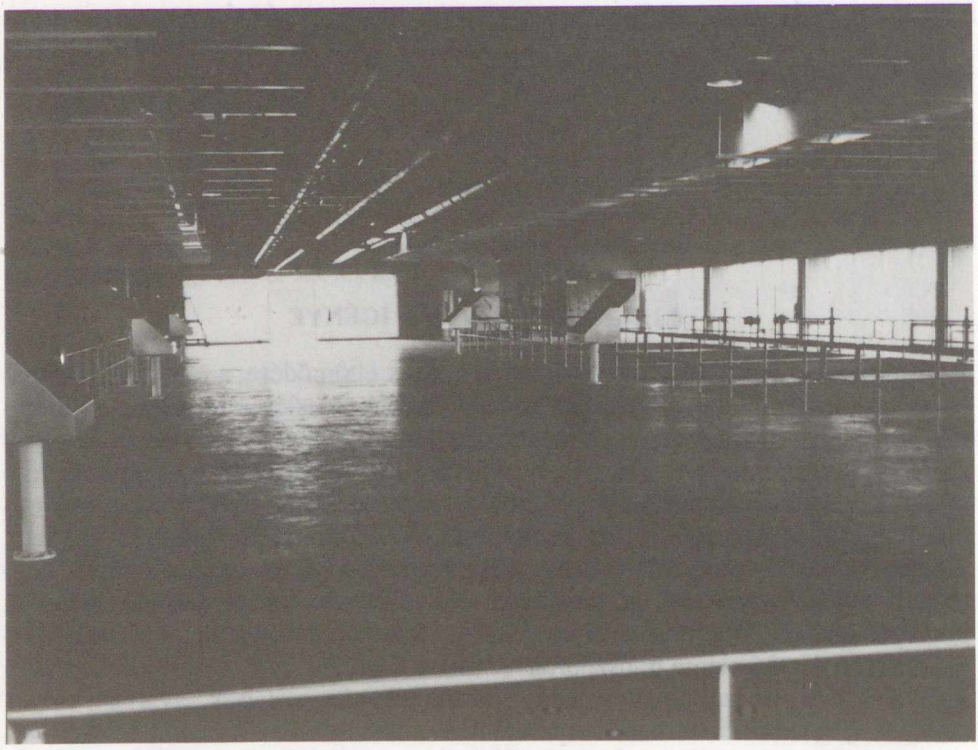
4.2. A RÁCSOK ELHELYEZÉSI SZEMPONTJAI

1. Ha a főgyűjtő a szennyvíztisztító telephez való csatlakozás helyén nagyon mélyen van, vagy ha a tisztítóteleptől bizonyos távolságra kell szivattyútelepet beiktatni, a szivattyú elé durva rácsot (4.3.1. fejezet) kell helyezni. Ha a rács mély aknába vagy a csatornába kerül, a műtárgyba való lejutás és a rácsszemét felemelése a műtárgy alkalmas kialakítását igényli.

2. Egyesített rendszerű főgyűjtő tisztítótelephez való csatlakozási helyén, a szivattyú elé durva rács helyezendő.

3. A tisztítótelepen a durva rácsot a homokfogó elé helyezik.

4. A rács fedett épületbe helyezése korszerű törekvés *(2/a ábra)*. Ezáltal a rács az időjárásviszonyokkal szemben védettebé válik, fenntartása és üzemeltetése könnyebb, esztétikusabb. Függetlenül attól, hogy a rács épületbe kerül-e, a mechanikai tisztítású rácsok meghajtóberendezéseit üzemelési szempontból feltétlenül fedett térben kell elhelyezni. Az épületbe helyezett mechanikai tisztítású rácsok jó szellőztetése elengedhetetlen. Ennek a megoldásnak előnye, hogy:



2/a ábra. Épületbe helyezett előtisztító berendezések, USA (szerző felvétele)

– nő a berendezés élettartama,
– a berendezésen a nedvesség akkumulációja csökken,
– a berendezések körül a korrózió-atmoszféra kiküszöbölhető.

4.3. RÁCSTÍPUSOK

A rácsok, a rácsnyílásoktól függően

– durva vagy
– finom rácsok.

A kézi tisztítású durva rácsok párhuzamos elhelyezkedésű pálcái között lévő nyílások szélessége 25–50 mm. A pálcák vízszintessel bezárt hajlásszöge 45–60 fok. A mechanikai tisztítású durva rácsok jellegzetes nyílástartománya 13–38 mm és a vízszintessel bezárt hajlásszögük 60–90 fok. Az ajánlott közelítő áramlási sebesség a nyílásokon át 0,6–0,9 m/s, ami hidraulikai csúcsterheléskor sem lehet 0,9 m/s-nél nagyobb. Ezáltal kerülhető el, hogy a szennyező anyagok (rácsszemét) a nyílásokba behatoljanak.

A finom rács nyílásai 0,25–6,4 mm-es tartományba esnek. A fix finom rács a durva rács után helyezendő el.

4.3.1. DURVA RÁCSOK ÉS TÍPUSAIK

A durva rácsok fajtái:

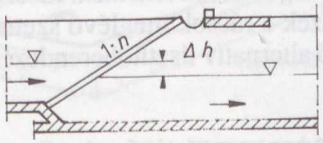
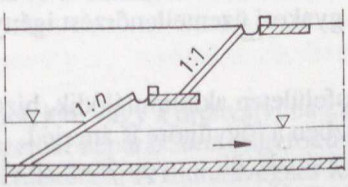
– pálcás durva rácsok,
– komminutorok.

A pálcás durva rácsokat

– a nyers szennyvízszivattyú,
– a vízmérő,
– a homokfogó és
– az előülepítő előtt,

a mechanikai tisztítású rács, ill. a komminutor megkerülő szakaszába kell beépíteni.

A csatornába vagy rácskamrába épített kézi tisztítású durva rács típusai és jellemzői a *3. ábrán* adottak.

Típus	Kialakítás	Jellemzők
Pálcás rács kisméretű csatornához		Rácsrostély lejtés; 1:n =1:2–1:3 max. 45°–60° beépítés: csatorna vagy rácskamra
Pálcás rács nagyméretű csatornához		Rácsrostély rostély szárazidei és záporvíz idő-szakhoz ; beépítés: csatorna négyszög-letes vagy trapéz keresztmetszetű

3. ábra. Csatornába (vagy rácskamrába) telepített kézi tisztítású rácsok típusai

A pálcás rácsok időszakonkénti tisztításakor, a rácson felgyülemlett rácsszemét miatt hirtelen áttörések jelentkezhetnek, melyek a rács hatékonyságát csökkentik. Folyamatos (mechanikai) gépi tisztítású rácsok esetében az ilyen hatékonyság-csökkenés általában a minimumra csökken, ezáltal a szaghatás is redukálódik. Ezért a mechanikai tisztítást nagy és közepes telepeken szinte mindig alkalmazzák, sőt gyakran már kis telepeken is. Egyesített csatornahálózat esetében a gépi tisztítású, pálcás rácsokat különösen szívesen alkalmazzák, kihasználván előnyeiket:

– nagy mennyiségű uszadékot és durva lebegőanyagot képesek eltávolítani,
– a záporvíz idején is hatékonyan működnek,
– robusztus szerkezetük miatt üzemük viszonylag biztos.

4.3.2. FINOM RÁCSOK ÉS TÍPUSAIK

A finom rács feladatai:

– a finomabb úszó- és lebegőanyagok, a detritusz (a homok és durva szerves anyagok keveréke) durva rács utáni hatékonyabb eltávolítása,
– az 50 mm alatti, tehát kisebb méretű úszó- és lebegőanyagok visszatartása,
– a szivattyúk, berendezések védelme az előtisztítás révén.

Rácsból tartalékra nincs szükség, de egyedül álló csatornába beépített homokfogó esetében megkerülőcsatornára szükség van. Iker csatorna-homokfogó esetében megkerülőcsatorna nem szükséges.

Egyesített rendszerű csatornahálózat esetében a finom rácsot durva ráccsal kell védeni.

A finom rács kézi vagy gépi tisztítású lehet (MI–10 127/4 T).

Ahol a szárazidei szennyvízhozam 750 m^3/d-nél kisebb, a kézi tisztítású finom rács helyett elegendő a *rácsszemét-kosár* – amely egyben rácsszemét-tároló is. A kosár pálcái közötti nyílás 5–20 mm.

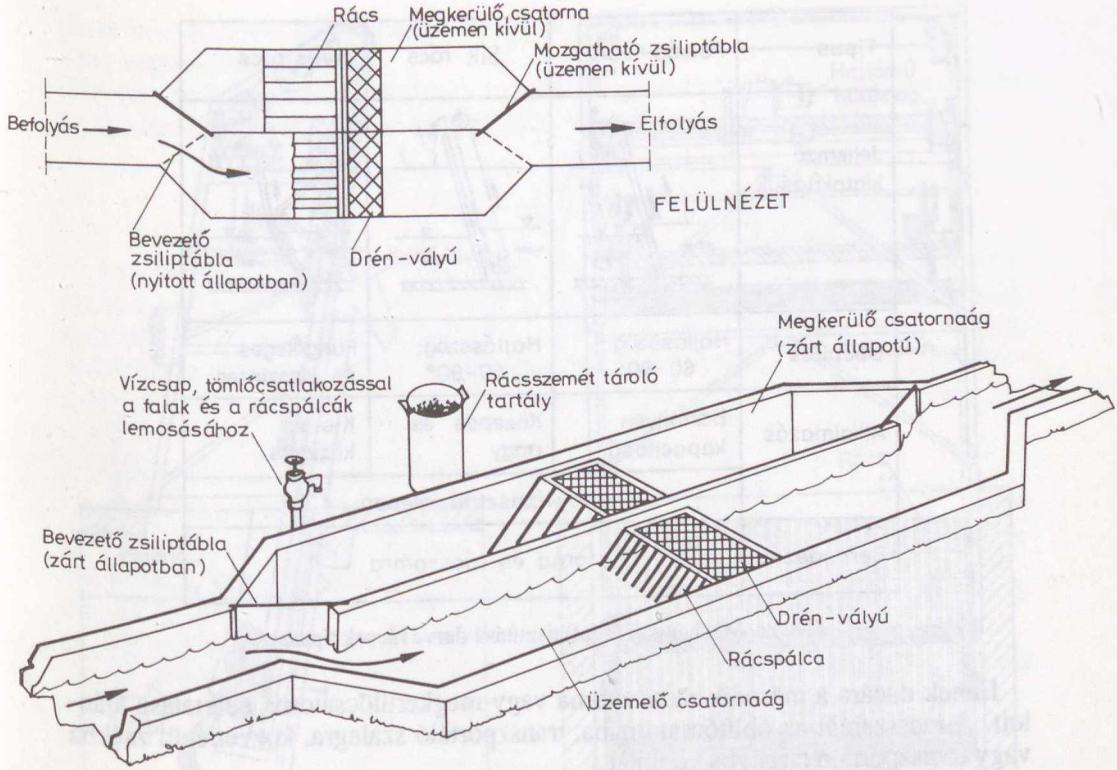
A nagyon finom, 0,2–1,5 mm *rácsok* (pl. ívszita) az előülepítőhöz hasonló tisztítási fokot nyújthatnak, noha a BOI- és lebegőanyag-eltávolításuk általában kisebb mértékű. Ezek *sztatikus* vagy *mozgó rácsok lehetnek.* Időszakos, nagynyomású vízsugaras tisztítást igényelnek. Ezek a rácsok meglévő szennyvíztisztító telepeken – egyes esetekben – az előülepítő alternatív tisztítóberendezései is lehetnek.

4.3.3. KÉZI TISZTÍTÁSÚ RÁCSOK

Kézi tisztítású pálcás rács működési elve látható a *4. ábrán* (Bristow és Kerri nyomán, 1989). Az ilyen rács gyakori üzemellenőrzést igényel, mert az üzemelésre a következők jellemzők:

– ahogy a rácsszemét a rácsfelületen akkumulálódik, bizonyos mértékű vízszinduzzasztás keletkezik, ami részben a főgyűjtőre is átterjed,
– a rács hidraulikai ellenállásának, ill. a nyomásveszteségnek a növekedése azt jelzi, hogy a visszatartott rácsszemét mennyisége nő,
– a visszaduzzasztás következtében a rácshoz csatlakozó csatornaszakaszban és a főgyűjtőben a szerves lebegőanyagok is hajlamossá válnak az ülepedésre, ezáltal
– a szennyvíz oldott oxigén koncentrációja csökken, a szennyvíz szeptikussá (anaerobbá) válik, így
– hidrogénszulfid keletkezik, ami a betonra, fémre és a mázolt felületekre korróziós hatású,
– a rács tisztításakor a rács után következő tisztítási lépcsőket bizonyos mértékű tranziens (átmeneti) hidraulikai, lebegőanyag-, szeptikus szennyvízterhelés éri, ennek következtében

– homok kerülhet az előülepítőbe,
– az előülepítő hatásfoka átmenetileg csökkenhet,
– szagemisszió jelentkezése valószínűsíthető.



4. ábra. Kézi tisztítású pálcás rács működési elve

A rácsszemét a rács tetejére vagy a drénvályúba kaparható. A rácsszemét tárolótartályba kerül. A rácsszemét kaparásához nagyfokú figyelem szükséges a balesetveszély kiküszöbölése érdekében. A munkavégzés feltételei gondosan felülvizsgálandók. A kézi tisztítású rácsok pálcáinak hosszúsága akkora legyen, hogy a kényelmes kaparást lehetővé tegye.

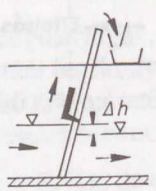
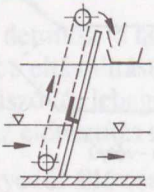
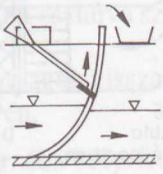
4.3.4. MECHANIKAI (GÉPI) TISZTÍTÁSÚ RÁCSOK

A gépi tisztítású rácsokat rögzített rácsrostély és mozgó gereblye vagy fésű alkotja *(5. ábra)*. A mozgó gereblye a rácsszemetet a rácsrostélyról felfelé szállítja, majd azt a rács felső szintjén a rácsszemétgyűjtő berendezésbe továbbítja.

A rácsok hajlásszöge a vízszinteshez képest $60° \leq \alpha \leq 90°$.

A gépi tisztítás előnyei:

– a rács rövid időközökben tisztítható, így
– a duzzasztás alig néhány cm-re korlátozható,
– a rács üzemének ellenőrzésére fordított idő tetemesen csökkenthető.

Típus	Pálcás rács	Sík rács	Íves rács
Jellemző kialakításuk			
Beépítés	Hajlásszög: 60-90°	Hajlásszög: 60-90°	Függőleges és vízszintes
Alkalmazás	Bármilyen kapacitású	Közepes és nagy	Kis és közepes
	szennyvíztisztító telepen		
Berendezés	Csatorna és rácskamra		

5. ábra. Mechanikai (gépi) tisztítású durva rácsok típusai

Ennek dacára a második rácscsatorna vagy megkerülőcsatorna beiktatása ajánlott. A rácsszemét az öblítőcsatornába, transzportáló szalagra, közvetlenül zsákba vagy transzportáló tartályba kerülhet.

A legáltalánosabban a *mozgó rács*ot alkalmazzák *(6. ábra)*, amely a szennyvízből a rácshoz érkező rácsszemetet a rács tetejére emeli, ahonnan az a rácsszemét-eltávolító rendszerbe kerül. A rácsberendezés megfelelő olajozása, zsírozása rendkívül fontos. Időszakonként bizonyos rácsszemétfajták (pl. szálas anyagok) nem távolíthatók el, ezért periodikus ellenőrzés szükséges, és a fennmaradt anyagokat kézi úton kell eltávolítani.

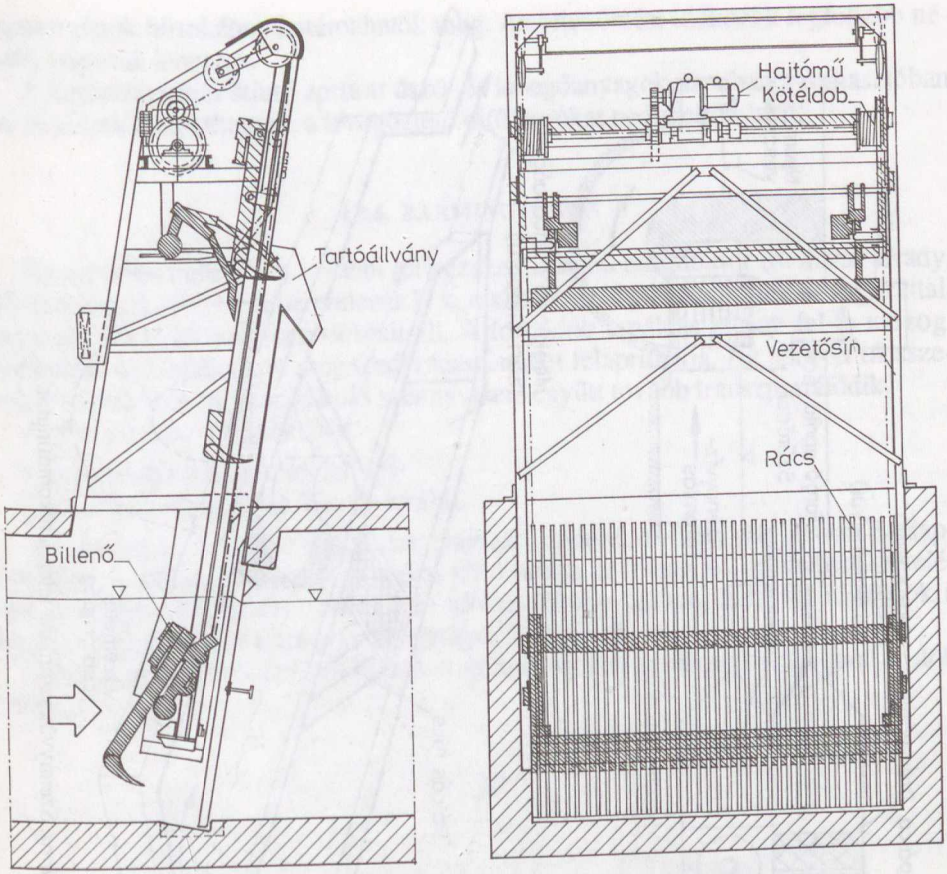
A nyomásveszteség nem léphet túl egy bizonyos (pl. 7,5 cm) értéken. Ha a berendezés automatikus szabályozással rendelkezik, a tisztítóberendezés akkor indul be, amikor a nyomásveszteség eléri vagy meghaladja az előre betervezett mértéket.

Ha a gereblye elakad, ennek a következő okai lehetnek:

– a gereblye a rácsszemetet préseli,
– a berendezés valamely eleme eltört.

Meghibásodás esetén először le kell állítani a berendezést. Soha ne nyúljunk a berendezés működési terébe, amíg az üzemel.

A rács lassan mozog, ezért nem tűnik veszélyesnek. A legtöbb hajtószerkezet azonban annyira erőteljes, hogy szinte minden akadályt összezúz. Az emberi kéz az ilyen hajtómű számára kis ellenállást jelent.



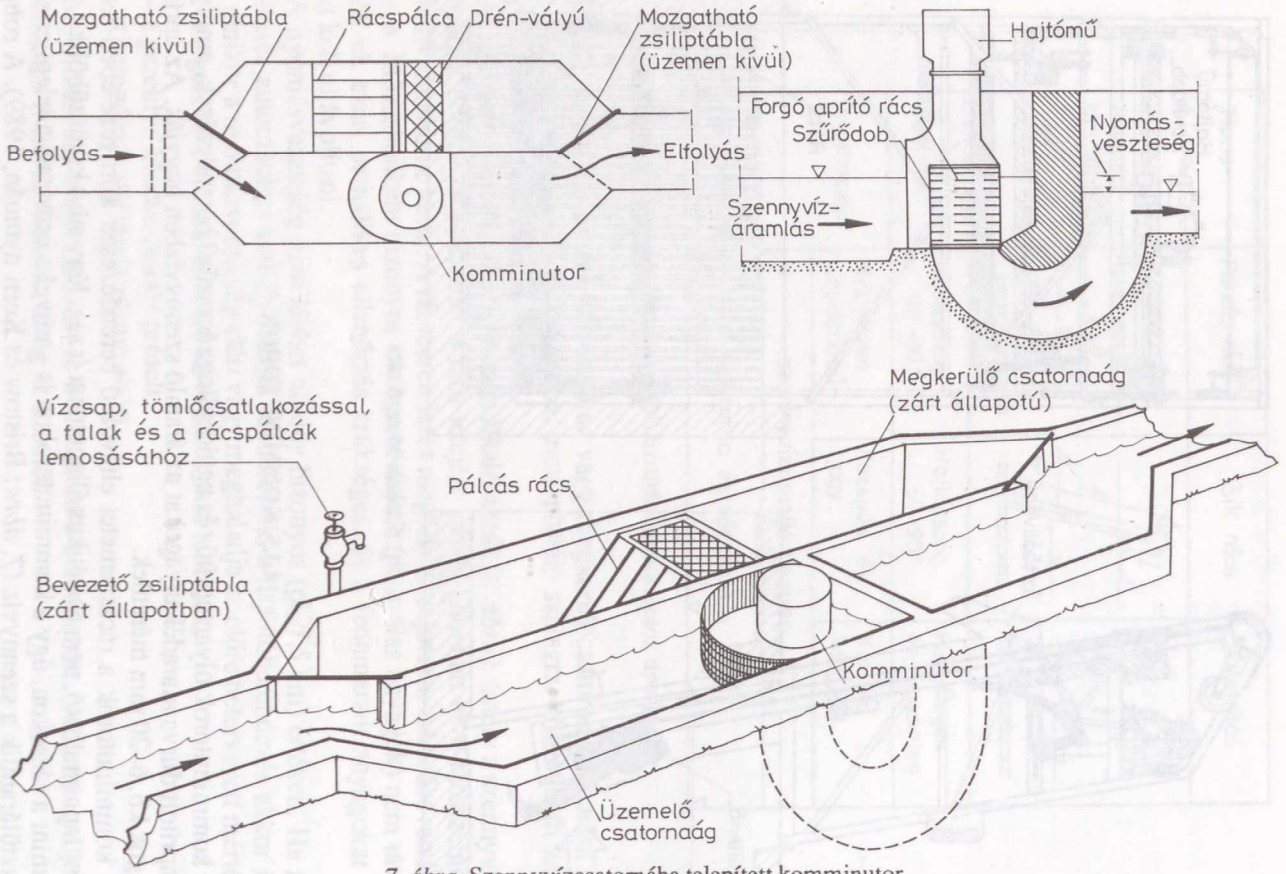
6. ábra. Mozgó rács

4.3.5. KOMMINUTOROK

A komminutorok olyan aprító- és egyidejűleg rácsszűrő berendezések, amelyek a felaprított durva maradékanyagokat az áramló szennyvízben hagyják. Az aprított anyagok kb. 6–20 mm méretűek.

A komminutorok a rácsszemetet eltávolító berendezések környezetében rendszerint tapasztalható, nem esztétikus állapotokat (szag, légy stb.) kiküszöbölik.

Amint a rácsokon, úgy a komminutorokon is – mivel a csatornába telepítettek – keresztüláramlik a szennyvíz (*7. ábra;* Bristow és Kerri nyomán, 1989). A rongydarabokat és egyéb aprítható anyagokat az aprítóelemek (fogak) addig aprítják, amíg azok a komminutor nyílásain átférnek, és a szennyvízzel továbbhaladhatnak. A fa- és műanyag uszadékok nem apríthatók, azok a komminutor előtt a szennyvíz felszínén maradnak, ahonnan kézi erővel kell eltávolítani azokat. Ezért a komminutort időnként le kell állítani. A leállítás időpontjai az ellenőrzésen alapuló üzemelési



7. ábra. Szennyvízcsatornába telepített komminutor

tapasztalatok birtokában határozhatók meg. Az ellenőrzési időközök legfeljebb néhány naposak lehetnek.

A komminutoron átjutó aprított úszó- és lebegőanyagok azonban a rothasztóban lerakódásokat okozhatnak, a levegőztető diffúzorokat pedig eltömhetik.

4.3.6. BARMINUTOROK

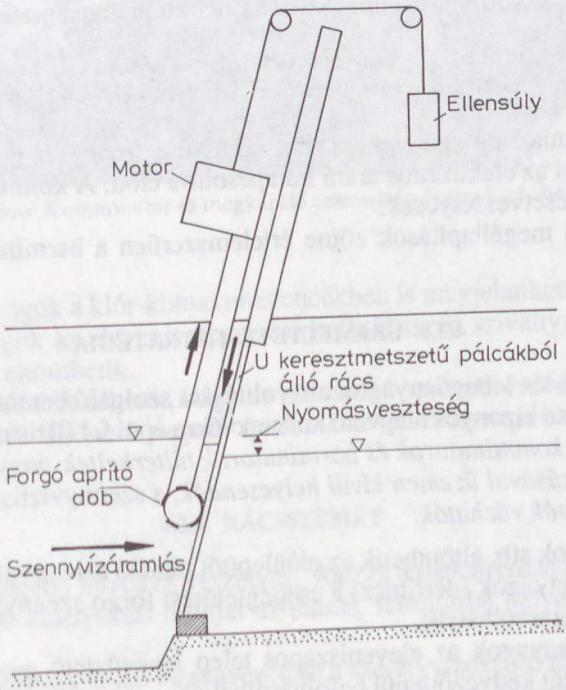
Az aprítóberendezések további jellegzetes fajtája a barminutor (*8. ábra;* Brady, Kerri nyomán, 1989). A berendezés U keresztmetszetű pálcás rácsból és fogazattal, marópálcákkal ellátott forgódobból áll. A forgódob a pálcás rácson fel-le mozog, miközben a rácspálcákon megakadt rácsszemetet felaprithatja. Az aprított rácsszemét a pálcaközökön át az áramló szennyvízzel együtt tovább transzportálódik.

A rács szerepe ezúttal kettős:

– visszatartja a rácsszemetet, így
– a rácsszemét aprítása lehetővé válik.

A barminutor berendezés gondos olajozást igényel, nehogy víz jusson a csapágyakba. A zsírzás szintén alapvetően járul hozzá az üzemelés optimálissá tételéhez. A forgódob vágóéleit rendszeres időközönként élesíteni kell. Az időközök a szennyvíz típusától és koptatótulajdonságaitól függnek.

A barminutor forgódobja közelében gondosan kell tevékenykedni, mert a dob balesetveszélyes.



8. ábra. Barminutor

4.3.7. ÜZEMELTETÉS

A komminutor üzemeltetése tulajdonképpen a mechanikai tisztítású pálcás rácsok üzemeltetéséhez hasonló. Az üzemeltetést befolyásoló fő tényezők:

– az alkalmazható komminutoregységek száma,
– a szennyvízbeli durva úszó- és lebegőanyagok mennyisége,
– a durva úszó- és lebegőanyag-mennyiség időbeli ingadozása,
– a nyomásveszteség.

Az üzemeltetés fő sajátosságai:

1. Több komminutoregyüttes üzemeltetésekor az üzemelőegységek számát úgy kell megválasztani, hogy a megengedett nyomásveszteségen belül lehessen maradni. A megengedhető nyomásveszteséget a gyártó cég prospektusai tartalmazzák.
2. Hirtelen nagy hidraulikai terheléskor, nagy mennyiségű uszadék (csatornafenntartási munkák alkalmával, záporvizek idején) jelentkezésekor, vagy a túlfolyócsatornába való visszaduzzasztás elkerülése céljából a csatornahálózatban lehetőleg automatikus szabályozás szükséges.
3. A megkerülő csatornaág a komminutor leállítása esetén fontos szerepet játszik *(9. ábra)*.
4. Ellenőrzés céljából a berendezést gyakran szemrevételezni, hangjának normális voltát folyamatosan figyelni kell.
5. Indításkor először a berendezést kell indítani, azután az elvezető zsiliptáblát, majd a befolyási zsiliptáblát kell kinyitni.
6. Komminutor körül járva, dolgozva, nagyfokú biztonságra kell törekedni.

A nedves járdák, a víztelenedett csatornák csúszósak. Vigyázni kell, hogy miközben a komminutor előtti szennyvíz felszínéről az uszadékokat eltávolítjuk, nehogy elcsússzunk, elessünk.

7. A komminutor mozgó elemeit tilos érinteni a szennyvíz megkerülő csatornaágba vezetése és az elektromos áram kikapcsolása előtt. A komminutor mozgó elemei nagyon balesetveszélyesek.
8. Az előbbi megállapítások zöme értelemszerűen a barminutorokra is vonatkozik.

4.3.8. ÜZEMELTETÉSI STRATÉGIA

A durva úszó- és lebegőanyagok eltávolítására szolgáló berendezések üzemeltetése és fenntartása bizonyos alapvető koncepciókra épül fel (Bristow és Kerri, 1989).

Ha a rácsok, komminutorok és barminutorok túlterheltek, vagy a megkerülő csatornák alkalmazásával üzemen kívül helyezendők, a szennyvíztisztító telepen a következő *problémák várhatók:*

– rongydarabok stb. eltömhetik az előülepítőt tápláló szivattyúkat,
– a törmelékanyagok (detritusz) a csepegtetőtest forgó szennyvízelosztó csöveinek lyukait eldugaszolhatják,
– a törmelékanyagok az eleveniszapos telep levegőztető medencéihez tartozó diffúzorok üzemét kedvezőtlenül befolyásolhatják,

9. ábra. Komminutor és megkerülő csatornaág (szerző felvétele)

– a törmelékanyagok a klór-kontaktmedencékben is megjelenhetnek,
– a lebegőanyagok az eleveniszapos recirkuláció iszap szivattyúit és a szennyvízhozammérőket eltömhetik.

Ezek a példák jól érzékeltetik, hogy *az előtisztító berendezéseket megfelelő módon kell üzemeltetni, különben negatív hatásaik az egész szennyvíztisztító rendszert terhelhetik.*

4.3.9. RÁCSSZEMÉT

A rácsszemét nagyon bűzös és veszélyes. Vonzza a patkányokat és a legyeket.

Legáltalánosabb elhelyezési módjai az elásás, feltöltésbe helyezés vagy elégetés.

A rácsszemét aprítása, majd visszavezetése a szennyvíztisztító rendszer legelejére, a tisztítóberendezések többletterhelését eredményezi. Különösen az ülepítők fel-

úszott iszapot terelő berendezéseinek terhelése válik nagymértékűvé. Ez a probléma különösen ősz végén okozhat nagy gondot, amikor az egyesített csatornarendszer a tisztítótelepre nagy mennyiségű falevelet és egyéb szemétanyagokat is szállít.

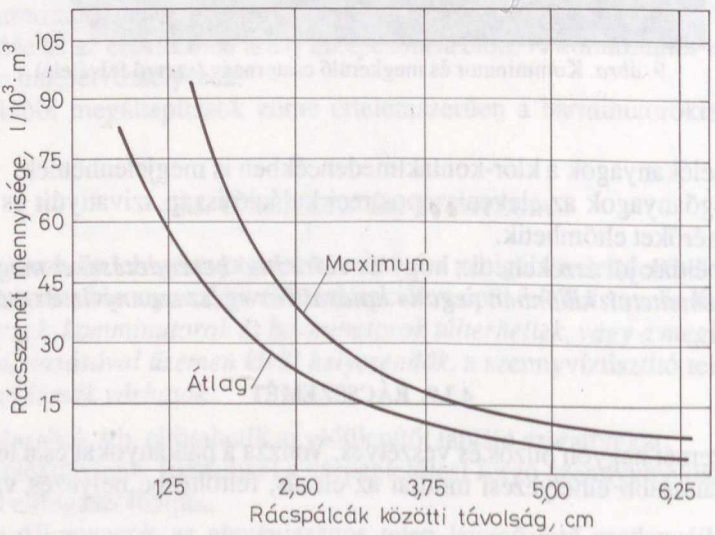
4.3.10. A RÁCSSZEMÉT MENNYISÉGE

A rácsszemét mennyisége csak üzemelési adatok alapján becsülhető. A becslés az olyan telepeken fontos, ahol a rácsszemét az áramló szennyvízből eltávolítandó. A rácsszemét mennyiségét befolyásolják:

- a rácspálcák közötti távolság,
- a szennyvíz hozama,
- a csatornahálózat típusa,
- a település sajátosságai.

A *10. ábra* – 133 szennyvíztisztító telepről származó átlagos üzemelési adatok alapján – a szennyvíztérfogatra vonatkoztatott (fajlagos) rácsszemétmennyiséget szemlélteti a rácspálcák közötti távolság függvényében (Miorin et al. nyomán, 1977). Az értékek, ha csupán egyesített csatornarendszerbeli adatokkal hasonlítjuk össze, növelendők. Az adatok szerint, durva rács esetében, a rácsszemét mennyisége és a szennyvízhozam között a kapcsolat nagyon gyenge.

Egyesített csatornahálózat esetében a rácsszemét-mennyiség változása nagymértékű lehet – a nedves és a száraz időszaktól függően. Az eltávolítandó rácsszemét mennyiségét a csatornahálózat hossza is befolyásolja. A mennyiség kis hosszúságú csatornahálózat esetében nagyobb. A szennyvíz darabos szennyeződései elsősorban hosszú csatornahálózatban aprítódnak fel. Az eltávolítandó rácsszemét mennyiségét egyes ipari szennyvizek (pl. textilipar) is befolyásolják. A napi csúcsértékek jelentősen eltérhetnek az átlagos értékektől.



10. ábra. A rácsszemét átlagos és maximális térfogata az üzemeltetési tapasztalatok alapján, a pálcaköz függvényében

4.3.11. A RÁCSSZEMÉT ÖSSZETÉTELE

Az elhelyezés szempontjából fontos tényező a rácsszemét összetétele és térfogata.

A rácsszemét zömmel szerves anyagokból tevődik össze, melyeknek egyik része növényi, más része állati eredetű. Bizonyos hányada könnyen lebontható, más összetevői a bakteriális lebontással szemben rezisztensek. Egyes anyagok szagkeltők, mások a szennyvízből vesznek fel szaganyagokat.

A rácsszemétben a fekáliás szennyező anyagok nem fő alkotó komponensek. Az összetétel az évszakok szerint változik. Változhat az időszakos ipari szennyvizek miatt, de egyes ipari szennyvíztisztító berendezések üzemzavarai miatt is.

A durva rácsszemét 80% nedvességtartalmú és súlya kb. 960 kg/m^3.

4.3.12. A RÁCSSZEMÉT KEZELÉSE

A leginkább alkalmazható kezelési módok, egyedül vagy kombinációban:

- víz fölötti aprítás (kalapácsos aprító),
- víz alatti aprítás (komminutor és aprítószivattyú),
- préselés,
- égetés,
- eltemetés, feltöltésbe helyezés.

A rácsszemét a kezelés, ill. az elhelyezés helyére csak fedett szállítószalagon, vagy zárt tartályban továbbítható, nyitott tárolás nem megengedett.

A pálcás rács felszerelhető őrlőberendezéssel is, s ekkor a finomított rácsszemét viszszakerül az áramló szennyvízbe. A komminutor esetében a rácsszemét mindvégig az áramló szennyvízben marad.

Égetéskor a rácsszemetet gyakran szeméttel keverik. A rácsszemét térfogata azonban a szeméttérfogathoz képest elenyésző. A rácsszemét önálló égetése csak nagy szennyvíztelepeken jöhet szóba, itt is előzőleg víztelenítés alkalmazásával.

A rácsszemét kezelése után mindig marad bizonyos mennyiségű elhelyezendő maradék. A legáltalánosabb elhelyezési mód az elföldelés. A földbe helyezés különösen a kis- és közepes méretű szennyvíztisztító telepek esetében előnyös, mert a mennyiség kevés.

A rácsszemét aprítás, ill. víztelenítés után komposzttelepre is szállítható (Hörler, 1969).

Elföldeléskor ismerni kell, hogy bizonyos terület mennyi idő alatt töltődik fel: a feltöltésre kerülő térfogatot osztani kell a napi rácsszemét-térfogattal.

Az előzőkből a rácsszemét-kezelés lehetséges módjai már értelmezhetők. A *3. táblázat*ból (EPA, 1979) az eljárások előnyei és hátrányai, valamint üzemeltetési vonatkozásai tekinthetők át. A táblázat alapján az üzemeltető számos üzemeltetési tapasztalathoz, illetve szemponthoz jut hozzá.

3. táblázat. A rácsszemét-kezelés módjai

Módszer	Előnyök	Hátrányok
1. Rácsszemét aprítása a fő szennyvízáramláson belül (kominutorok) Az aprított rácsszemét együttes kezelése egyéb szennyvízlebegőanyagokkal (előülepített iszap)	Magas fokon mechanizált alacsony üzemeltetési munkaigény Minimalizálja a műveletek számát Légytől és szaghatásoktól rendszerint mentes Széles körben alkalmazott, a telepi üzemeltetők számára közismert	A rácsszemetet tartalmazó iszapot visszautasítja a lakosság, ha talajjavítás céljából kerül szóba az újrafelhasználása A szivattyúzásra, sűrítésre kerülő iszap további aprózása szükséges Nem alkalmazható, ha a szuszpendált lebegőanyagok eltávolítása szükséges (finom rácsok) Nem alkalmazható nagyon nagy rácsszemétterheléskor, különösen, ha nagy a homokanyag- (grit-) terhelés (nagy telepek, egyesített csatornarendszer)
2. Eltávolítás* az áramló szennyvízből, aprítás, majd az áramló szennyvízbe való visszajuttatás	Az 1. módszerhez hasonló, kivéve, hogy mechanikai szempontból komplexebb	Az 1. módszerhez hasonló, kivéve, hogy a 2. módszer nagy szennyvízhozamok és rácsszemét-terhelésekhez is alkalmazható A 2. módszer az 1. módszernél drágább kis rácsszemét-terhelések esetében
3. Eltávolítás* az áramló szennyvízből, drénezés vagy víztelenítés, feltöltés	A rácsszemét egyéb iszapoktól távol tartandó Az 1. és 2. módszer hátrányait kiküszöböli Jól mechanizálható	A rácsszemét transzportja nehéz lehet Ha nem gondos a tervezés és üzemeltetés, légy- és szagproblémák, egészségügyi kockázat lép fel A töltésbe helyezésre vonatkozó előírások az üzemeltetést nagyban befolyásolják
4. Eltávolítás* az áramló szennyvízből, víztelenítés, égetés, a hamu feltöltésbe helyezése	A rácsszemét egyéb iszapoktól távol tartandó Az 1. és 2. módszer hátrányait kiküszöböli A hamu mennyisége kicsi, könnyen transzportálható és elhelyezhető Egyéb iszapok és/vagy homokanyagok égetésekor a rácsszemét mérsékelt költséggel adagolható az égetőbe Patogén szervezetek elölése	Nagy a költség, ha az égetést csak a rácsszeméthez alkalmazzuk Ha a tervezés és az üzemeltetés nem megfelelő, nagymértékű a légszennyezés (szag és por alakú) A rácsszemét-mennyiség nagymértékű ingadozása esetén nehezen adaptálható, kivéve, ha a rácsszemét az összes égetőberendezés-terhelésnek csak kis hányada
5. A finom rácsszemét önálló rothasztása (nem keverve egyéb lebegőanyagokkal)		Nem tekinthető praktikus megoldásnak
6. A rácsszemét rothasztása a felúszott iszappal, de egyéb iszapoktól szeparálva		A rendszer nem üzemeltethető A fő nehézség az anyag kezelése

* *Megjegyzések:* Mechanikai eltávolítást rendszerint nagy telepeken alkalmaznak. A kis telepeken gyakoribb a kézi eltávolítás, melynek előnye az egyszerűség és a kis költség; hátránya a nagy üzemeltetői munkaigény, légy- és szagproblémák. Kis telepeken általános megoldás egy komminutor beállítása, tartalékként kézi tisztítású rács alkalmazott.

4.3.13. SZENNYVÍZTISZTÍTÓ-TELEPI GÉPI RÁCSOK ÜZEMELTETÉSI ZAVARAI, A ZAVAROK OKAI, AZ OKOK FELISMERÉSE ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSE

(Solti, 1992; Szilágyi, 1992; Keresztúri, 1992; Culp és Heim, 1978; Hajós, 1993 nyomán)

4. táblázat

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Rácsmező egyenetlen (aszimmetrikus) terhelése	Kedvezőtlen áramlási viszonyok a rács előtti csatornaszakaszon	Szemrevételezés	Megfelelő vizsgálatok után áramlásterelő-elemek beépítése
Tisztítófésű elakadása	Túl nagy terhelés		Tisztítási ciklusidő csökkentése
	Rácspálcák deformációja		Rácsmező felületének növelése (pl. új gépegység beépítésével)
			Pálcák kiegyengetése
			Pálcák cseréje
			Túl nagy terhelés záporvíz időszakában
Tisztítófésű szaggatott, akadozó mozgása	Rácspálcák vagy keretszerkezet deformációja	Fémes, kattogó, csikorgó hang	Lakatosmunka
	Tisztítófésű elállítódása		Feszítőrugó beszabályozása
	Vezetőgörgő meghibásodása		Csere
	Láncfeszítés különbözősége		
	Tengelyek nem párhuzamosak egymással		Tengelyek párhuzamossá tétele
Tisztítófésű fogainak letörése	Kövek beszorulása a pálcák közé		Kőfogó beépítése

4. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
			Kedvezőbb szelvényű („vízcsepp") pálca alkalmazása
			Rendszeres kézi tisztítás
	Rácspálcák deformációja		Kiegyenlítés
			Pálcák cseréje
			Záporvíz külön kezelése
Jelentős mennyiségű szálas anyag az előülepítő iszapjában	Pálcatávolság túl nagy	Iszapvonal gépeinek, szerelvényeinek gyakori dugulása	Pálcaköz szűkítése
Pneumatikus szintkülönbség-érzékelésről vezérelt rácsok leállása	Pneumatikavezeték dugulása	Alvízszint és a vízhozam hirtelen csökkenése	Pneumatikavezeték tisztítása
			Kevésbé érzékeny szintérzékelés (pl. ultrahangos) alkalmazása
Tisztítófésű automatikus üzemben nem indul, vagy nem áll le	Elektromos vagy pneumatikus vezérlési hiba		Végálláskapcsolók, vezérlőáramkörök, pneumatikarendszer ellenőrzése, szükség szerinti javítása, beszabályozása
Tisztítófésű rendellenes helyen áll be (nem a végállásnál)	Motorfékhiba		Javítás vagy csere
Tisztítófésű nem indítható	A motor vagy vezérlésének hibája		Ellenőrzés és szükség szerinti javítás vagy csere
Köteles rács vonókötelének kirojtozódása, szakadása	Kopás		Csere
Nyílt térbe telepített rácsszemét kihordórendszerének lefagyása	Erős fagy		Folyamatos üzem
			Sózás
			Elektromos fűtés
			Téliesítés
Rácsszemét visszahullik a fésűről	Fésű pálcáktól való távolsága nagy		Fésű beállítása
	Fésű feszítése kicsi		Feszítőrugó beszabályozása

4. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Nagymértékű áramfelvétel	Vezetősínen a gördülőszerkezet beszorul, kenetlenség	Szemrevételezés	A hibás alkatrész javítása vagy cseréje
	Csapágytörés a hajtóműben, szerkezeti elemek deformálódása	Szétszerelés	
	Egy fázis hiányzik	Műszeres mérés	Biztosító- vagy kapcsolócsere
A tengelykapcsoló gumi- vagy bőrdugóinak gyakori elhasználódása	Egytengelyűség nincs jól beállítva	Szemrevételezés	Tengely kiegyenlítése
	Csapágyak tönkremenetele		Erősen beékelt anyag a rácspálcák között
A tengely elfordul, a fésűtartó karok nem	Erősen beékelődött anyag a rácspálcák között		Beékelődött anyag eltávolítása
A rács nem hozza fel a rácsszemetet	A gereb fogai nem illeszkednek a pálcák közé	Szemrevételezés	Helyes beállítás
	A gereb fogai kopottak	Szemrevételezés	Fogasléc cseréje
	A feszítőrugók lazák	Szemrevételezés	Rugók megfeszítése
	Síkrács pályája deformálódott	Mérés	Pálya helyreállítása és rögzítése
A gereb nem ejti ki a szemetet	A lehúzószerkezet lemeze kopott, vagy a szerkezet megakadt	Szemrevételezés	A lemez cseréje, ill. javítása
A rács nehezen tisztítható; eltömődés	Időkapcsoló-automatika hibás	Időmérés	Durvább rács alkalmazása
	Pneumatikus vezérlésnél a szonda dugulása	Rácspálcák közötti rácsszélesség, áramlási sebesség a rácson át	
	Szálas anyaggal (textil, toll, ill. húsipari hulladék) rendkívül telített szennyvíz	Szemrevételezés	Hulladékanyagforrások felderítése, előtisztítás

4. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	Szokatlan mennyiségű hulladékanyag a szennyvízben		
Bekapcsoláskor a motor nem indul	Folytonossági hiány a vezetékben (szakadás, kiolvadt biztosíték, hőkioldó)	Mérés, szemrevételezés	Hibás szakasz feltárása, biztosíték, hőkioldó megszakítás okának megkeresése, megszüntetése
Bekapcsoláskor a motor nem indul, hangot ad	Fázistekercs-szakadás, tekercs, test, vagy kábelzárlat	Búgó hang	A megkeresett hibaforrás kijavítása, szükség esetén motorcsere
Automatikus üzemmódban a bekapcsolási, ill. a kikapcsolási szint elérése után a motor nem indul	Nyomáskapcsoló meghibásodása, szondák elszennyeződése, zárlat, a vezérlés elemeinek a meghibásodása	Mérés, szemrevételezés	A szükséges elem kijavítása vagy cseréje
A fék nem old ki	Hibás feszültség az egyenirányító-egységben Az egyenirányító meghibásodott A maximális mengedett légrés túllépése	Mérés	Helyes feszültség alkalmazása Egyenirányító-egység cseréje Fék utánállítása Fékbetét felújítása A helyes kapocsfeszültség biztosítása
A motor nem fékez	A fékbetét teljesen elhasználódott Nagy a légrés A kézi fékoldó berendezés nem helyes beállítású	Szemrevételezés	A fékbetét felújítása A betéttárcsa kicserélése A fék utánállítása
A hajtómű melegszik, az olaj folyik, az olajállás-mutatón habosodás látszik	Olajtúltöltés; az előírttól eltérő kenőanyag alkalmazása	Szemrevételezés	Az olajszint megadott értékre állítása Megfelelő minőségű olaj használata
A tömítéseken keresztül folyik az olaj	Elhasználódott tömítőelemek Légzőnyílás elszennyeződése	Szemrevételezés	Tömítőgyűrű cseréje Légzőnyílás megtisztítása

4. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
A kaparószerkezet nem a beállított időben indul	Időrelék meghibásodása	Elektromos ellenőrzés	Hibás elemek cseréje
ÍVES RÁCS: Fésűszerkezet forgása megszűnik	Épületcsúszás vagy -szakadás Hajtómű-meghibásodás Elektromos hiba	Szemrevételezés Próbaindítás	Utánállítás Hibás elemek cseréje Elektromos hiba megszüntetése
Kellemetlen szagok, legyek, férgek	Hulladékok akkumulációja	Hulladékeltávolítás módszere és gyakorisága	Eltávolítás és elhelyezés gyakoriságának növelése
Sok homok a rácskamrában	Visszaduzzasztás a magassá vált szennyvízszint miatt Áramlási sebesség túl kicsi	A homokréteg vastagsága a kamrában, szabálytalan kamrafenék Áramlási sebesség	Fenéklejtés helyreállítása Áramlási sebesség növelése vagy rendszeres mosatása tömlővel
A kaparó hatástalan, a motor működik	Törött lánc Elromlott kapcsoló	Lánc ellenőrzése Kapcsoló ellenőrzése	Lánc helyreállítása Kikapcsoló megjavítása
A kaparó hatástalan, látható zavar nincs	Nincs távszabályozó kör Hibás motor	Áramellátás ellenőrzése Motorműködés ellenőrzése	Áramellátás helyreállítása Motor üzembe helyezése

4.4. IRODALOM

Bristow, L., Kerri, K. D. (1989): Racks, Screens, Comminutors and Grit Removal. (Pretreatment.) In: *Operation of Wastewater Treatment Plants*. Vol. 1. U.S. EPA, Sacramento, Ca.

Culp, G. L., Heim, N. F. (1978): Field Manual for Performance Evaluation and Troubleshooting at Municipal Wastewater Treatment Facilities. *EPA*–430/9–78–001. *EPA* Contract, No. 68–01–4418.

EPA (1974): Process Desing Manual for Upgrading Existing Wastewater Treatment Plants. *EPA*–625/1–71–0049. U.S. EPA, Cincinnati, OH.

EPA (1979): Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal. Center for Environmental Research Information Technology Transfer. *EPA* 625/1–79–011. September.

Hörler, A. (1969): Beispiele schweizerischer Kläranlagen. *4. Seminar des Österr. Wasserwirtschaftsverbandes*. Raach.

Keresztúri J. (1992): Szóbeli közlés.

Londong, J. (1988): Dimensioning of Aerated Grit Chambers and Use as a Highly Loaded Activated Sludge Process. *Water Science Technology*, 21:13.
Miorin, F. A. et al. (1977): Wastewater Treatment Plant Design. *Joint Committee of the WPCF and the ASCE*. Third Printing.
Schultz, J. R., Hegg, B. A., Rakness, K. L. (1982): Realistic Sludge Production for Activated Sludge Plants Without Primary Clarifiers. *J. WPCF*, 54.
Solti D. (1992): Szóbeli közlés.
Szilágyi M. (1993): Szóbeli közlés.
Szombati J. (1992): Szóbeli közlés.

4.5. KÉRDÉSEK

1. Milyen durva úszó- és lebegőanyagok vannak a szennyvíztisztító telepre érkező szennyvízben? (4.1. fejezet.)
2. A durva úszó- és lebegőanyagok eltávolítása miért szükséges a szennyvíztisztító telep elején? (4.1. fejezet.)
3. Milyen berendezések alkalmasak a durva úszó- és lebegőanyagok eltávolítására? (4.1. fejezet.)
4. A rácsok szennyvíztisztító-telepi elhelyezésének szempontjai. (4.2. fejezet.)
5. Milyen rácstípusok vannak, jellemzőik. (4.3.1.–4.3.2. fejezet.)
6. Kézi tisztítású durva rácsok, alkalmazásuk célja, üzemeltetésük. (4.3.3. fejezet.)
7. Mechanikai (gépi) tisztítású rácsok és üzemeltetésük. (4.3.4. fejezet.)
8. Rácsszemét mennyisége, összetétele, kezelése, elhelyezése. (4.3.9.–4.3.12. fejezet.)
9. Finom rácsok. (4.3.2. fejezet.)
10. A komminutor, barminutor alkalmazásának célja, üzemeltetése. (4.3.5.–4.3.7. fejezet.)
11. Milyen szennyvíztisztító-telepi üzemelési zavarok keletkeznek a rács és a komminutor hidraulikai túlterhelésekor vagy üzemen kívül helyezésük következtében? (4.3.7.–4.3.8. fejezet.)

5. HOMOKFOGÓK

5.1. A HOMOKELTÁVOLÍTÁS CÉLJA

A homokfogó műtárgyakat kezdetben szinte kizárólagosan az egyesített csatornahálózat keverék szennyvizeit fogadó szennyvíztisztító telepeken alkalmazták. Az üzemeltetési tapasztalatok azonban bizonyították, hogy a csatornahálózat által szállított szenynyező anyagok tekintélyes hányada homok, amelynek eltávolítása elválasztott csatornahálózat esetében is szükséges. A homokfogó a szennyvíztisztító telep rács után következő műtárgya.

A homokfogó feladatai:

– a tisztítótelep gépészeti berendezéseinek, főleg a szivattyúknak kopás elleni védelme,

– a telepi műtárgyak összekötő vezetékeiben az ülepedés megakadályozása,

– az ülepítőmedencék, eleveniszapos medencék, rothasztók szervetlen anyag terhelésének csökkentése.

A homokeltávolítás következtében a szennyvíziszap illékony- (szerves-) anyaghányada nő.

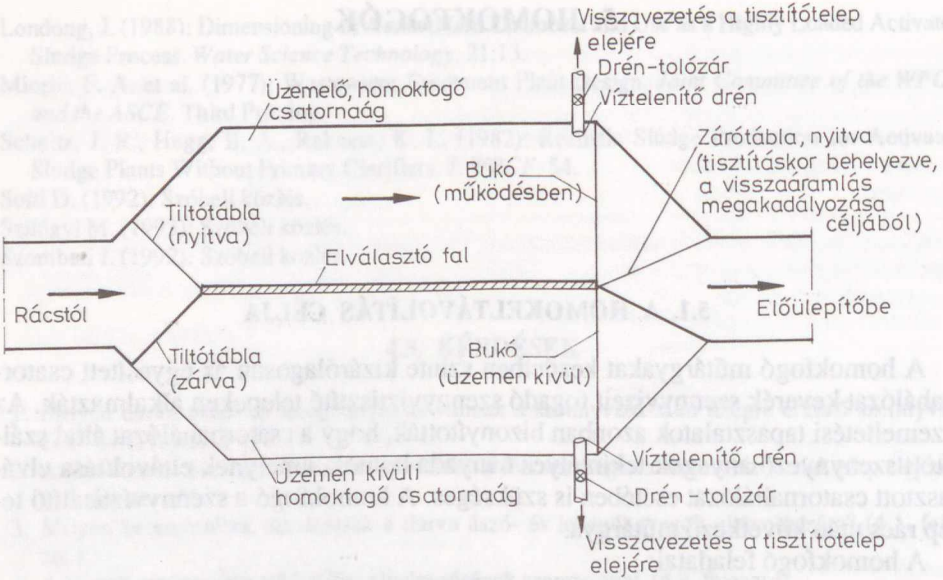
Az eltávolítandó homokrészecskék, méretüktől és súlyuktól függően más-más sebességgel ülepíthetők. A homokfogót általában úgy méretezik, hogy azok a *0,2 mm átmérőjű* homokot és egyéb nehezebb lebegőanyagokat még *kiülepítsék*.

5.2. HOMOKANYAGOK

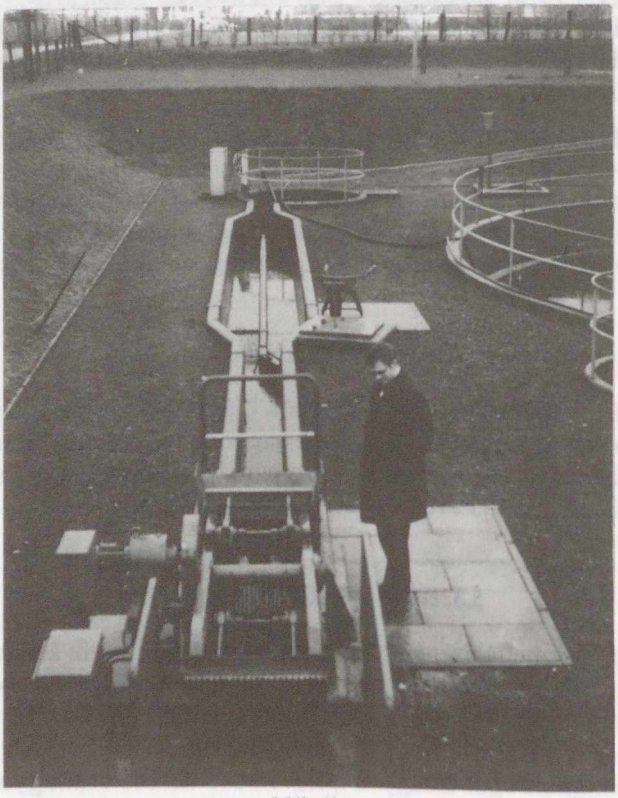
A „szennyvíztisztító-telepi homokanyagok" (gyűjtő-) fogalmába számos le nem bontható, a szerves anyagoknál lényegesen nagyobb ülepedési sebességű, általában diszkrét eloszlású anyagok tartoznak. Ilyen például a homok, kavics, apró ásványi részecskék, tojáshéj, salak, kávészemek, gyümölcshéj, magok stb.

5.3. HOMOKFOGÓTÍPUSOK

A homokfogó üzemeltetésének alapja az, hogy a szennyvíz átlagos áramlási sebessége a homokfogó-csatornában vagy a homokfogó-medencében 0,3 m/s-ra csökkenjen. Ily módon a víznél lényegesen nagyobb sűrűségű homok a fenékre ülepíthető, míg a könnyebb – de még mindig gravitációsan ülepíthető – szerves lebegőanyagok a homokfogót elhagyva a következő tisztító műtárgyba (az előülepítőbe) jutnak.



11/a ábra



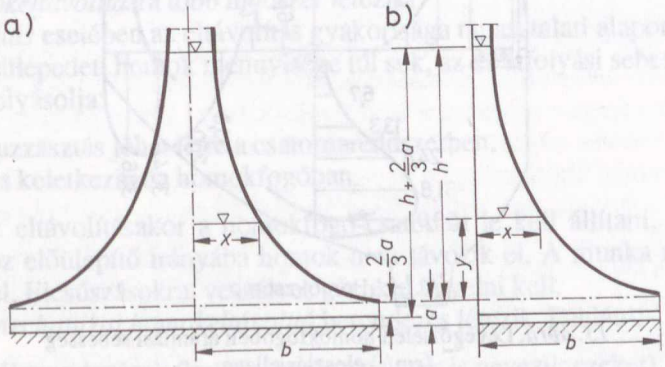
11/b ábra

11/a–b ábra. Kétcsatornás homokfogó. A *b ábrán* az előtérben íves rács van (szerző felvétele)

A *kulcsszerepet játszó áramlási sebesség* a homokfogó műtárgyban a következő módokon szabályozható:

1. Többcsatornás homokfogóban *(11/a–b ábra)* az egyidejűleg üzemelő csatornák számának célszerű megválasztásával a 0,3 m/s sebesség beszabályozható. A többcsatornás, kézi úton be- és kikapcsolt homokfogós csatornarendszer kevésbé hatékony. A homokfogó elfolyási végén alkalmazott szabályozás kedvező, mert a homokfogóbeli szennyvízréteg mélysége a változó szennyvízhozamnak megfelelően megbízhatóan szabályozható.

2. Az automatikusan szabályozó keresztmetszet, amelyet szintén az elfolyási oldalon létesítenek, a kívánt mértékű sebesség állandó fenntartását a szennyvízhozamtól függetlenül biztosítja. A szabályozó keresztmetszet proporcionális és Sutro-bukó *(12/b ábra)* lehet. Ha a proporcionális és a Sutro-bukót összehasonlítjuk *(12/a és b ábra)*, a különbség közöttük az, hogy a proporcionális bukó mindkét oldala görbült, a Sutro-bukó pedig csak az egyik oldalán, a másik oldala sík.



12/a–b ábra. Proporcionális *(a)* és a Sutro-bukó *(b)* értelmezése

A Sutro-bukóra felírható:

$$x = b\left(1 - \frac{2}{\pi}\cdot \operatorname{tg}^{-1}\sqrt{\frac{y}{a}}\right), \tag{1}$$

$$Q = b\sqrt{a\cdot g}\left(h + \frac{2}{3}a\right), \tag{2}$$

$$Q_1 = \frac{2}{3}b\sqrt{2g}\left[(h+a)^{3/2} - h^{3/2}\right], \tag{3}$$

ahol a és b – a bukóállandók,

y – a folyadékréteg vastagsága,

x – a bukószélesség a folyadékfelszínen,

g – a gravitációs gyorsulás állandója,

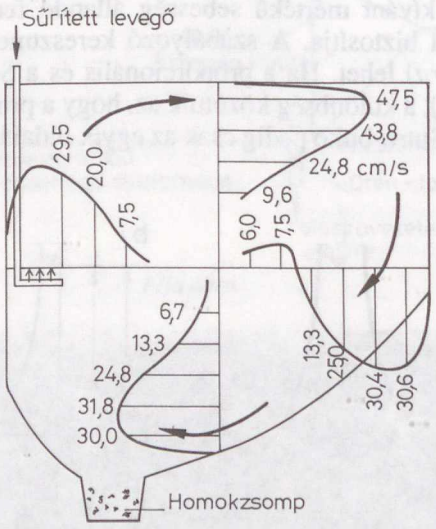
Q – a Sutro-bukó hozama,

Q_1 – a Sutro-bukó alsó, négyszög keresztmetszetéhez tartozó hozam.

A proporcionális bukó hozama a (2) és (3) egyenlet által képviselt hozam kétszerese.

3. Az áramlási sebesség a homokfogó-keresztmetszet célszerű megválasztásával is szabályozható. Egyes esetekben a proporcionális bukó alakjához hasonló keresztmetszetet alkalmaznak.

4. A síkfenekű homokfogók üzemeltetésekor a nehézség az, hogy a 0,30 m/s áramlási sebesség szennyvízhozamtól független beszabályozása, ill. fenntartása nem lehetséges. Ez a probléma gyakorlatilag a levegőztetett homokfogóval *(13. ábra)* is kiküszöbölhető. Ebben a homokfogóban a maximális szennyvízhozamhoz



13. ábra. Levegőztetett homokfogóbeli áramlási sebesség (cm/s) eloszlásjellege

tartozó átfolyási sebesség 0,30 m/s. A maximálisnál kisebb szennyvízhozamok esetében a lebontható szerves lebegőanyagok leülepedése oly módon akadályozható meg, hogy a medence egyik oldala mentén, az iszapzsomp felett, nyomás alatt annyi levegőt juttatnak a szennyvízbe, amennyivel a medencefenék közelében az iszapzsomp felett 30 cm/s áramlási sebesség áll elő (*13. ábra;* Kalbskopf nyomán, 1966). A befúvott levegő mennyiségét a szennyvízhozamtól függően kell megválasztani. *A szennyvíz–levegő-keverék a szennyvíznél kisebb sűrűségű,* így a homok hatékonyabban ülepíthető. A szennyvíz–levegő-keverék keringése a lejtős fenekű medencében a homokot a homokzsomp felé mozgatja. A homok a zsompból szivattyúval vagy szállítórendszerrel távolítható el.

A levegőztetett homokfogót leggyakrabban eleveniszapos telepeken alkalmazzák, ahol

– a levegőellátás könnyen biztosítható és

– a homokfogóbeli *előlevegőztetés* a szennyvíz aerob állapotúvá tételét, frissítését segíti, vagyis az előlevegőztetés a homokfogás utáni tisztítási műveleteket hatékonyabbá teszi.

5.4. A HOMOK SZEPARÁLÁSA

1. *A homokfogóból eltávolítandó homok mennyiségét és összetételét* számos tényező befolyásolja, például:

– a csatornahálózat típusa, annak üzemeltetése,
– a vízgyűjtőterület talajtani és éghajlati sajátosságai,
– ipari szennyvizek,
– a háziszemét-aprítók alkalmazása.

A homok mennyisége széles tartományban ingadozik. A tározandó mennyiség a homokfogóban, egyesített csatornarendszer esetében 74–220 $m^3/10^6$ m^3 szennyvízmennyiség. Elválasztott csatornarendszernél 15–74 $m^3/10^6$ m^3-re vehető fel. A homokfogóbeli teljes tározandó homoktérfogat a homokeltávolítás gyakoriságának függvényében vehető fel.

2. *Holt terek* a homokfogókban nem lehetnek, mert azokon a helyeken a szerves lebegőanyagok is leülepednek, és ott szeptikus (anaerob) állapot jön létre.

3. *A homokeltávolítás*ra több módszer létezik.

Kézi tisztítás esetében az eltávolítás gyakorisága tapasztalati alapon határozható meg. Ha a leülepedett homok mennyisége túl sok, az az átfolyási sebességet kedvezőtlenül befolyásolja:

– visszaduzzasztás jöhet létre a csatornarendszerben,
– túlfolyás keletkezhet a homokfogóban.

A homok eltávolításakor a homokfogó-csatornát le kell állítani, így a munka könnyebb, az előülepítő irányába homok nem távozik el. A munka nagy gondosságot igényel. Elcsúszásokra, veszélyes gázokra ügyelni kell.

Számos *mechanikai homokeltávolító* berendezés létezik. Például:

– a kaparóberendezések (kotróberendezéseknek is nevezik ezeket),
– a mamutszivattyú elvén működő emelőberendezések.

4. A homokfogó-csatorna üzembe helyezése előtt győződjünk meg arról, hogy az ülepítőtér üres, sem üledék, sem tisztítóeszközök, sem ember nem tartózkodik benne. Ha kaparóberendezés vagy csigaemelő van a rendszerben, azokat előzőleg ki kell próbálni.

Amikor a csatornában a szennyvíz már áramlik, az *áramlás sebességét meg kell határozni.*

A legegyszerűbb sebességmérési módszer: helyezzünk egy pálcát a szennyvízbe, és mérjünk meg egy adott távolság megtételéhez szükséges időtartamot. A felületi áramlási sebesség, v_f:

$$v_f = \frac{\text{Távolság, m}}{\text{Idő, s}} . \qquad (4)$$

A tényleges átlagos sebesség ennél a sebességnél némileg nagyobb. (Ez egy gyors közelítő meghatározási módszerrel megállapítható.)

Az átlagos sebesség pontos mérési módszeréhez ismerni kell:

– a homokfogó-csatorna áramlási irányra merőleges keresztmetszetét és
– a szennyvízhozamot (mért adat).

A mérések, számítások után a sebességszabályozás kis és nagy szennyvízhozamok esetében egyaránt lehetővé válik.

5. A homok eltávolítása után *ellenőrzendő annak szervesanyag-tartalma.* A nagy szervesanyag-tartalom a kívántnál kisebb áramlási sebességre utal. Ha a leülepedett homok *mennyisége* kevés, a homok durva frakciójú, a sebesség a tervezettnél bizonyára nagyobb. A homok kis szervesanyag-tartalma megfelelő sebességre utal. A homokeltávolítás gyakoribb kell legyen, ha a homok és egyéb nehéz lebegőanyag-terhelés nagyobb.

6. Abnormális üzemelési állapot

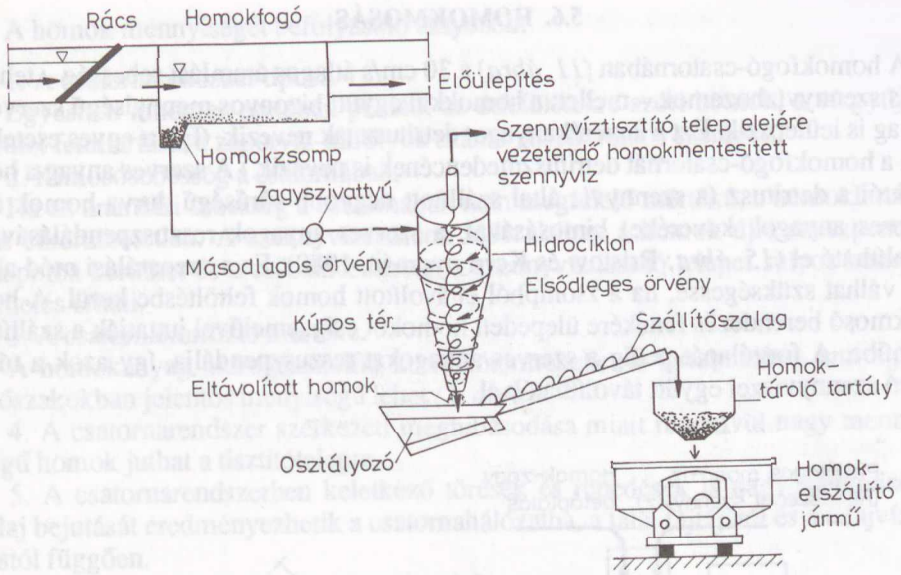
– nagy hidraulikai terhelés és
– nagy lebegőanyag-terhelés időszakában is jelentkezhet. Ezen időszakban fontos a 0,3 m/s átlagos áramlási sebesség minél pontosabb fenntartása.

7. A levegőztetett homokfogóban a hidraulikai tartózkodási idő kb. 3 min. Csúcs-szennyvízhozamok időszakában ez 3–5 min (EPA, 1974). Az újabb kutatások már 10 min vagy ennél is nagyobb tartózkodási időt javasolnak (Londong, 1988). Ha a víz–levegő forgási sebessége túl nagy, a homokfogóból homok távozik el; ha viszont a forgási sebesség a tervezettnél kisebb, a homokkal együtt bizonyos mennyiségű szerves anyag is szeparálódik. A szennyvíz a levegőztetett homokfogóban csavarvonal alakú mozgást végez; csúcs-szennyvízhozam időszakában 2–3-szor halad el a homokfogó feneke felett, ezáltal a homokeltávolítás valószínűsége kedvezőbb. Ha az átfolyási sebesség csökken, a fenék feletti elhaladások száma nő. A szennyvíz a levegőztetett homokfogóba folyásirányban vezetendő be. Ha az esetleges holt terek felett, a szennyvíz felszínén felúszó iszap akkumulálódik, azt naponta legalább kétszer el kell távolítani.

8. Ha a homokfogóból az üzemelés hibája miatt az előülepítőbe homok távozik, az előülepítőből nagyobb mértékű, gyakoribb, vagy hosszabb időn át tartó iszapelvétel szükséges.

5.5. CIKLONOS HOMOKSZEPARÁLÓ

A ciklon a homok és a szerves anyag szeparálására alkalmas (*14. ábra;* Bristow és Kerri nyomán, 1989). A homokfogó iszapzsompjába mechanikai úton bejuttatott homok és a benne lévő szerves anyag, mint sűrű szuszpenzió, a ciklonba szivattyúzható. A bevezetett sűrű szuszpenzió a ciklon belső fala mentén tangenciálisan körbeforog. Ez az *elsődleges örvény.* A szennyvíznél jóval nehezebb homok a centrifugális erő hatására az elsődleges örvényben a ciklon falához sodródik, majd lefelé mozog. A homok a ciklon alsó, kisméretű nyílásán át eltávozik. A szennyvíz és a benne maradó könnyebb, kisebb méretű szuszpendált anyagok a ciklon középső terében kialakuló *másodlagos örvényben* befelé, majd felfelé mozognak és a felső nyíláson át távoznak. A ciklonból távozó homok a szerves anyagot és a homokot szeparáló osztályozóba, onnan a szállítószalagra, tárolóba jut. Végül tartálykocsiba kerülve elszállítható elásás, feltöltésbe helyezés, néha kiégetés vagy hasznosítás céljából.



14. ábra. Ciklonos homokszeparátor

5.5.1. ÜZEMELTETÉS

1. A ciklonos homokszeparáló rendszer környezetében nagyfokú óvatosság szükséges. A lassan mozgó szállítószalag is veszély forrása.

2. Indítás előtt a ciklonba vizet kell szivattyúzni, így ellenőrizhető, hogy a vezetékek tiszták-e, a nyomásmérő és egyéb berendezések megfelelően működnek-e.

3. Az üzemeltetés kezdete a homokot szállító szalag, majd a szivattyúzás beindítását foglalja magában.

4. A szivattyúzott szennyvíz mennyisége és a homokkoncentráció együttes ismerete fontos, mert

– a ciklonba táplált híg szuszpenzió a kisebb lebegő részecskék szeparálását is elősegíti,
– a sűrűbb szuszpenzió azonban lassúbb mozgású örvényt eredményez, így a ciklon hatékonysága csökken.

5. A ciklonbeli nyomás kritikus. A gyártó cég által előírt nyomást minél pontosabban kell betartani.

6. Ha a ciklon alján nincs elfolyás, az azt jelentheti, hogy:

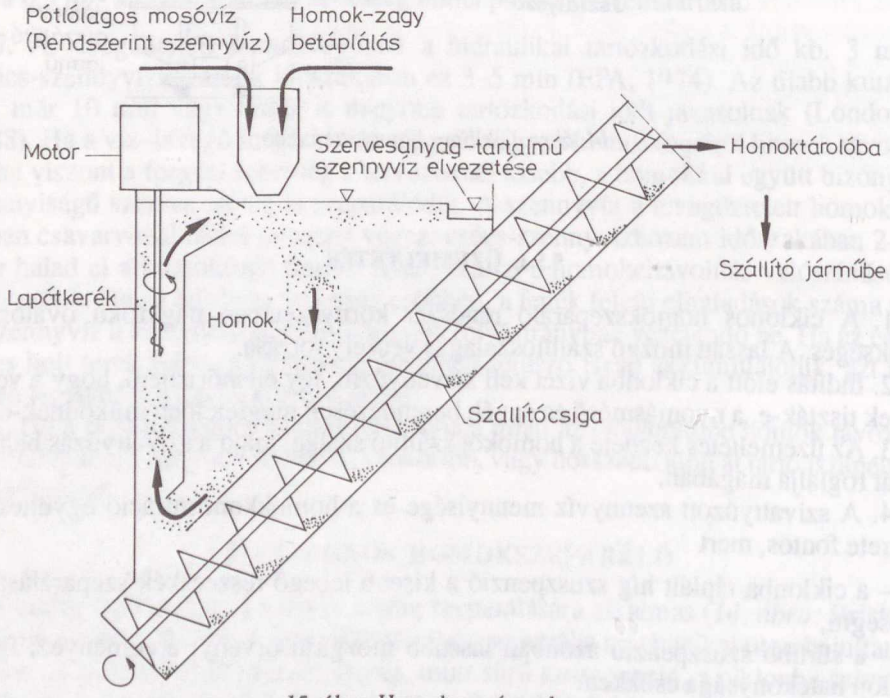
– a betáplált szuszpenzió nagyon híg, vagy
– a kifolyónyílás detritusszal (homok és szerves anyag keverékével) eltömődött.

7. A befolyási nyomás a ciklon hatékonyságát jelentősen befolyásolja.

8. Leállításkor először a táplálószivattyút kell üzemen kívül helyezni. A ciklon dréneződését hagyni kell. Az üzemeltetés megszüntetése után az elfolyónyílást, a homokosztályozót és a homokszállító berendezést le kell mosni.

5.6. HOMOKMOSÁS

A homokfogó-csatornában *(11. ábra)* a 30 cm/s átlagos áramlási sebesség – tehát a kis szennyvízhozamok – mellett a homokkal együtt bizonyos mennyiségű szerves anyag is leülepszik. Ezt a keverékanyagot detritusznak nevezik. (Ezért egyes esetekben a homokfogó-csatornát detrituszmedencének is nevezik.) A szerves anyag a homoktól a detritusz (a szennyvíz által szállított nagyobb sűrűségű durva homok és szerves anyagok keveréke) kimosásával, a szerves anyagok reszuszpendálásával távolítható el (*15. ábra;* Bristow és Kerri nyomán, 1989). Ez a szeparálási mód akkor válhat szükségessé, ha a zsompból eltávolított homok feltöltésbe kerül. A homokmosó berendezés fenekére ülepedett homokot csigaemelővel juttatják a szállító járműbe. A forgólapát pedig a szerves anyagokat reszuszpendálja, így azok a túlfolyó szennyvízzel együtt távolíthatók el.



15. ábra. Homokmosó rendszer

5.7. A HOMOK MENNYISÉGE

A jól megépített és jól üzemeltetett, elválasztott csatornarendszer esetében, szennyvíztisztító telepen átlagosan 0,0073–0,029 l/m^3 fajlagos homokmennyiségre kell számítani. Ez a mennyiség egyes háztartási szemét-komponensek miatt növekedhet, de a mennyiség záporvizek időszakában is nő.

A mennyiség egyesített csatornahálózat esetében átlagosan 0,029–0,109 l/m^3-re tehető, ami csúcsidőben, záporvizek időszakában, sokszorta több is lehet.

A homok mennyiségét befolyásoló tényezők:

1. A csatornarendszer típusa.

Egyesített rendszer esetében például az útfelületekre szórt homok, a vízgyűjtőterület fenntartása, a záporvíz-túlfolyók száma játszik fontos szerepet.

2. Kimosósebesség a csatornában.

Ha az áramlási sebesség a csatornában nem megfelelő mértékű, a homoklerakódás elkerülhetetlen. A szennyvízcsúcsok időszakában a homok újra szuszpendált állapotba kerülhet és a csúcsidőszakban a szennyvíztisztító telepet súlyos homokterhelés érheti.

3. A csatornakorrózió mértéke.

A homokanyag hidrogénszulfid korrózióterméket is tartalmazhat, ami egyes időszakokban jelentős menyiségű lehet *(2. ábra)*.

4. A csatornarendszer szerkezeti meghibásodása miatt rendkívül nagy mennyiségű homok juthat a tisztítótelepre.

5. A csatornarendszerben keletkező törések és repedések is nagy mennyiségű talaj bejutását eredményezhetik a csatornahálózatba, a talaj fajtájától és a talajvízállástól függően.

6. Az ipari szennyező anyagok mennyisége.

7. A háziszemét-őrlő berendezések használatának mértéke.

8. A szippantott szennyvizek mennyisége.

9. A tisztítótelepi homokeltávolítás hatékonysága.

10. A vízgyűjtő területi és a tisztítótelepi építkezési munkák.

Ezek azok a tényezők, amelyeknek folyamatos vagy időszakos hatását az üzemeltetőnek figyelemmel kell kísérnie.

5.8. A HOMOK ELHELYEZÉSE

A homok a következő módokon helyezhető el:

- feltöltés,
- lagúna,
- szétszórás a talajfelszínre,
- égetőbe is juttatható.

A legkedvezőbb a feltöltésbe helyezés és a feltöltés 15 cm vastag talajréteggel történő borítása – ezáltal a legyek és patkányok jelenléte elkerülhető. Így a homokban elkerülhetetlenül jelen lévő bizonyos mennyiségű szerves anyag szaghatása is kiküszöbölhető. Mivel a homok struktúrája jó, a feltöltött terület későbbi hasznosítása problémamentes. A homok feltöltésbe helyezése előtt a szennyvíztisztító-telepi iszappal is kombinálható.

A lagúnába kerülő vagy a talajfelszínre szétszórt homok maximálisan 2–3 százaléknyi szerves anyagot tartalmazhat. Ha a szervesanyag-tartalom ennél több, akkor a homokot előzőleg mosni szükséges azért, hogy az elhelyezendő homok tisztább legyen. Ilyen szempontból a csatorna-homokmosó, de különösen a levegőztetett homokfogó alkalmazása előnyös.

Ahhoz, hogy a homok elhelyezhető legyen, először az áramló szennyvíztől kell elválasztani. A szeparálás

- sebességszabályozott csatornában,
- levegőztetett homokfogóban,
- detrituszmedencében,
- előlevegőztetett medencében vagy
- előülepítőben

valósítható meg. Tehát az előülepítő medence is szóba jöhet egyes esetekben (U.S. EPA, 1975), ekkor a következő lépcső a homok szeparálása az előülepítő iszapjától. Ez általában ciklonos szeparátorral valósítható meg. Ennek a szeparálási módnak a megválasztását az előülepítő-iszap sűrűsége alapvetően befolyásolja.

A homok vízben lévő sűrű szuszpenzióként vagy híg iszapként transzportálható

- pneumatikus úton,
- csigaemelővel,
- szállítószalaggal,
- konténerben (EPA, 1979).

A sűrű szuszpenzió transzportálásakor a következőkre kell gondot fordítani:

1. A csőbeli áramlási sebesség és a csőelrendezés olyan legyen, hogy lerakódások ne keletkezzenek.
2. A szivattyúnak a homokszállításra alkalmasnak kell lenni. A szivattyú optimális munkapontjain üzemeltetendő, így a kopás is minimalizálható.
3. A csőkönyököket úgy kell kialakítani, hogy újratelepítése ne legyen nehéz, ugyanis valószínű, hogy az erózió az íves csőszakaszon jelentkezik. Az íves csőszakaszok nem kerülhetnek földbe vagy betonba.
4. A csőszakasz végén ciklonos szeparátort kell alkalmazni, amivel a homok elválasztható a transzportálást segítő víztől. Ezt követően a homok feltöltésbe helyezhető. A lagúnába helyezés kevésbé ajánlott, mert az egyenletes elosztás nehézkesen valósítható meg. Az elhelyezés mezőgazdasági területen azért terjedt el kevésbé, mert szagártalommal jár és vonzza a rágcsálókat, férgeket.

Ha a homokanyagok égetőkemencébe kerülnek, jóval több rothadóképes anyag lehet a homokban, mint más esetekben. Ezúton a nagyon finom homok is eltávolítható. A kemencéből kikerülő homok könnyen kezelhető. Az elhelyezendő homok térfogata azonban csak mérsékelten csökken. Ebben a tekintetben a homok eltér a rácsszeméttől és a felúszott iszaptól.

5.9. SZENNYVÍZTISZTÍTÓ-TELEPI HOMOKFOGÓK ÜZEMELTETÉSI ZAVARAI, A ZAVAROK OKAI, AZ OKOK FELISMERÉSE ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSE

(Szilágyi, 1992; Keresztúri, 1992; Culp et al., EPA, 1978; Hajós, 1993)

5. táblázat

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Hosszanti átfolyású homokfogó			
Rossz hatásokú működés, homoklerakódás rendellenes helyeken	Túlterhelés	Az iszap nagy homoktartalmú	A megfelelő vizsgálatok (sebességeloszlás-mérés, ellenőrző méretezés a tényleges vízhozamra) elvégzése után a szükséges hidraulikai beavatkozások megtétele
	Rossz hidraulikai kialakítás (kedvezőtlen áramlás, holtterek)	Iszapkezelés, gépezet gyors kopása	
		Gyakori dugulás	
A kitermelt homok magas szervesanyag-tartalmú	Alulterhelés	Szervesanyag-tartalom mérés (izzítás)	Lásd: előző mód
	Áramlási holtterek		
Hosszanti átfolyású homokfogó végtelenített láncos kotróval			
Láncszakadás	Kopás		Szakadt, kopott elemek cseréje
Leállás	Túlterhelés záporvíz alkalmával		Záporvizek külön kezelése
	Hajtómű- vagy motorhiba		Felülvizsgálat, hibás alkatrészek cseréje
Hosszanti átfolyású homokfogó „VÍZGÉP" típusú kotróhíddal			
Befagy a leürített homokfogó (a homokkotró az összes leülepedett homokot nem tudja eltávolítani)	Téli fagy	Szemrevételezés	Szennyvíz rávezetése a befagyott homokfogóra
A kotróhíd vezérlőegysége a hídon van elhelyezve	Téli, hideg időjárás		A reléket épületbe vagy fűtött kapcsolószekrénybe kell helyezni
A relék meghibásodnak			
A dob meghibásodik és nem tekeri fel a kábelt		Szemrevételezés	TMK

5. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Mechanikus végálláskapcsolók meghibásodnak	Téli, hideg időrjárás		Indukciós érzékelők alkalmazása
Hosszanti átfolyású homokfogó GEIGER-tolólappal, víz alatti kotróval			
Tolópadleállás	Mechanikai és elektromos meghibásodás Járófelület lefagyása	Szemrevételezés Próbaindítás	Villamos motorok, hajtóművek, végálláskapcsolók, áramleszedők, kábelcsévélő rendszerek TMK-ja
Tolópad rendellenes üzeme	A tolópad-támasztókerekek beszorulása, gumifelületek kopása, emelőszerkezet- (drótkötél-) szakadás, fékszerkezetkopás, kábelcsévélő, áramleszedő kopása	Leürítés után szemrevételezés	Hibás elemek cseréje, utánállítás, beszabályozás
Általános problémák			
Túlfolyás a homokfogóból	Szivattyúüzem-probléma	Szivattyúk	Szivattyúszabályozás, javítás
Zsír- és gázbuborékok felúszása, szeptikus szennyvíz	Iszap a feneken	Homokfogófenék	A homokfogó napi mosatása
Záptojásszag	Hidrogénszulfidképződés Szennyvíz alatti hulladékok	Összes- és oldott szulfidok mintázása Hulladékanyagok ellenőrzése a homokfogóban	Kimosatás és hipoklorit-adagolás Napi mosatás
Dugulás	Leülepedett homok eldugítja az elvezető csövet	Naponként háromszor leüríteni a homokfogót, és szemrevételezni	WOMA-val kimosatni
Nem megfelelő az áramlás a homokfogóban	A terelőlapát kialakítása nem megfelelő A terelőlapátra száraz anyag (pl. textilhulladék) csavarodik fel A homokfogóban sok a homok	A terelőlapát sebességének és kialakításának ellenőrzése Homokfogó leürítése után szemrevételezés Leürítéssel szemrevételezés	A terelőlapát megfelelő sebességének beállítása A homokfogó leürítése után textilhulladék eltávolítása Homokfogó leürítése, a homok eltávolítása

5.10. HOSSZANTI ÁTFOLYÁSÚ LÉGBEFÚVÁSOS HOMOKFOGÓ ÜZEMELÉSI ZAVARAI, A ZAVAROK OKAI, AZ OKOK FELISMERÉSE ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSE

(Solti, 1992; Szilágyi, 1992; Culp et al., EPA, 1978 nyomán)

6. táblázat

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Hidraulikai rövidzárlat	Tervezési hiba	Jelzőanyagos vizsgálatok	Víz be- és elvezetés – áramlásviszonyok optimális kialakítása
Homokleülepedés a műtárgy rézsűs fenékrészén	Rézsű kis esése	Leürítés	Keresztirányú sebesség növelése
Hidromechanizáció fúvókáinak eldugulása	Szálas anyag		Megfelelően előtisztított szennyvíz vezetése a homokfogóba
Vízsugárszivattyú rossz zagyszállítása	Dugulás		Visszamosatás
	Excentricitás		Pontos beállítás
A légbefúvás hozama nem megfelelő (kevés, ill. sok)	A fúvó nem szállít megfelelő mennyiségű levegőt	Mérés	A fúvó működtetését ellenőrizni kell, esetleg elzárás megszüntetése, levegővezeték meghibásodásának megszüntetése
	A gömbcsapok rosszul vannak beállítva		A gömbcsapok megfelelő beállítása
	A furatok eldugultak		A furatok megtisztítása
A szivattyús homokkiemelő nem működik	A kiemelő mammutszivattyúk levegőellátása nem megfelelő	Mérés, szemrevételezés	A levegőellátó rendszer optimális üzemének biztosítása
			Kompresszor, levegővezeték szükség szerinti javítása
	A működtető automatika meghibásodott		Az automatika kijavításáig kézi üzemre való áttérés szükséges
A kotró leáll	Elektromos hiba, vagy kotró meghibásodásából adódik	Mérés	A berendezést azonnal üzemen kívüli állapotba kell kapcsolni

6. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
			Az elektromos rendszert meg kell vizsgálni, a szükséges javítást elvégezni
			Ha a javítás hosszabb időt vesz igénybe (6 órán túl), a homokfogó rekeszt ki kell iktatni
A kotró nem áll meg	A végálláskapcsolók meghibásodtak	Szemrevételezés	A megfelelő alkatrészek cseréje
A kotrórendszer akadozik, áramfelvétel nagy	Láncok, azok csapszegei kopottak, a lánc megnyúlt	Mérés	A láncok cseréje
A kotró lassan jár, időnként megáll	A tengelykapcsoló csúszik	Szétszerelés	Állítás vagy a tapadóelemek cserélje
A leülepedett homok nehezen távolítható el	Légbefúvás leállt		Sűrített levegővel lazítani
	Ürítési ciklus hosszú		A homokeltávolítás gyakoriságának növelése
A homok eltávolítási ideje hosszabb a szokottnál	Szivattyú és/vagy a futókerék kopott	Szétszerelés	A kopott alkatrész cseréje
	Szívótömlő törött vagy szakadt		Hibás tömlő cseréje
A homok szerves anyaggal erősen szennyezett	Átfolyási sebesség túl lassú	Szerves anyag laboratóriumi mérése	Tartózkodási idő csökkentése
	Légbefúvás szünetel		Légbefúvás működtetése
Kiemelt homok télen befagy a hidrociklonban	Hosszú tárolás	Szemrevételezés	Tárolási idő rövidítése
Felületi turbulencia mértéke csökken	Diffúzorok eltömődése hulladékokkal és homokkal	Diffúzorok	Diffúzorok tisztítása
Kismértékű homokszeparálódás	Fenéken való elmosás	Áramlási sebesség	Kb. 30 cm/s áramlási sebesség fenntartása
	Túl intenzív levegőztetés	Levegőztetés	Levegőztetés mérséklése
	Tartózkodási idő elégtelen	Tartózkodási idő	Tartózkodási idő növelése

5.11. IRODALOM

Culp, G. L., Heim, N. F., EPA (1978): Field Manual for Performance Evaluation and Troubleshooting at Municipal Wastewater Treatment Facilities. *EPA* 430/9–78–001, *EPA Contract.* No. 68–01–4418.

Diaper, E. W. J. (1973): Tertiary Treatment by Microstraining-Case Histories. *Water and Sew. Works,* Vol. 119, No. 8, 42.

Diaper, E. W. J., Glover, G. E. (1971): Microstraining of Combined Sewer Overflows. *J. Water Poll. Control Fed.* Vol. 43, No. 10, 2101.

EPA (1974): Upgrading Exising Wastewater Treatment Plants. *U.S. EPA,* Technology Transfer., Washington, D.C.

EPA (1975): Process Design Manual for Suspended Solids Removal. *Techn. Transfer., Cincinnati, Ohio. EPA*–625/1–75–003a. January.

Kalbskopf, K. H. (1966): Über den Absetzvorgang in Sandfänger. *Technische Hochschule Hannover,* H. 24.

Keresztúri J. (1992): Szóbeli közlés.

Kreissl, J. F., Gilbert, W. G. (1988): Preliminary Treatment Facilities-Design and Operational Considerations. *EPA* 430/09–87–007, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati.

Screening/Flotation Treatment of Combined Sewer Overflows. U.S. EPA (1972). *Water Pollution Control Res.,* Series 11020 FDC 01/72, Washington, D.C.

Solti D. (1992): Írásbeli közlés.

Szilágyi M. (1993): Írásbeli közlés.

Településekről származó szennyvizek tisztítótelepei. Mechanikai tisztítás. MI–10 127/4. Budapest.

5.12. KÉRDÉSEK

1. A homokeltávolítás célja. (5.1. fejezet.)
2. Milyen anyagok alkotják az eltávolítandó „homokot"? (5.2. fejezet.)
3. Homokfogók fajtái, szabályozási módjai. (5.3. fejezet.)
4. A homokfogók üzemeltetési jellemzői. (5.3. fejezet.)
5. A ciklonos homokszeparáló, működési elve, üzemeltetése. (5.5.–5.5.1. fejezet.)
6. Homokmosás, célja. (5.6. fejezet.)
7. Milyen anyagokat távolít el a homokmosó? (5.6. fejezet.)
8. A homok elhelyezése. (5.8. fejezet.)
9. Melyek az előlevegőztetés céljai? (5.3. fejezet.)

6. ÜLEPÍTŐK

6.1. AZ ÜLEPÍTŐK FAJTÁI, CÉLJUK

A nyers szennyvíz lebegőanyagai a csatornahálózatban az ottani viszonylag nagy áramlási sebesség miatt transzportálódnak, elméletileg nem ülepednek le a csatornafenékre.

A lebegőanyagok sorsa azonban a szennyvíztisztító telepen megváltozik, hiszen az áramlási sebesség a homokfogóban és az előülepítőben fokozatosan csökken. Ennek hatására a homokfogóban a szennyvíz sűrűségénél lényegesen nagyobb sűrűségű homokszemcsék a gravitáció hatására a fenékre ülepednek. Az előülepítőben pedig szerves anyagú finomabb szemcséjű lebegőanyagok, ha sűrűségük a szennyvíz sűrűségénél nagyobb, szintén a fenékre kerülnek. Ha sűrűségük a szennyvíz sűrűségénél kisebb, akkor a szennyvíz felszínére úsznak (flotálódnak). A szennyvíztisztítás során tehát a szuszpendált anyagok zöme vagy a gravitációs ülepítés, vagy a flotáció révén távolíthatók el.

A legtöbb biológiai szennyvíztisztító telepen a rács, a komminutor vagy a homokfogó után (egyes telepeken ezen egységek hiányoznak) az ülepítő vagy a flotáló medence következik *(1. ábra)*.

A biológiai szennyvíztisztító telepeken az ülepítő három helyen fordulhat elő. Mindhárom esetben jellemző, hogy az ülepítők a viszonylag kis mennyiségű lebegőanyagot nagy szennyvíztérfogatból hatékonyan képesek eltávolítani.

Az *előülepítő* a biológiai tisztítóegység előtt van. Célja a biológiai egység tehermentesítése a durvább szuszpendált, részben pelyhesedett, szerves BOI-anyagok zömétől.

Ha a fizikai előülepítés kémiai pelyhesítéssel kombinált, az előülepítő az oldható foszfátok és egyéb oldott anyagok eltávolítását is segíti, és a lebegőanyagok eltávolítási mértékét növeli.

Az elnevezés elsősorban onnan ered, hogy az előülepítő az első ülepítő az egy- vagy többlépcsős biológiai rendszerben.

A *közbenső ülepítő* a kétlépcsős biológiai rendszerben a két biológiai egység között van. Célja az első biológiai lépcsőben képződő eleveniszap jelentős részének eltávolítása (Öllős, 1991; 363. ábra).

Az *utóülepítő* feladata a biológiai tisztítás során képződő pelyhes eleveniszap szeparálása; az eleveniszap időszakos tározása (ami az eleveniszapos medencéből megnövekedett elfolyás, elsősorban a csapadékos időszakában válik szükségessé); az eleveniszap bizonyos mértékű sűrítése; olyan áramlásviszonyok elkerülése, amelyek az eleveniszap elfolyását eredményezik. A recirkulációs eleveniszap az utóülepítőből vezethető vissza.

Az utóülepítőben történő eleveniszap-tározás időbeli mértékét a bevezetett iszap mennyisége, az iszap minőségi sajátosságai, az iszapelvétel és a recirkuláció mennyisége befolyásolja. Ezáltal az utóülepítőben a lebegőanyag szeparálásához, ill. a pelyhesedéshez szükséges térfogat is befolyásolható. Az utóülepítőre azért van szükség a tisztítórendszerben, mert az előülepítő utáni biológiai egységben szuszpendált állapotú, ülepíthető, pelyhesedett eleveniszap képződik, aminek eltávolítása a biológiai egység után feltétlenül szükséges.

Az utóülepítőt a szennyvíz-utótisztításból származó ülepíthető lebegőanyagok eltávolítására is alkalmazzák. *Az utóülepítő és az eleveniszapos egység az eleveniszapos eljárásban egységes rendszert alkot; kölcsönösen befolyásolják egymást. Ezt kell az üzemeltetőnek szem előtt tartani.* (Ezt a tényt az üzemeltető a megfelelő üzemelési paraméterek mérésével és azok egymással való kapcsolatának elemzésével maga is tapasztalja.)

Az előülepítő, a közbenső és az utóülepítő közötti alapvető különbség *az ülepítendő iszap sűrűségében* rejlik. Az előülepítő-iszapok sűrűbbek, mint az utóülepítő-iszapok. Az utóülepítőből elfolyó szennyvíz általában tisztább az előülepítőből elfolyó szennyvíznél.

A kémiai pehelyképződési folyamat alkalmazásakor az ülepítés mértéke nagyobb, annak ellenére, hogy a pelyhek és a körülöttük lévő szennyvíz sűrűségkülönbsége nagyon kicsi, ami a pehelyporozitás 90%-nál nagyobb voltával magyarázható (Akers, 1976 és Heinke et al., 1980).

6.2. AZ ÜLEPÍTÉST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Az ülepítőmedencékben az ülepítést befolyásoló legfontosabb tényezők:

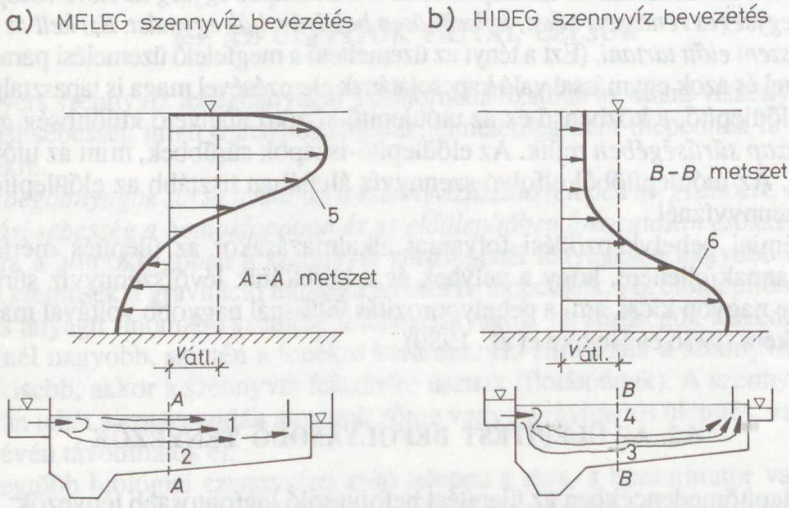
- hőmérséklet,
- szélhatás (nagy ülepítők esetében),
- rövidzárlat,
- tartózkodási idő,
- a lebegőanyag-koncentráció eloszlása az ülepítőben,
- a medence geometriai kialakítása,
- bukón átjutó szennyvíz mennyisége,
- felületi terhelés,
- lebegőanyag-terhelés,
- iszapfelfúvódás, ill.
- iszapfelúszás.

6.2.1. A HŐMÉRSÉKLET HATÁSA

A folyadék (így a szennyvíz is), ahogy a hőmérséklete emelkedik, kitágul, ahogy a hőmérséklete csökken, összehúzódik. 4 °C alatt fordított a helyzet. A folyadékmolekulák hőmérséklet-változásra reagálnak. A hőmérséklet emelkedésekor egymástól távolabbra kerülnek, így a folyadék és az ülepedő részecskék közötti sűrűségkülönbség nő, ezért a részecskék ülepedési sebessége nő. Ilyenkor a szennyvíz viszkozitása csökken, ezért a pehelyfelület és a határoló folyadék felülete közötti

súrlódási ellenállás kisebbé válik. A hőmérséklet csökkenésekor sűrűségük nő, egymáshoz közelebb kerülnek, így az ülepedés sebessége csökken, ami érthető, hiszen ekkor a folyadék és az ülepedő részecskék sűrűségkülönbsége csökken.

A hőmérsékleti hatásokat és a jellegzetes áramlásviszonyokat a *16/a* és *b ábra* szemlélteti. Az áramkép már 2–4 °C hőmérséklet-különbség (a bevezetett és a medencében lévő szennyvízre vonatkoztatva) hatására érzékenyen megváltozik (Lipták, 1955 és Saitenmacher, 1965).



16/a–b ábra. Áramlási viszonyok hosszanti átfolyású medencében különböző hőmérsékleti feltételek esetében

6.2.2. A RÖVIDZÁRLAT HATÁSA

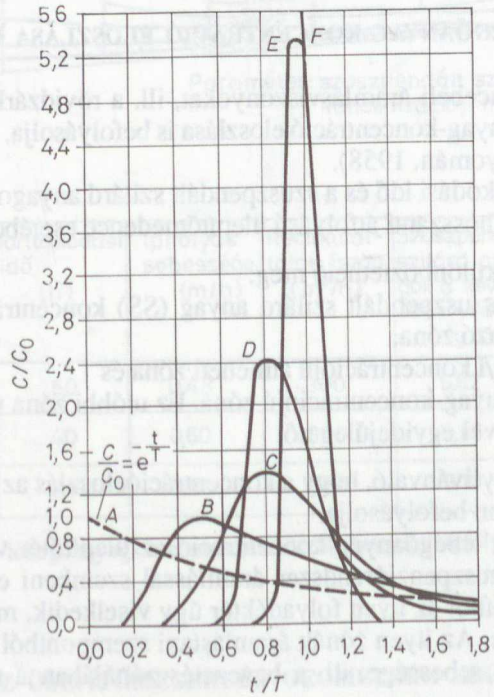
A hidraulikai rövidzárlat bármilyen ülepítőmedencében előfordulhat és különböző okokból jelentkezhet.

Az ideális áramlás feltétele az, hogy a szennyvíz az ülepítőmedencébe való bevezetés helyén a teljes keresztmetszetben rögtön egyenletes eloszlású, és a teljes ülepítőtérben azonos áramlási sebességű legyen. Ha az áramlás sebessége a medence egyes részeiben eltérő, jellegzetes rövidzárlat jöhet létre. A tervezettnél nagyobb áramlási sebességű zónában a hidraulikai tartózkodási idő rövidebb, így az ülepítendő lebegőanyagok szuszpendált állapotúak maradnak és nem ülepednek le. A túl lassú zónában az ülepítés biztosan végbemegy, azonban az oldott oxigén könnyen elfogy, így anaerob (szeptikus) állapot jelentkezik.

A hőmérséklet-különbség okozta változásra példa a *16/a* és *b ábra*. Az *a* ábra esetében a medencébe vezetett szennyvíz hőmérséklete a benn lévő szennyvíz hőmérsékleténél magasabb. Ilyen helyzet már 1–2 °C hőmérséklet-különbségnél létrejön. Ez a kedvezőtlen eset csak akkor kerülhető el, ha a hőmérséklet változása lassú, az 1–2 °C-t nem lépi túl legalább egy óra időtartamig. A *b* ábra szerint a medencébe vezetett hidegebb szennyvíz a medence alsó zónájában viszonylag gyorsan áramlik, ami az ülepítő hatékonyságát csökkenti.

6.2.3. A TARTÓZKODÁSI IDŐ HATÁSA

A tartózkodási idő szerepe az ülepítés szempontjából alapvető, hiszen a szennyvíznek, a kielégítő mértékű ülepítés elérése céljából, *az ülepítőtérben elegendő ideig kell tartózkodnia*. Ha a medence túl kicsi a szennyvízhozamhoz és a részecskék ülepítéséhez, az ülepített szennyvízzel sok lebegőanyag távozik. A tartózkodási idő kb. 2–3 óra, ami a különböző ható tényezők miatt flexibilis, *az üzemelés során kell beszabályozni*. Gondolni kell arra, hogy a szennyvízhozam a nappali és éjszakai órákban rendszerint jelentősen eltérő. A tervezett *elméleti* tartózkodási idő pedig valamely felvett szennyvízhozamra vonatkozik. A *tényleges* tartózkodási idő az elméletitől jelentősen eltérhet. A tartózkodási idő, ill. a hidraulikai rövidzárlat jelzőanyag-vizsgálatokkal határozható meg. A hidraulikai viszonyokra jellemző átfolyási görbék különböző ülepítőmedencék esetében a *17. ábrán* értelmezhetők. A vízszintes tengelyen a tényleges tartózkodási idő (t) és elméleti tartózkodási idő (T) aránya (t/T) adott. A függőleges tengely a jelzőanyag relatív koncentrációját képviseli (C a mért, C_0 az a koncentráció, amelynél a teljes jelzőanyag-mennyiség az egész medencében elkeveredett). Az A és az F görbe elméleti esetet tükröz. Az ülepítés hatékonysága a B görbétől az E görbe felé haladva nő.



17. ábra. Az átfolyási görbék különböző típusú ülepítőmedencék esetében

A jellegzetes görbék értelmezése:

A görbe: a teljes keveredésű medencét képviseli, amikor a bevezetett szennyvíz a teljes medencében azonnal elkeveredik.

B görbe: sugárirányú átfolyási előülepítő átfolyási görbéje.

C görbe: széles, hosszanti átfolyású medence átfolyási görbéje.

D görbe: keskeny, hosszú ülepítőmedence átfolyási görbéje.

E görbe: 12 terelőfalas hosszanti átfolyású modell-ülepítőmedence átfolyási görbéje.

F görbe: az átfolyási görbe függőleges egyenessé válik: olyan idealizált ülepítőmedencét (csőreaktort) képvisel, amelynek minden pontjában azonos az áramlás sebessége és a lebegőanyagok teljes mennyisége az elméleti tartózkodási idő alatt éri el a medence elfolyási oldalát.

A függőleges átfolyású ülepítőmedencére, pl. a Dortmundi-medencére vonatkozó átfolyási görbe várhatóan a *D* és *E* görbék közé esik.

A *17. ábra* alapján megállapítható:

– a rövidzárlat a keskeny, vízszintes átfolyású medencék esetében minimális,

– a rövidzárlatra különösen a kör alaprajzú, vízszintes átfolyású medencék érzékenyek.

6.2.4. LEBEGŐANYAG-KONCENTRÁCIÓ ELOSZLÁSA ÉS HATÁSA

Az ülepítőmedencebeli áramlásviszonyokat, ill. a rövidzárlatok keletkezésének feltételeit a lebegőanyag-koncentráció eloszlása is befolyásolja. Erre a *18. ábra* nyújt példát (Katz et al. nyomán, 1958).

Az ábrán a tartózkodási idő és a szuszpendált szilárd anyagok koncentrációjának eloszlása követhető hosszanti átfolyású ülepítőmedence esetében.

Az ábrán 3 zóna különböztethető meg:

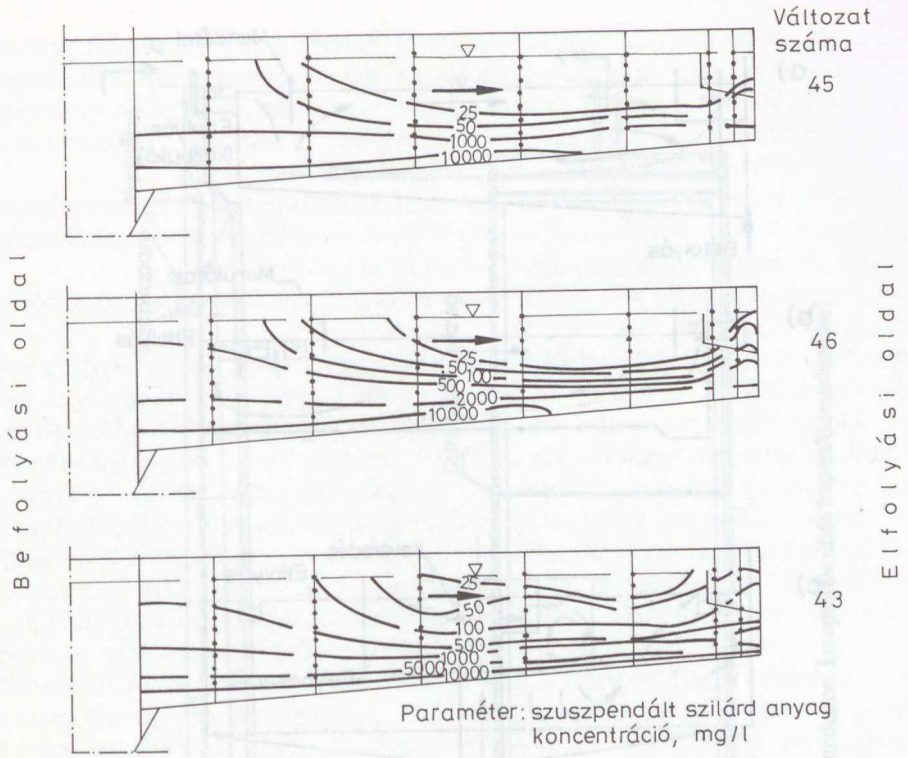
– a 25–50 mg/l szuszpendált szilárd anyag (SS) koncentrációjú, már ülepített szennyvizet tartalmazó zóna,

– a 100–1000 mg/l koncentrációjú átmeneti zóna és

– a nagy szilárdanyag-koncentrációjú zóna. Ez utóbbi zóna vastagsága a medencemélység növelésével egyidejűleg nő.

Az ábra alapján nyilvánvaló, hogy a koncentrációeloszlás az áramlásviszonyokat ugyancsak alapvetően befolyásolja.

Minél nagyobb a lebegőanyag-koncentráció az ülepítőtér valamely zónájában, az ottani pelyhes szuszpenziórendszer áramlással szembeni ellenállása nő. Ezért hidraulikai szempontból az ilyen folyadéktér úgy viselkedik, mintha sűrűsége a vízénél nagyobb lenne. Az ilyen zónák áramlástani szempontból stabilok, különösen azok, ha a befolyás sebessége, ill. a bevezetés zónájában a turbulencia mértéke kicsi.



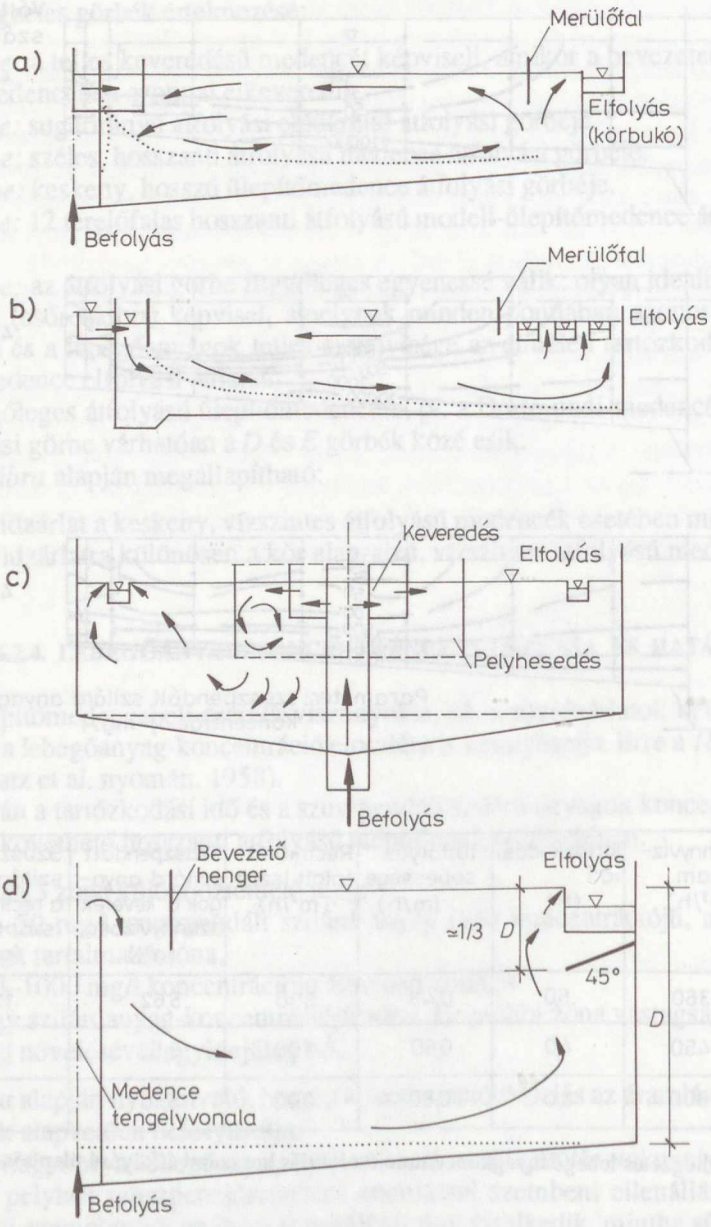
Változat száma	Szennyvíz-hozam (m^3/h)	Tartózkodási idő (h)	Túlfolyás sebessége (m/h)	Recirkuláltatott iszap (m^3/h)	Szuszpendált szilárd anyagok a keverék szennyvízben (g/l)	Szuszpendált szilárd anyagok a recirkuláltatott iszapban (g/l)
45	360	5,0	0,48	300	5,62	12,87
46	450	4,0	0,60	300	5,52	12,80
43	600	3,0	0,80	300	5,10	14,72

18. ábra. Jellegzetes lebegőanyagkoncentráció-eloszlás hosszanti átfolyású ülepítőmedencében

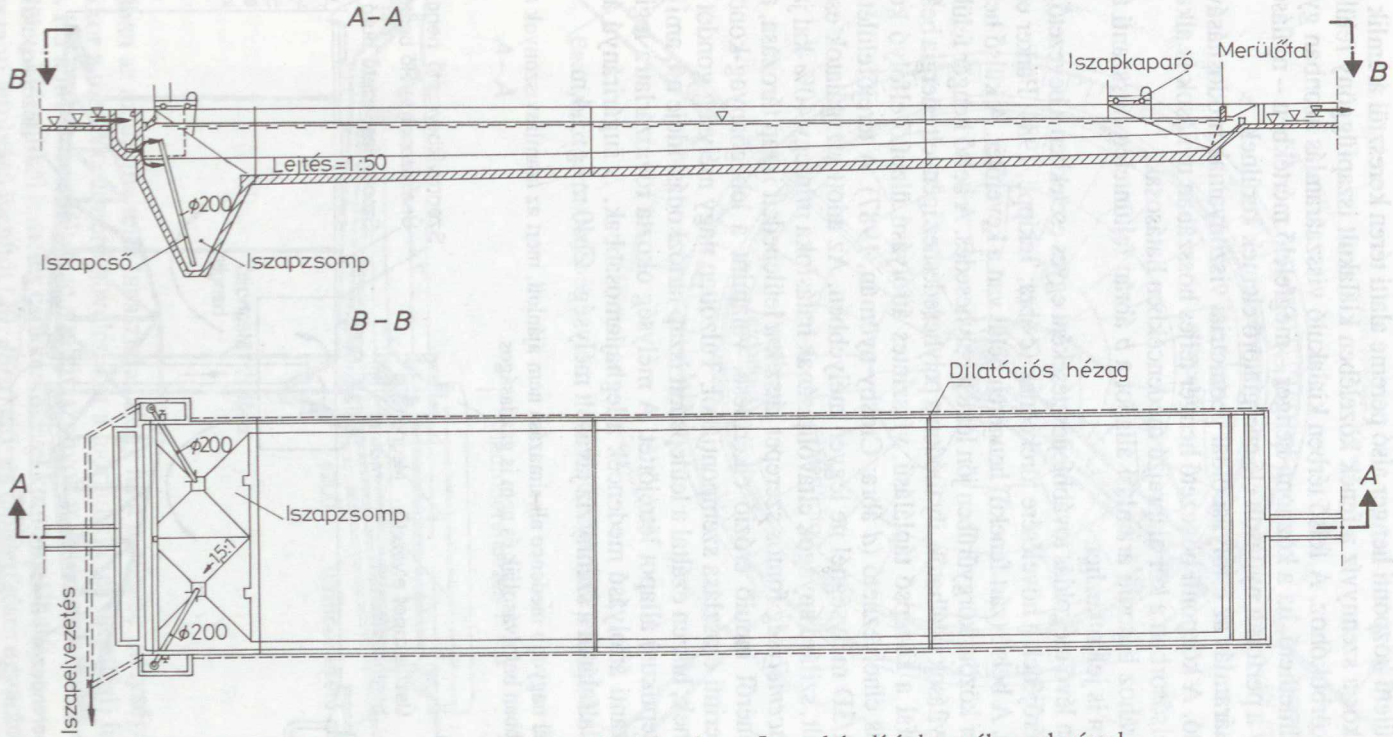
6.2.5. AZ ÜLEPÍTŐMEDENCÉK GEOMETRIAI KIALAKÍTÁSA

A medencék geometriája, a befolyási és elfolyási oldal kialakítása *alapvetően* befolyásolja az áramlásviszonyokat, így a rövidzárlatot is *(19/a–d ábra)*.

Az *a* ábra központi táplálású, kör alaprajzú, kerületi körbukós elfolyású, radiális átfolyású ülepítő jellemző áramképét szemlélteti. Ha a bevezetett szennyvíz csak a



19/a–d ábra. Az ülepítőmedence geometriájának szerepe az áramlási viszonyok befolyásolásában



20. ábra. Hosszanti átfolyású ülepítőmedence. Iszapeltávolítás kaparóberendezéssel

vízzáró felületű központi henger alsó pereme alatti téren keresztül áramlik az ülepítőtérbe, akkor a szennyvíz a fenék közelében kialakult iszapfüggöny felülete felett áramlik a körbukóhoz. A felső térben kialakuló visszaáramlás azonban gyakorlatilag megszüntethető, ha a központi henger – megfelelő mértékben – nyílásokkal ellátott, vagy a perforált nyílások elé energiatörő elemek kerülnek.

A visszaáramlás az elfolyási oldal geometriai viszonyainak módosításával is befolyásolható. A központi bevezető henger teljes hosszában nyílások is alkalmazhatók. Ezek elsősorban a kör alaprajzú medencékben hatásosak.

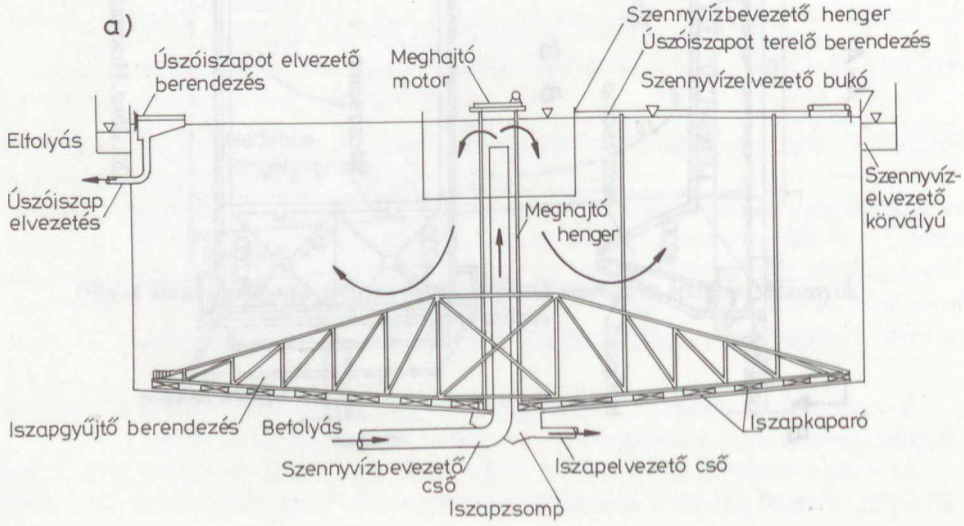
Az *a* ábrához hasonló áramlási állapot a *b* ábrán feltüntetett hosszanti átfolyású medencében is jelentkezhet.

A *b* ábrán lévő megoldás továbbfejlesztéseként egyes esetekben a bevezető központi henger átmérőjének a növelésére törekednek (*c* ábra; Tekippe, 1984; Parker et al. nyomán, 1986). A belső (zárt fenekű) hengeren belül van a keverőtér. A külső henger és a belső henger közötti körgyűrűben jön létre a pelyhesedés. A belső henger felületén változtatható nyílások találhatók, ily módon a pelyhesedéshez igényelt energia beállítható.

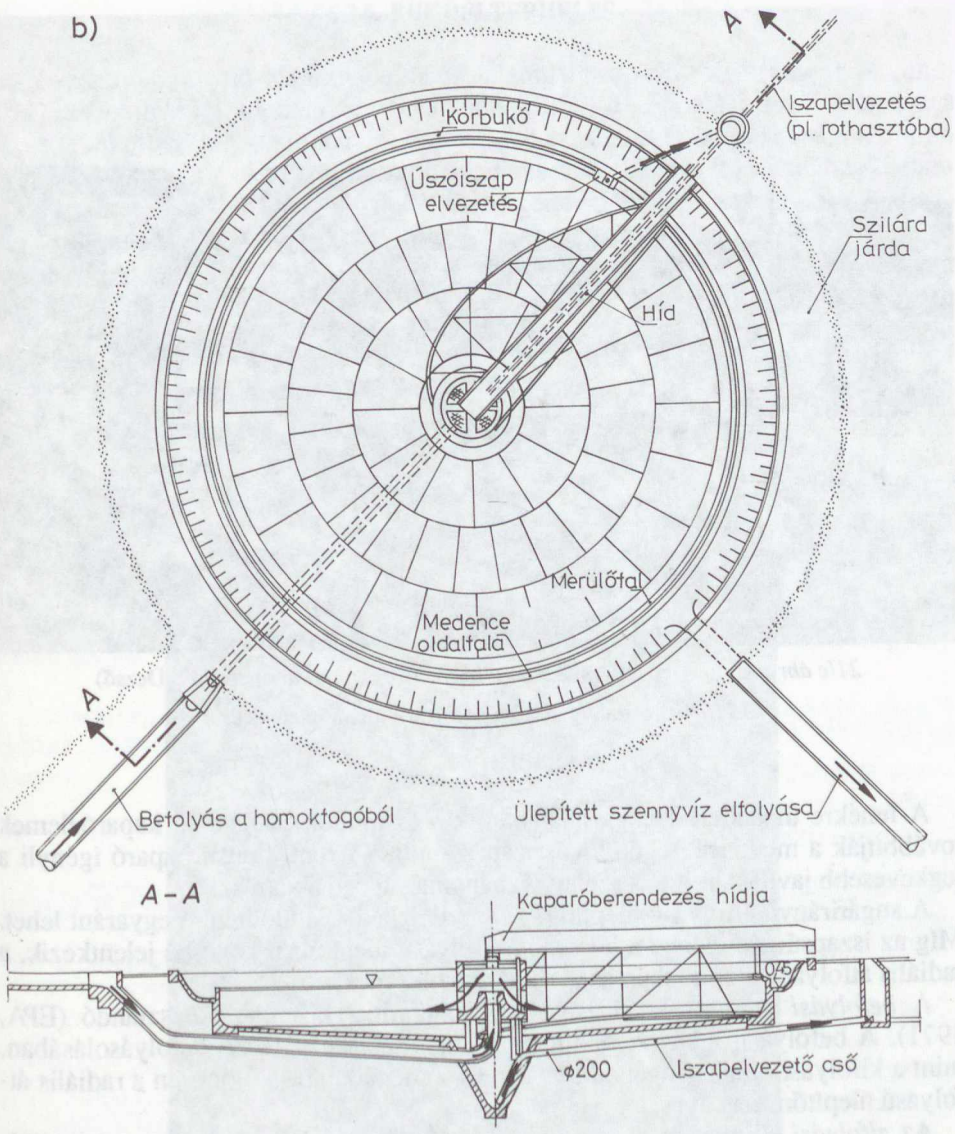
A terelőfal a középső táplálású, vízszintes átfolyású ülepítő elfolyó körbukója közelében is elhelyezhető (*d* ábra; Crosby nyomán, 1987). A terelőfelület a bukószint alatt 1/3D mélységnél ne legyen mélyebben. Az adott vizsgálatok esetében a szuszpendált, szilárd anyagok eltávolításának hatásfoka mintegy 40%-kal javult.

A *medencemélység* fontos szerepet játszik a leülepedett iszap tározása, az iszapréteg felszínéről induló erózió elkerülése, valamint a lebegőanyag-koncentráció mélység szerinti eloszlása szempontjából. Túlzottan nagy mélység gondot okoz az üzemeltetőnek, hiszen ezáltal a leülepedett iszap tartózkodási ideje nő, ami segíti az anaerob (szeptikus) állapot létrejöttét. A mélység okozta rövidzárlatra leginkább a mély, hosszanti átfolyású medencék a leghajlamosabbak. A sugárirányú átfolyású ülepítők oldalfalánál a szennyvíz javasolt mélysége ∅ 40 m-ig: 3,4 m.

40 m ∅-nél nagyobb medence alkalmazása nem ajánlott, mert az áramlásviszonyok a hatásfokot fokozottabban befolyásolják és nem is gazdaságos.



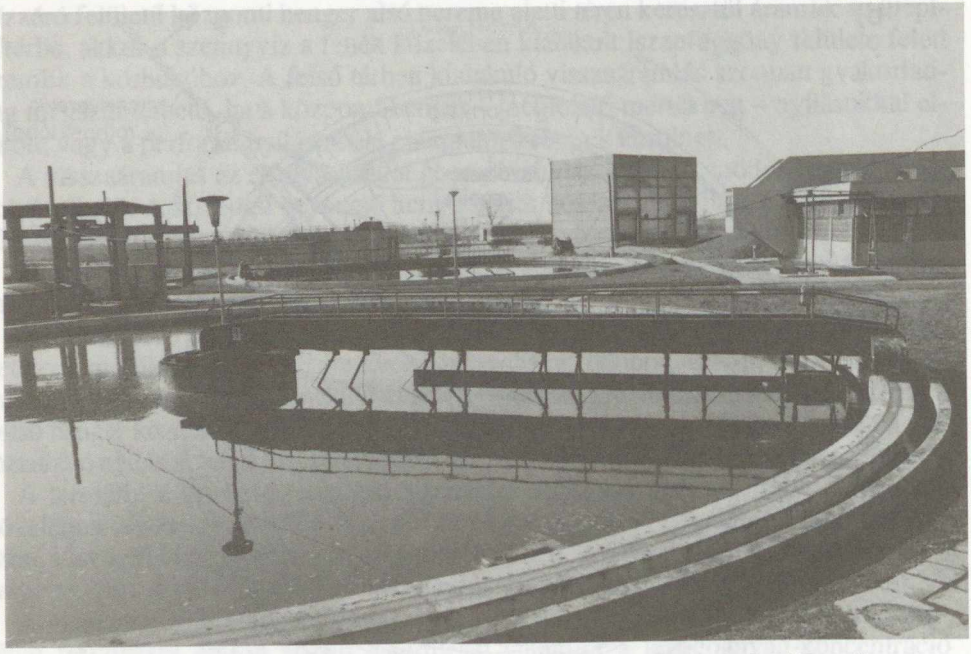
21/a ábra



21/b ábra

Általában az az üzemeltetői tapasztalat, hogy ha a medence mélysége nem optimális, akkor a medenceátmérő növelésekor a hidraulikai (és ülepítési) hatékonyság csökken. Ha a medence mélysége a talajviszonyok miatt kisebb, ennek negatív hatása a felületi hidraulikai terhelés csökkentésével kompenzálható.

A hosszanti átfolyású ülepítőt *(20. ábra)* elő- és utóülepítésre egyaránt alkalmazzák. Mégis legtöbb esetben előülepítőként töltik be a szerepüket. A hosszanti átfolyású ülepítő egyedülálló vagy blokkos elrendezésű lehet, közös oldalfalakkal.



21/c ábra. Utóülepítő a Pécsi Szennyvíztisztító Telepen (fotó: dr. Solti Dezső)

21/a–c ábra. Sugárirányú átfolyású ülepítőmedencék

A fenékre ülepedett iszapot általában mozgó hídhoz csatlakozó kaparóelemek továbbítják a medence végén lévő iszapzsompba. A fenti típusú kaparó igényli a legkevesebb javítást, mivel a szennyvízben nincs forgó alkatrész.

A sugárirányú átfolyású ülepítő *(21/a–c ábra)* elő- és utóülepítő egyaránt lehet. Míg az iszapsűrítés igénye a hosszanti átfolyású ülepítőben kevésbé jelentkezik, a radiális átfolyású ülepítőkben annál inkább szükséges.

A *befolyási oldalon* a befolyási sebesség minél kisebbre választandó (EPA, 1971). A befolyási oldal szerepe nagyobb az ülepítés kedvező befolyásolásában, mint a kifolyási oldalé (Ingersolt, 1950). Ez a megállapítás különösen a radiális átfolyású ülepítőre érvényes.

Az *elfolyási oldalon* a bukórendszer úgy létesítendő, hogy helyi nagy felszállósebesség ne alakulhasson ki. A bukóegységek számának növelése a rövidzárlat elleni védekezés egyik módja. A felúszott iszap kaparására szolgáló berendezés esetében (kör alapú ülepítőben) az elfolyási oldalnál merülőfalat kell alkalmazni. A nagyméretű, hosszanti átfolyású ülepítőbe – annak elfolyási zónájába – több szennyvízelvezető vályút kell keresztirányban beépíteni. Ez a megoldás szintén a rövidzárlat akadályozását szolgálja. A kisméretű, hosszanti átfolyású medencében az elfolyási oldalon egyetlen keresztbe helyezett szennyvízelvezető vályú elegendő.

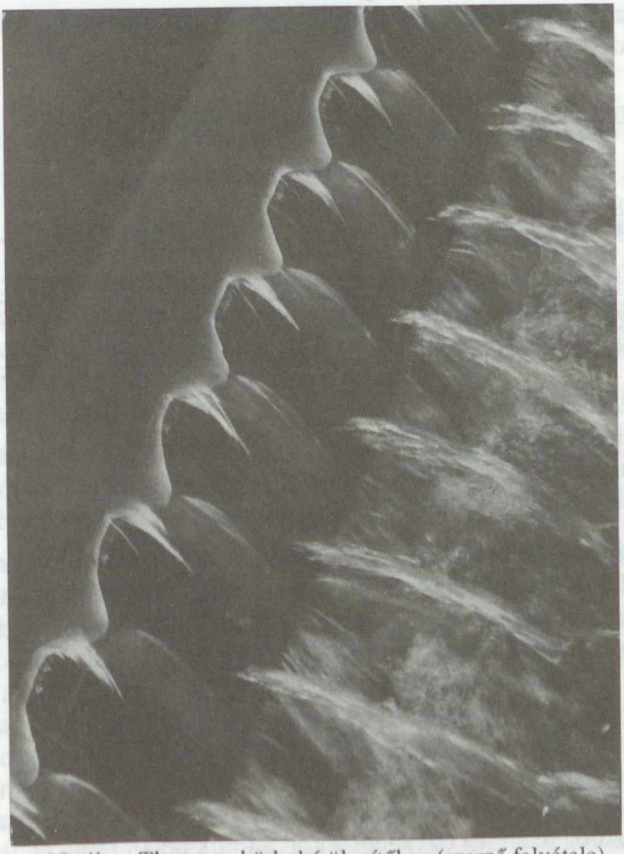
A függőleges áramlású medencékben, amelyek rendszerint kör alapúak, több koncentrikus szennyvízelvezető vályút kell létesíteni (kivéve a kisméretű ülepítőket). Ily módon az egyenletes felfelé áramlás biztosítható.

6.2.6. BUKÓÉLTERHELÉS

A szennyvíz az elő- és utóülepítőből valamilyen típusú bukó (vagy bukórendszer) közvetítésével jut az elvezető vályúba *(22. ábra)*. Fontos a bukó hosszúsága és az átbukott szennyvíz mennyisége közötti kapcsolat számszerűsítése, mert a tapasztalati adatok birtokában védekezni lehet a rövidzárlat, a bukó körüli nagy áramlási sebesség, ill. a lebegőanyagok ülepített szennyvízbe jutása ellen. A bukóélterhelés a teljes bukóhosszon (m) átbukó szennyvíz mennyisége (l). Dimenziója: $m^3/m \cdot d$. Általában a 13 500–27 000 l/d · fm hidraulikai bukóélterhelés-tartomány tekinthető mértékadónak.

Ennél nagyobb fajlagos értékek csak nagy ülepedési sebességű lebegőanyagokra fogadhatók el. Utóülepítők és nagy tisztítási igények esetében kisebb fajlagos hidraulikai terhelés fogadható el, mint előülepítők esetében.

Ha a bukóélterhelés a napi átlagos szennyvízhozam mellett nem haladja meg a 2 $m^3/m \cdot h$ értéket, a bukóélt fogazni célszerű. (A fogazás előnyt jelent az e feletti értéktartományban is.)



22. ábra. Thomson-körbukó ülepítőben (szerző felvétele)

6.2.7. FELÜLETI HIDRAULIKAI TERHELÉS

A *felületi hidraulikai terhelés* az ülepítés hatékonyságával közvetlen kapcsolatba hozható. Dimenziója: $m^3/m^2 \cdot d$. Tartománya, $m^3/m^2 \cdot d$, a lebegőanyagok tulajdonságaitól és a tisztítási követelményektől függ. A kisebb felületi hidraulikai terhelést gyakran a hideg éghajlati viszonyok között üzemelő, kis telepek esetében tekintik mértékadónak. A meleg régiókban a kis terhelési mértékek túlzott tartózkodási idővel társulnak, miáltal szeptikus állapot jöhet létre.

A felületi lebegőanyag-terhelés az ülepítő egységnyi felületére eső azon lebegőanyag-mennyiség (kg), amelyet az ülepítő naponként (d) képes szeparálni az ülepítendő szennyvízből.

A felületi lebegőanyag-terhelés a következő összefüggésből számítható:

$$v_x = \frac{Q_d \cdot X_t}{24\, A_v}, \tag{5}$$

ahol v_x – a felületi lebegőanyag-terhelés, $kg/m^2 \cdot h$,
Q_d – a napi szennyvízmennyiség, m^3/d,
X_t – a teljes (szerves és szervetlen) lebegőanyag-koncentráció, kg/m^3,
A_v – a medence hasznos felülete, m^2.

Jellemző felületi lebegőanyag-terhelések (Herr és Kerri, 1989):

– utóülepítő: 58–145 $kg/m^2 \cdot d$ (eleveniszapos rendszer),
– oldott levegős flotáció: 24,5–196 $kg/m^2 \cdot d$,
– iszapsűrítés: 24,5–98 $kg/m^2 \cdot d$.

Ha a felületi lebegőanyag-terhelés az alapul választott érték fölé kerül, az elfolyó szennyvíz lebegőanyag-koncentrációjának növekedése várható.

Az ülepítők tényleges hatékonyságának ellenőrzésére alkalmas paraméterek:

– a tartózkodási idő,
– a bukón való átfolyás mértéke,
– a felületi (hidraulikai) terhelés mértéke és
– a felületi lebegőanyag-terhelés.

A hatékonyság megbízhatóan csak a minták laboratóriumi analíziséből határozható meg: ha a laboratóriumi adatok gyengén üzemelő ülepítőre utalnak, a paraméterek számítását lehetővé tévő, egyszerű matematikai módszerek elősegíthetik *a probléma felismerését* (Herr és Kerri, 1989).

6.3. UTÓÜLEPÍTŐK

Az utóülepítők a biológiai tisztítási lépcső (csepegtetőtest, eleveniszapos medence) után, azzal szoros tisztítási egységet alkotva töltik be szerepüket.

6.3.1. CSEPEGTETŐTEST UTÁNI UTÓÜLEPÍTŐ

A csepegtetőtest utáni utóülepítő feladata a csepegtetőtestből kimosódó, rendszerint nagy BOI-tartalmú biológiai hártya ülepítése. A leülepedett iszap a *humusziszap*.

Az utóülepítőbeli tartózkodási idő közel azonos az előülepítő tartózkodási idejével. A felületi terhelés és az elfolyás mértéke az utóülepítő-iszap kisebb sűrűsége miatt általában kisebb.

Jellemző terhelési tartományok:

- tartózkodási idő: 2,0–3,0 óra,
- felületi hidraulikai terhelés: 1,5–2,0 $m^3/m^2 \cdot h$,
- átfolyás a bukón: 36–108 $m^3/m \cdot d$.

A humusziszap mennyisége a csepegtetőtest változó üzemelési feltételeinek megfelelően egyenetlen. Az üzemeltetési tapasztalatok szerint az előülepítőhöz képest, minthogy a csepegtetőtest ülepíthető iszapot hoz létre, kb. 30–40%-kal több iszapot kell az utóülepítőből szivattyúzni.

Az utóülepítő-iszap sajátosságai az előülepítő-iszapétól eltérnek: sokkal sötétebb színű, de nem szürke vagy fekete.

Fekete színű, ha az utóülepítőben a tartózkodási idő túl hosszú. Az ilyen iszap gyakoribb eltávolítást igényel.

Az iszap jól ülepíthető. Az ülepítést szagemisszió nem kíséri, vagy ha mégis, igen gyenge, feltételezve, hogy az utóülepítőből megfelelő időközökben eltávolítják az iszapot.

6.3.2. ELEVENISZAPOS MEDENCE UTÁNI UTÓÜLEPÍTŐ

Az eleveniszapos medence utáni utóülepítő nagyobb mennyiségű iszap ülepítésére hivatott, mert az eleveniszapos rendszerben több iszap keletkezik, mint a csepegtetőtestes rendszerben. A leülepedett iszapot viszonylag rövidebb tartózkodási idő alatt kell az eleveniszapos medencébe recirkuláltatni.

A terhelési tartományok:

- tartózkodási idő: 2,0–3,0 óra (csúcs-szennyvízhozamra vonatkoztatva),
- felületi hidraulikai terhelés: 0,7–1,2 m/h,
- felületi lebegőanyag-terhelés: < 2 $kg/m^2 \cdot h$.

Az iszapelvételt illetően szem előtt kell tartani, hogy az ülepítés mértéke az eleveniszap-sűrűség különbözősége miatt a medence fenekén eltérő.

A kb. 100-as Mohlmann-indexű (SVI) iszapok (8.2. fejezet) nagyobb hányada a radiális, központi táplálású medence középső fenékzónájában ülepszik le. Így *az iszap zöme az iszapzsomphoz közelebbi fenékzónából távolítandó el.*

A kb. 500-as Mohlmann-indexű (SVI) eleveniszapok zöme a radiális, központi táplálású medence *oldalfalhoz közelebbi fenékzónájában ülepszik le.* Így ebből a zónából több recirkulációs iszapot kell eltávolítani, mint a középen lévő fenékzónából. Ez az eset az iszapeltávolítás szempontjából kedvezőtlen, hiszen ekkor az egyes iszapeltávolító elemekhez jóval nagyobb fenékfelület tartozik.

A medence fenékzónájában lévő iszapréteg állapotát a recirkulációs iszapelvétel is befolyásolja. Az eleveniszapos medence normál üzemeltetésekor a recirkulációs iszap mennyisége a befolyó szennyvíz mennyiségének 10–50%-a. Ha az eleveniszapos medence üzeme felborul, 100%-nyi recirkulációs iszapra lehet szükség. Vigyázni kell azonban arra, hogy ilyenkor a recirkuláció mértéke az ülepítőmedence ülepítésviszonyait ne zavarja meg (a nagyfokú turbulencia vagy az egyenlőtlen iszapelvétel következtében).

Számos szennyvíztisztító telepen a fölösiszapot – mielőtt rothasztóba vagy víztelenítő rendszerbe szivattyúzzák – gravitációs vagy flotációs iszapsűrítéssel 3,0–4,5%-os szárazanyag-tartalmúra koncentrálják. Ha a fölösiszapot az előülepítőbe szivattyúzzák, nagy tisztítótelepeken egyre több nyers iszap keletkezik. Ha további nyers iszapot szivattyúznak a rothasztóba, az iszapvízben egyre több és több rothasztóbeli szilárd anyag kerül vissza a tisztítótelep elejére. Ennek következtében nagyobb mennyiségű eleveniszap képződik és a ciklus tovább folytatódik. Így iszapkezelési problémák keletkeznek, és az utóülepítőből elfolyó szennyvíz minősége romlik mindaddig, amíg a szilárd anyag keletkezésének okai megszűnnek.

A sokféle célú, kialakítású és üzemelésű ülepítők közül (az eddigiek alapján nyilvánvaló) *az üzemeltető számára az eleveniszapos rendszer utóülepítője a legkritikusabb, amely a legtöbb figyelmet igényli* (Herr és Kerri, 1989). Ezért az üzemeltetőnek az ülepítők (különösen az utóülepítők) szabályozásához megfelelő mérőeszközökre van szüksége, melyek birtokában a következő üzemeltetési jellemzők határozhatók meg:

1. Az iszapréteg felső szintje.
2. Az utóülepítőből elfolyó szennyvíz lebegőanyag-koncentrációja.
3. A recirkuláció szabályozása és ciklusai.
4. Az utóülepítőből elfolyó szennyvíz zavarossági szintje.
5. Az utóülepítőből elfolyó szennyvíz oldott oxigén koncentrációja, biokémiai oxigénigénye, ammónia–nitrogén (NH_3–N) koncentrációja.
6. pH-szint.

6.3.3. ISZAPELTÁVOLÍTÁS AZ ÜLEPÍTŐMEDENCÉBŐL

A kör alapú ülepítőmedence fenekére ülepedett iszapot folyamatosan el kell távolítani. A szeptikus állapot, különösen az előülepítőben, hamar létrejön, ha az iszapeltávolítás szabálytalan és túlzottan hosszú időközű. Az időköz számos tényezőtől függ, félórától 8 óráig tarthat. Egyes esetekben akár 24 óra is lehet. *Az időközök csak az üzemeltetési tapasztalatok alapján határozhatók meg.* A szeptikus állapotot az iszapgázosodás rögtön jelzi, amikor is gázbuborékok és iszapcsomók úsznak a szennyvíz felszínére *(23. ábra)*. A szeptikus iszapra a szag és a savas állapot jellemző.

Minél több sűrített iszapot távolítunk el az ülepítőből, az iszapvíz mennyisége annál kevesebb lesz. Az iszap – optimálisan 4–8 kg-os – szárazanyag-tartalma alapvetően befolyásolja az eltávolítandó iszap térfogatát és a rothasztó üzemét.

Az iszapot iszapkaparó-rendszerrel vagy elszívással távolítják el. A kaparóberendezést inkább az előülepítőbeli vagy a könnyebb iszapok eltávolításához alkal-

23. ábra. Gázbuborékok és felúszott iszap az utóülepítő felszínén

mazzák. A szívás a nagy mennyiségű, könnyű iszapok (eleveniszap) eltávlítására a legalkalmasabb (*24/a–b ábra;* Ames Crosta Mills and Co. Ltd. nyomán). Az eltávolítás módja azonban nem általánosítható – az eddigi üzemeltetési tapasztalatok szerint.

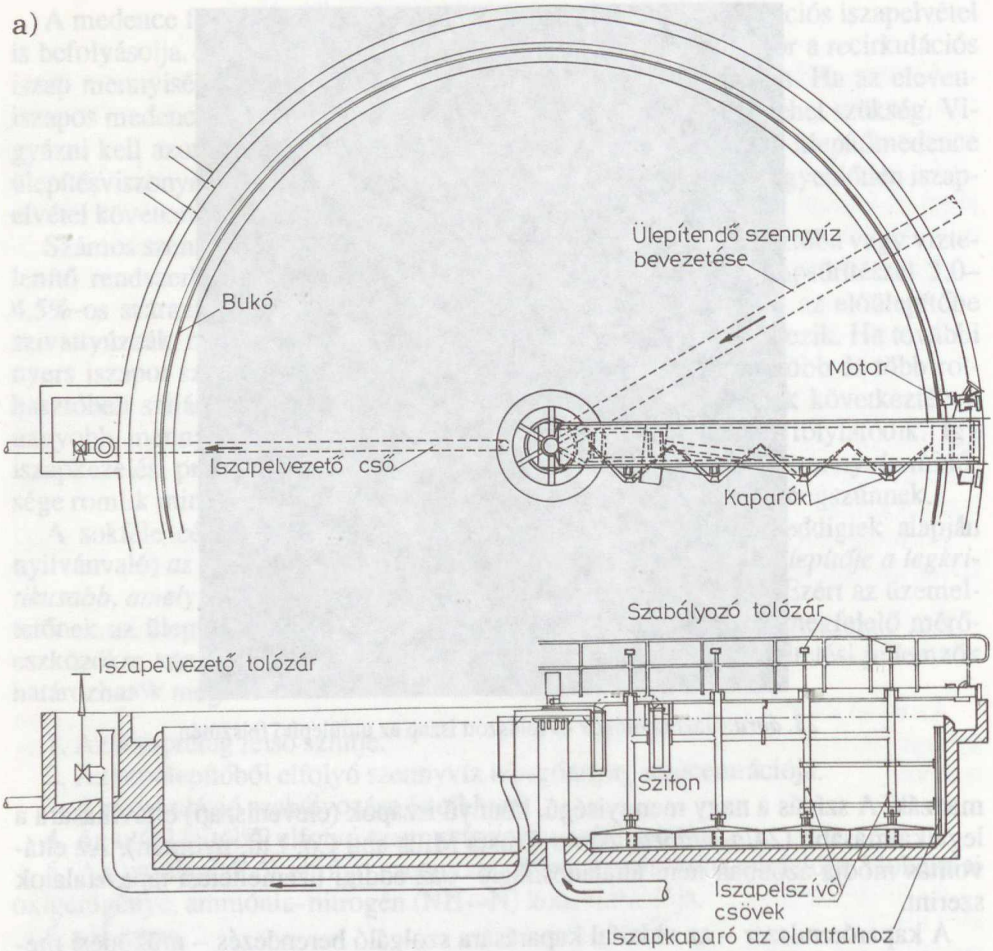
A kaparórendszer – az oldalfal kaparására szolgáló berendezés – működési mechanizmusára a *25. ábra* mutat példát (Ames Crosta Mills and Co. Ltd. nyomán).

A kaparó- és a szívóberendezések vagy központi pillérhez vagy körbeforgó hídberendezéshez kapcsolódnak. A hídszerkezet inkább a kisebb, a szívórendszert inkább a nagyobb átmérőjű medencékhez használják. A kaparóberendezés célszerű kerületi forgási sebessége előülepítőben 1,5–2,1 m/min. Az eleveniszapos rendszer utóülepítőjében csak 0,6–1,2 m/min sebesség engedhető meg. (A magyar előírások nagyobb értékeket engednek meg.)

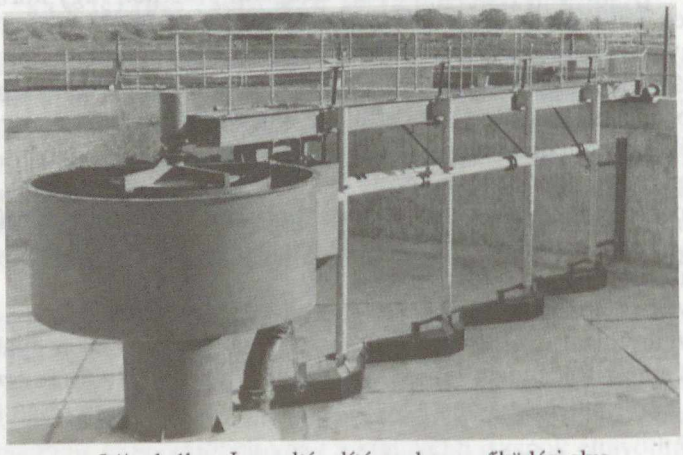
A felúszott iszap úszóiszap-elvezető berendezéssel távolítható el: kör alapú, kaparóberendezéses rendszerben az úszóiszapot a hídszerkezetre erősített radiális kaparólemez tereli a medence oldalához, az ottani elvezető berendezésbe (*26. ábra;* Ames Crosta Mills and Co. Ltd. nyomán).

A szivattyús iszapeltávolításnak lassan kell végbemennie, nehogy az iszappal együtt sok szennyvizet is el kelljen szívni. A szivattyúzás közben gyakran mintát kell venni, és annak fölös víztartalmát vizuálisan figyelni kell. (A megszívott ülepítők esetében a recirkulációs arány a kisebb szárazanyag-tartalom miatt többszörösre nő.)

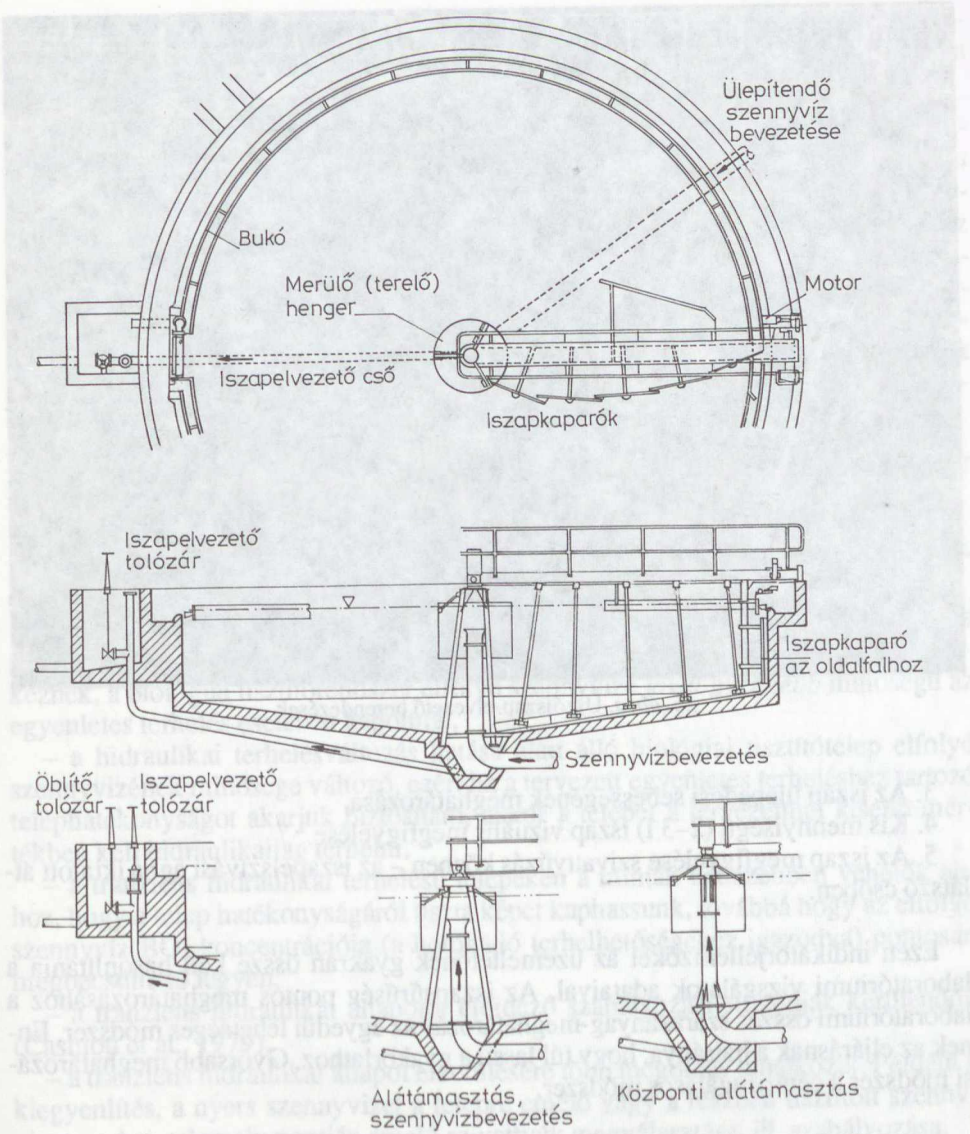
a)



b)



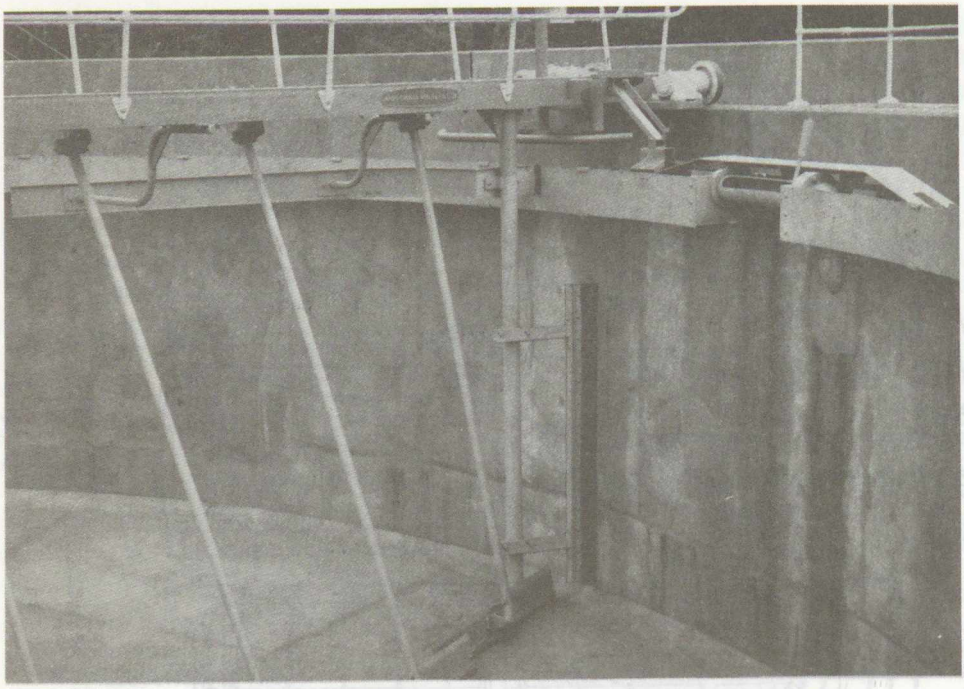
24/a–b ábra. Iszapeltávolító rendszer működési elve



25. ábra. Az iszapkaparó berendezés működési elve

Ha a minta híg iszapra utal, az elszívást le kell állítani. A híg és sűrű iszap meghatározására különböző *laboratóriumi analízis nélküli módszerek* léteznek (Herr és Kerri, 1989):

1. Az üzemelő iszapszivattyú hangjának megfigyelése: a szivattyú hangja sűrű, ill. híg iszap esetében rendszerint eltérő.
2. Nyomásmérő-leolvasás: sűrű iszap elszívásakor a szivattyú nyomóoldalán a nyomás, szívóoldalán a vákuum nagyobbá válik.



26. ábra. Úszóiszap-elvezető berendezések

3. Az iszap ülepedési sebességének meghatározása.
4. Kis mennyiségű (2–3 l) iszap vizuális megfigyelése.
5. Az iszap megfigyelése szivattyúzás közben – az iszapelszívási ágba iktatott átlátszó csőben.

Ezen indikátorjellemzőket az üzemeltetőnek gyakran össze kell hasonlítania a laboratóriumi vizsgálatok adataival. Az iszapsűrűség pontos meghatározásához a laboratóriumi összes szárazanyag-meghatározás az egyedül lehetséges módszer. Ennek az eljárásnak a hátránya, hogy túl lassú a gyakorlathoz. Gyorsabb meghatározási módszer a centrifugálásos módszer.

6.3.4. AZ UTÓÜLEPÍTŐ HATÉKONYSÁGÁNAK VÁLTOZÁSA TRANZIENS TERHELÉSEK HATÁSÁRA

A szennyvíztisztító telepen az állandósultnak feltételezett folyamatokkal szemben a gyakorlatban tranziens (átmeneti) folyamatok mennek végbe, amelyek befolyásolhatják az ülepítő hatékonyságát. Ilyenek:

– a szennyvíz koncentrációja,
– a szennyvíz minőségi összetétele,
– a telepre befolyó szennyvíz hozama,

– az üzemelési cselekmények, amelyek tranziens hidraulikai folyamatokat eredményeznek (a szennyvíz tisztítótelepre vezetése szivattyúzással, elfolyási vagy a recirkulációs hozamok változása).

A tranziens folyamatok hatása az utóülepítő elfolyó szennyvizének lebegőanyag-koncentrációja például a *27/a–c ábrán* értelmezhető (Chapman nyomán, 1985): *a* ábra: az utóülepítő válasza a befolyó szennyvízhozam *lépcsős csökkenésének* függvényében. A hozam 202 m^3/d-ről 144 m^3/d-re történő hirtelen csökkenésekor az elfolyó szennyvíz lebegőanyag-koncentrációja 49 mg/l-ről exponenciálisan 41 mg/l-re, gyakorlatilag állandósult értékre csökken; *b–c* ábra: az utóülepítő válasza a befolyó szennyvízhozam lépcsős növelésének függvényében. A két válaszgörbe azonban egymástól eltérő jellegű. A *c* ábrán tetemes lebegőanyagkoncentráció-csúcsok jelentkeznek, a maximális tranziens érték 74 mg/l.

Az üzemeltetési tapasztalatok az *a, b* és *c* ábra esetében:

– az utóülepítő válasza a betáplálás lépcsős növekedésekor *gyorsabb*, mint a betáplálás lépcsős csökkenésekor,

– a válaszgörbe alakja a lépcsős betáplálás növelésekor változékonyabb,

– a *turbulencia* az utóülepítőben gyorsabban jön létre, mint amilyen ütemben kioltódik (Crosby et al., 1980),

– tekintettel arra, hogy az utóülepítő válasza a hidraulikai terhelésváltozásokra nem lineáris kapcsolatú, továbbá hogy lebegőanyagkoncentráció-csúcsok jelentkeznek, a biológiai tisztítórendszer elfolyó szennyvize *jóval gyengébb* minőségű az egyenletes terhelés esetében kapottnál,

– a hidraulikai terhelésváltozás hatása alatt álló biológiai tisztítótelep elfolyó szennyvizének minősége változó, ezért ha a tervezett egyenletes terheléshez tartozó telephatékonyságot akarjuk biztosítani, akkor a telepet a tervezettnél kisebb mértékben kell hidraulikailag terhelni,

– a tranziens hidraulikai terhelésű telepeken a minták nehezebben vehetők ahhoz, hogy a telep hatékonyságáról tiszta képet kaphassunk, továbbá hogy az elfolyó szennyvíz BOI-koncentrációja (a befogadó terhelhetőségéhez igazodva) pontosan megbecsülhető legyen,

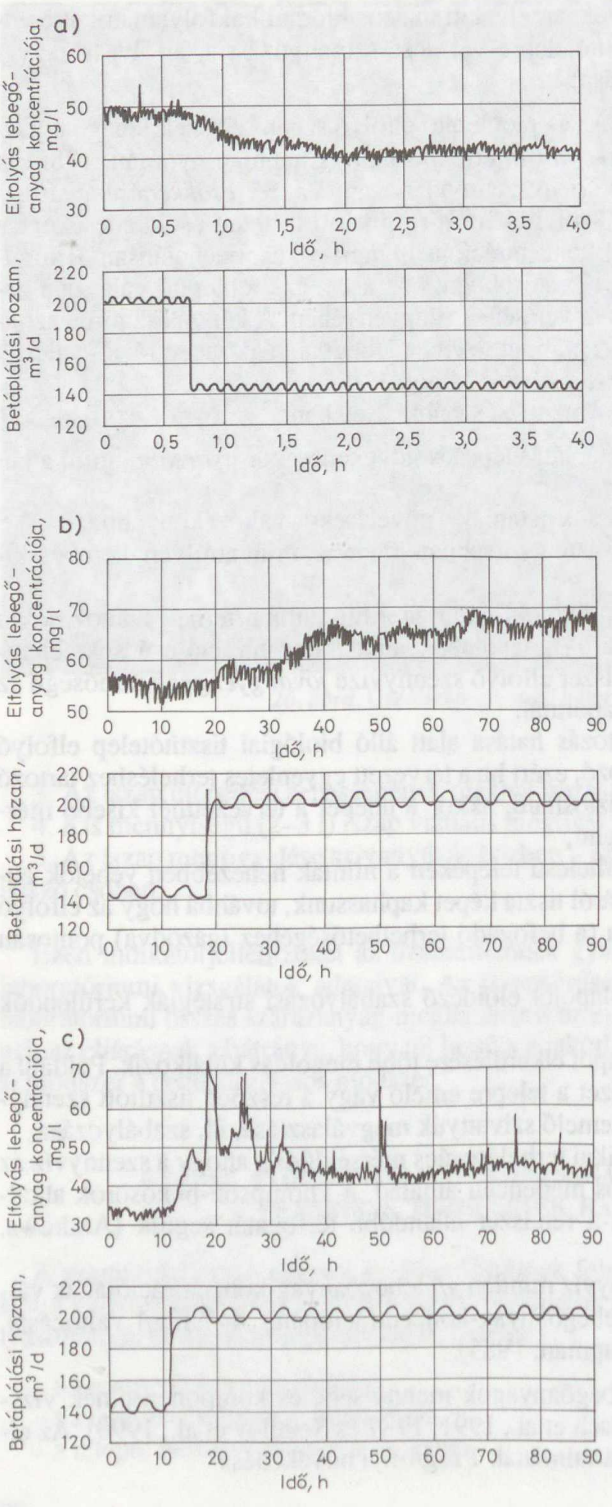
– a tranziens hidraulikai állapotot előidéző szabályozási stratégiák kerülendők (Cashion et al., 1979),

– a tranziens hidraulikai állapot elkerülésére több megoldás kínálkozik. Például a kiegyenlítés, a nyers szennyvizet a telepre emelő vagy a részben tisztított szennyvizet a telep valamely pontján emelő szivattyúk megválasztása, ill. szabályozása,

– bizonyos mértékű hidraulikai terheléscsúcs mérséklődik, ahogy a szennyvíz az előülepítőn és az eleveniszapos medencén áthalad, a Thompson-bukósorok alkalmazása az elfolyási helyeken a rendszer állandóbb térfogatát segítik (Andrews, 1974),

– az utóülepítőbe jutó szennyvíz minden g/l lebegőanyag-koncentrációjának változása az elfolyó szennyvíz lebegőanyag-koncentrációjának 4–7 mg/l változását, növekedését eredményezi (Chapman, 1985).

Az utóülepítőből távozó lebegőanyagok mennyisége és komponenseinek vizsgálata alapvető fontosságú (Resch et al., 1991, 1987 és Sekulov et al., 1990). Az elfolyó szennyvíz szárazanyag-tartalmának 1 mg/l-nyi növekedése



27/a–c ábra. Az utóülepítő elfolyó szennyvizének lebegőanyag-koncentrációja a befolyó szennyvízhozam tranziens állapota esetében.
a: a betáplálás lépcsősen csökkent; *b–c:* a betáplálás lépcsősen növekedett.
A válaszgörbék jellege egymástól eltérő

0,3 –1,0	mg/l BOI_5,
0,8 –1,6	mg/l KOI,
0,08–0,10	mg/l összes-N,
0,02–0,04	mg/l összes-P

növekedéssel jár. Így például 20 mg/l szárazanyag-koncentráció esetében befogadóterhelés becsült komponenstartományai:

6,0–20,0	mg/l BOI_5,
16,0–32,0	mg/l KOI,
1,6– 2,0	mg/l összes-N,
0,4– 0,8	mg/l összes-P.

Az üzemeltetőnek tudatában kell lennie annak is, hogy az ülepítők hatékonyságát számos tényező befolyásolja:

1. A szennyvízben lévő szennyező anyagok fajtái, különösen ha jelentős az ipari szennyvízhányad.
2. A szennyvíz kora (a gyűjtő csatornahálózatbeli tartózkodási idő), a tisztítótelep elérésekor. (A hosszú kor általában szeptikus állapottal jár együtt, a szennyvíz nehezebben ülepíthető, mivel gázbuborékok képződnek, amelyek a lebegőrészecskékhez tapadva, azok szuszpenzációban maradását vagy felúszását segítik.)
3. A hidraulikai terhelés változása.
4. Az iszapelvétel módjai, ciklusai, mértéke.
5. Az előülepítőbe visszavezetett szuszpendált részecskék nem ülepíthetők ki maradéktalanul. (Ez azonban az eleveniszapos medence szempontjából kedvező is, hiszen a recirkulációs iszap zöme az eleveniszapos medencébe kell hogy kerüljön.)

A visszavezetés forrásai:

– recirkulációs iszap,
– rothasztó iszapvize,
– iszapkezelő berendezések iszapvizei,
– depóniák szennyezett drénvizei.

Ha a laboratóriumi analízisek jelzik, hogy az ülepítő hatékonysága átmenetileg vagy tartósan kedvezőtlen, az üzemzavarok okait fel kell deríteni és kiküszöbölésük módjait meg kell határozni.

6.4. ABNORMÁLIS ÜZEMELÉSI ÁLLAPOTOK

Az ülepítők hatékonyságát számos *belső* (6.3.4. fejezet) és *külső* (input) tényező befolyásolhatja. Ezek együttesen, önállóan vagy kombinációkban jelentkezhetnek. Az ülepítők hatékonyságát, az üzemelési zavarokat és azok kiküszöbölési módjait tehát *nem lehet csupán az ülepítőbeli hidraulikai vagy a folyamatmechanizmusok alapján elemezni*, hanem az (elő-, ill. utóülepítőre vonatkozó) *input adatok egyidejű figyelembevétele is követelmény*. Ez azt jelenti, hogy nemcsak a tisztítórendszer adatait, hanem a nyers szennyvíz minőségét képviselő input adatokat és a csatornarendszer-üzemeltetés input adatsorait is, tehát meglehetősen nagy számú paraméterkapcsolatot kell (ma még inkább kellene) megfelelő szinten tisztázni.

Az abnormális üzemelés fő okai:

1. A *csatornahálózatban* a szeptikus állapot elsősorban
– a csatornákban akkumulálódó iszap,
– a hosszú tartózkodási idő és a
– magas hőmérséklet következtében jön létre (Öllős, 1990). Ilyen esetben a szennyvíztisztító-telepi kiegyenlítő medence, a szivattyútelepen adagolt klór vagy hidrogénperoxid segítheti a szeptikus (anaerob) állapot megszüntetését.

2. Csapadékvízből származó hidraulikai túlterhelés.
Ez a hatás általában a csatornahálózaton belüli csapadékvíz-tározók beiktatásával oldható meg (Öllős, 1990). A felszín alatti víz infiltrációja, ill. annak változása – a csatornahálózatban transzportálódó keverékszennyvíz mennyiségének fluktuálását okozva – például az előülepítő hidraulikai terhelését kedvezőtlenné teheti.

3. Az ipari szennyvizek egy része olyan toxikus anyagokat tartalmaz, amelyek a tisztítótelep üzemét felborítják. Ilyenkor a toxikus forrásokat kell először felderíteni és megszüntetésükről gondoskodni kell (3. fejezet). Az ülepítőhatékonyság gyengülésének elkerülése érdekében

– *csatornahasználati szabályzatot kell megalkotni és annak betartását ki kell kényszeríteni,* továbbá
– *előzetes ipari tisztítási programot kell létrehozni és annak hatékonyságát rendszeresen ellenőrizni kell.*

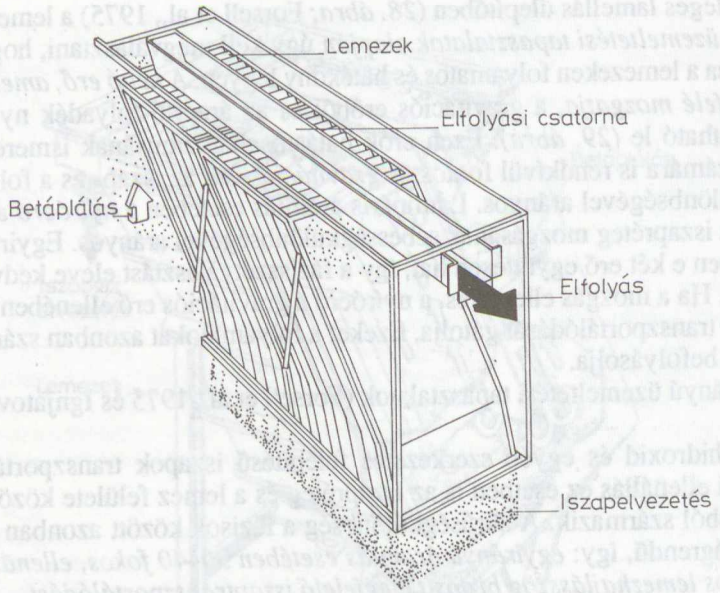
Ezeken túlmenően az üzemeltető számára megfelelő monitorlehetőségeket, mérőeszközöket és kemikáliák adagolásának lehetőségeit kell biztosítani.
A toxikus hatások ellen azonban a szennyvíztisztító telepen is lehet védekezni – bizonyos üzemi módosítások bevezetésével.
Például:

– a csepegtetőtestes rendszerben a recirkulációs arány növelésével a toxikus szennyvíz hígítható, ami közvetett úton az utóülepítő üzemét is kedvezőbbé teheti,
– eleveniszapos rendszerben az üzemelés módját módosítani lehet: kontakt stabilizációs vagy lépcsős levegőztetésű rendszert célszerű létrehozni. Így a toxikus hatások csak a baktériumok egy részét érik. A toxikus iszapot a rothasztóba nem szabad bejuttatni, ezenkívül annak hasznosítása sem engedhető meg. Amennyiben a környezeti feltételek megengedik, a toxikus iszapot feltöltésbe kell helyezni.

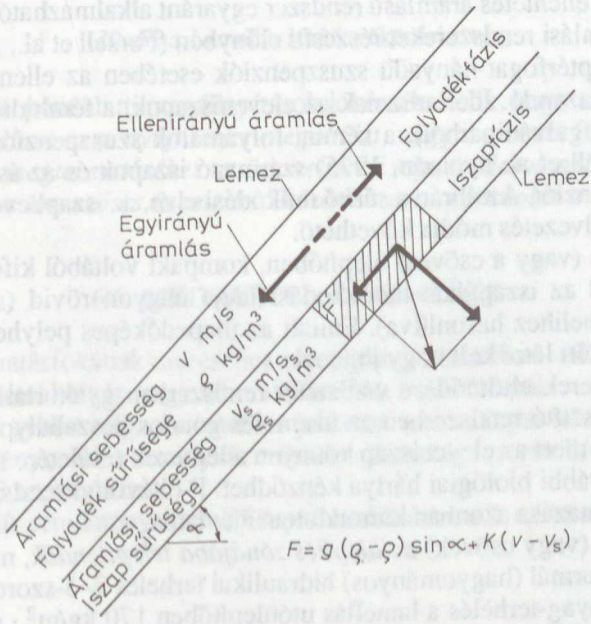
6.5. LAMELLÁS ÜLEPÍTŐK

A lamellás ülepítő a hagyományos ülepítés (6.1. fejezet) hátrányait hivatott kiküszöbölni azáltal, hogy általa nagy felületi és/vagy térfogati igény csökkenthető, az ülepítés hatékonysága pedig növelhető.
A lamellás ülepítőben az elméletileg rendelkezésre álló *ülepítőfelület* a teljes ülepítőteret részterekre osztó *lejtős lemezek vízszintes vetületeinek összege.*
A nagy fajlagos ülepítőfelület eléréséhez minél kisebb kell legyen:

– a lemezek vízszintes iránnyal bezárt hajlásszöge és
– az egyes lemezek közötti merőleges távolság.



28. ábra. Lamellás ülepítő működési elve

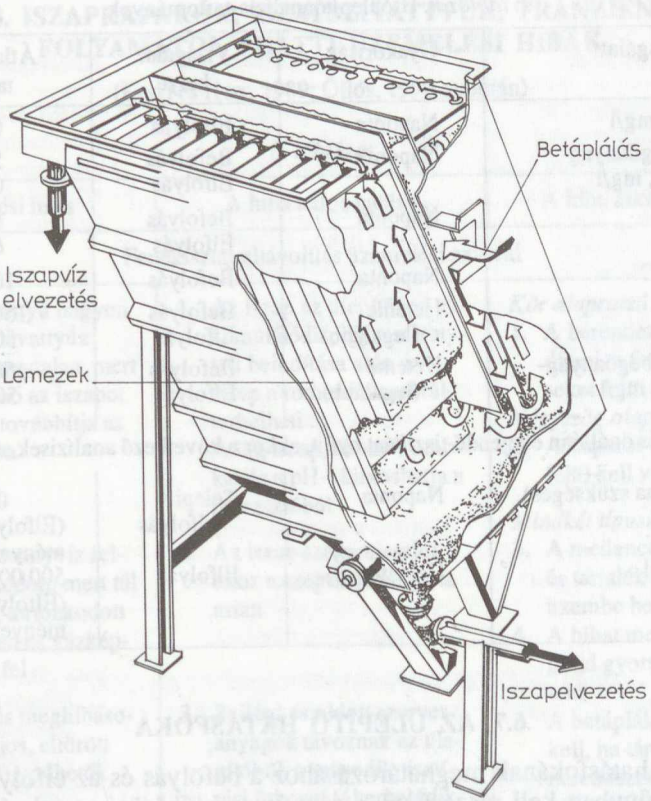


29. ábra. Az iszaprétegre ható erők értelmezése lamellaközben

A tényleges lamellás ülepítőben (*28. ábra;* Forsell et al., 1975) a lemezek hajlásszögét *az üzemeltetési tapasztalatok alapján* úgy kell megválasztani, hogy az iszap szeparálása a lemezeken folyamatos és hatékony legyen. *A nettó erő, amely az iszapréteget lefelé mozgatja,* a gravitációs erőből és az áramló folyadék nyíróerejéből származtatható le *(29. ábra).* Ezen erők hatásmechanizmusának ismerete az üzemeltető számára is rendkívül fontos. *A gravitációs erő* az iszap- és a folyadékfázis sűrűségkülönbségével arányos. Lamináris áramlás esetében a *nyíróerő* a folyadékfázis és az iszapréteg mozgásának sebességkülönbségével arányos. Egyirányú mozgás esetében e két erő együttesen hat, így a fázisszétválasztást eleve kedvezően befolyásolja. Ha a mozgás ellentétes, a nyíróerő a gravitációs erő ellenében hat, vagyis az iszap transzportálódását gátolja. Ezeket a folyamatokat azonban számos egyéb tényező is befolyásolja.

Ilyen irányú üzemeltetési tapasztalatok (Forsell et al., 1975 és Ignjatović, 1991):

1. Fémhidroxid és egyéb szerkezetes felépítésű iszapok transzportálódásakor a súrlódási ellenállás ez esetben is az iszapréteg és a lemez felülete közötti csúszási súrlódásból származik. A sűrűségkülönbség a fázisok között azonban most azonos nagyságrendű, így: *egyirányú áramlás esetében 30–40 fokos, ellenáramláskor 55–60 fokos lemezhajlásszög biztosít megfelelő iszaptranszportálódást.*
2. Ha a betáplált szennyvíz csak néhány százaléknyi, az áramlási ellenállás kicsi lévén, egyirányú áramlás esetében a felületi hidraulikai terhelés nagyobb lehet, kisebb lemeztávolságnál is, mint ellentétes áramlásnál.
3. Az egyirányú áramlási elv különösen előnyös akkor, ha nagy a folyadék áramlási sebessége.
4. Nehéz, diszperz eloszlású iszapok és kis iszaptérfogati hányad esetében az egyirányú és az ellentétes áramlású rendszer egyaránt alkalmazható. A gyakorlat az ellenirányú áramlási rendszereket részesíti előnyben (Forsell et al., 1975).
5. Nagy iszaptérfogat-hányadú szuszpenziók esetében az ellenirányú áramlási rendszer alkalmazandó. Ide tartoznak az eleveniszapok, a fémhidroxidok (pácolóüzemekből és a galvániparból), a kémiai folyamatok szuszpenzióinak sűrítéséből (*30. ábra;* Forsell et al. nyomán, 1975) származó iszapok és az ásványfeldolgozó üzemek szuszpenziói. Az ábrán a sűrítő működési elve, az iszapbevezetés, az iszapvíz- és az iszapelvezetés módja követhető.
6. A lamellás (vagy a csöves) ülepítőben, kompakt voltából kifolyólag, mind a folyadék-, mind az iszapfázis tartózkodási ideje nagyon rövid (a hagyományos ülepítőmedencebelihez hasonlítva). Emiatt az ülepedőképes pelyhek már a szeparálótérbe jutás előtt létre kell hogy jöjjenek.
7. A lamellaterek eltömődése víztisztító rendszerben gyakorlatilag nem fordul elő. Szennyvíztisztító rendszerben az üzemelés gondos beszabályozása különösen elengedhetetlen, mert az eleveniszap könnyen a lemezek felületére tapad és a lemezek felületén további biológiai hártya képződhet. P-eltávolító rendszerben a lamellás ülepítő alkalmazása azonban kimondottan ajánlatos.
8. A lemezek (vagy csövek) *az ülepítés zónájába telepítendők,* miáltal a hidraulikai terhelés a normál (hagyományos) hidraulikai terhelés 2–3-szorosa is lehet.
9. A lebegőanyag-terhelés a lamellás utóülepítőben 170 kg/m^2 · d nagyságrendnél nem lehet nagyobb.



30. ábra. Lamellás sűrítő működési elve

Az előbbi 1–9. pont alatti megállapítások jól érzékeltetik, hogy *számos esetben a tervezés önmagában nem nyújt teljes megoldást, vagyis a tisztítóberendezés optimális üzemének megteremtéséhez az üzemeltetési tapasztalatok nélkülözhetetlenek. Ezért szükséges a tervező és üzemeltető közötti szoros kapcsolat a beüzemelés időszakában.*

6.6. MINTAVÉTEL ÉS ANALÍZIS

Az ülepítők hatásfokának méréséhez reprezentatív mintákra van szükség. A vett minták a mintavétel helyén vagy laboratóriumban analizálhatók.

A mintavétel gyakorisága, az analízis jellemző tartományai telepről telepre változnak. A ható tényezők: a szennyvíz erőssége, frissesége, a vízellátás jellemzői, az időjárás, az ipari szennyvizek.

Jellemző analíziseredmények az előülepítő hatásfokára a 7. *táblázat*ban találhatók.

7. táblázat. Utóülepítőanalízis-tartományok

Vizsgálat	Gyakoriság	Vizsgálat helye	Átlagos értéktartomány
Oldott oxigén, mg/l	Naponta	Elfolyás	0 – 2
Ülepíthető lebegőanyag-koncentráció, mg/l	Naponta	Befolyás Elfolyás	5 – 15 0,3– 5
pH	Naponta	Befolyás Elfolyás	6,5– 8,0 6,5– 8,0
Hőmérséklet, °C	Naponta	Befolyás	10 – 30
BOI_5, mg/l	Hetente (legalább)	Befolyás Elfolyás	150 –400 50 –150
Szuszpendált lebegőanyag-koncentráció, mg/l	Hetente (legalább)	Befolyás Elfolyás	150 –400 50 –150
Ha az előülepítés önállóan elegendő tisztítást nyújt, akkor a következő analízisek szükségesek:			
Klórmaradék (ha szükséges), mg/l	Naponta	Telepi elfolyás	0,5–3,0 (Elfolyás követelményeitől függően)
Coliform/100 ml	Hetente	Elfolyás	500 000–100 000 000 (Elfolyás követelményeitől függően)

6.7. AZ ÜLEPÍTŐ HATÁSFOKA

Az ülepítő hatásfokának meghatározásához a befolyás és az elfolyás mintázása szükséges. Előnyben kell részesíteni *a szabályos időközökben* (pl. óránként, kétóránként, 24 órán át) *vett mintákat.* A hatásfok ismeretében a folyamat rendszerint szabályozható. A hatásfok-meghatározás fő célja az elfolyás minősítése.

Az előülepítő jellemző tisztítási hatásfokai (%) a különböző komponensekre:

Ülepíthető lebegőanyagok	90–99
Szuszpendált lebegőanyagok	40–60
Összes lebegőanyag	10–15
BOI_5	20–50
Baktériumok	25–75

Példa. Az előülepítő BOI_5-re (és valamennyi, előzőekben felsorolt komponensre) vonatkozó tisztítási hatásfoka a következő elv szerint számítható:

$BOI_{5,\text{Befolyás}} = 250$ mg/l, $BOI_{5,\text{Elfolyás}} = 150$ mg/l.

$$\text{Hatásfok, \%} = \frac{\text{Befolyás} - \text{Elfolyás}}{\text{Befolyás}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{250 - 150}{250} \cdot 100 =$$

$$= \frac{100}{250} \cdot 100 = 0{,}40 \cdot 100 = 40\%.$$

6.8. ISZAPKAPARÓK, ISZAPSZIVATTYÚK, TRANZIENS FOLYAMATOK MIATTI ÜZEMELÉSI HIBÁK

(Kerri és Herr, 1989; Öllős, 1990 nyomán)

8. táblázat

Üzemelési hiba	A hiba káros hatása	A hiba kiküszöbölése
Fenékiszap-eltávolítás üzemelési zavarai		
1. Az iszapszivattyú nagyon híg iszapot szivattyúz Az üzem bizonytalan, mert az iszapkaparó az iszapot tökéletlenül továbbítja az iszapzsompba	1. Az iszap az ülepítőben akkumulálódik, így a szivattyú beindítása után az iszap a rothasztóteret túlterhelheti A híg iszap a baktériumokat és a pH-t kimoshatja a rothasztóból	*Kör alaprajzú medence* 1. A berendezést újra kell indítani, a forgó berendezéseket felül kell vizsgálni *Négyszög alaprajzú medence* 2. A kaparót és a motort felül kell vizsgálni
2. Az iszap a szennyvíz felszínére flotálódott, mert túl hosszú ideig tartózkodott a medencében és gázképződés lépett fel	2. Az iszap szagemissziót okoz a szeptikus állapota miatt	*Mindkét típusú medence* 3. A medencét le kell állítani és tartalék ülepítőt kell üzembe helyezni (ha van) 4. A hibát meg kell keresni, majd gyorsan ki kell javítani
3. A berendezés meghibásodik, leáll, zajos, eltörött alkatrészek figyelhetők meg	3. Szilárd és oldott szerves anyagok távoznak az ülepítőből, a második tisztítási fokozat túlterhelődik	5. A betáplálást csökkenteni kell, ha tározótér a csatornarendszerben rendelkezésre áll, majd gyors javításra van szükség *Megelőző intézkedések* 1. Ellenőrizni kell a terhelést, és meg kell határozni, miért akadt el a mechanizmus 2. Rendszeres ellenőrzés szükséges 3. Megelőző fenntartásokat kell beiktatni
Az iszapszivattyú hibái		
1. A szivattyú nem szivattyúz A meghibásodást leégett motor vagy elektromos probléma okozza	1. Az iszap a medencében tározódik Miután a berendezés üzembe helyezése megtörtént, az iszap a rothasztót túlterhelheti	1. Szivattyú ellenőrzése, elektromos vezetékek ellenőrzése 2. Ellenőrizni kell a szelepeket a csővezetéken 3. A hiba felderítése, javítása 4. Ha lehetséges, a hiba kijavításáig tartalékszivattyú üzemeltetendő

8. tábl. folyt.

Üzemelési hiba	A hiba káros hatása	A hiba kiküszöbölése
2. Az iszap a szennyvíz felszínére úszik, mert azt a szivattyú nem szívta el a medencéből, és gázműködés indul meg	2. Az iszap szagemissziót okoz (a nagymértékű szeptikus állapot miatt) 3. A felhasználódott iszap miatt a bukón elfolyó szennyvízben lebegőanyag távozik el Egyéb folyamatok is felborulnak 4. A rendszeres lebegőanyag-betáplálás vagy a rothasztóba táplálás megszakadása	*Megelőző intézkedések* 1. Rendszeres felügyelet szükséges 2. Megelőző fenntartást kell beiktatni
Toxikus szennyvíz hatása		
1. A befolyó szennyvíz színe 2. Magas vagy alacsony pH 3. Iszapfelúszás 4. Szagok	1. A szennyvízben, az iszapban és a befogadóban az organizmusok elhalnak 2. A szennyvízelvezetés és/vagy újrahasználat követelményei lehetséges, hogy nem teljesíthetők	1. Ha az iszaptoxicitás szintje magas, egy vagy több üzemkorrigálás válhat szükségessé: a) a betáplálás a rothasztóba mérséklendő, b) az iszap (lehetőleg víztelenített) tartálykocsiba szivattyúzandó és feltöltésbe helyezendő, c) a toxikus iszap, ha lehet, neutralizálandó *Megelőző intézkedések* 1. Telepi befolyás pH-regisztrálása 2. Ipari szennyvízkibocsátás regisztrálása
Tranziens folyamatokból eredő hibák (6.3.4. fejezet)		
1. Az előülepítőben szeptikus állapot jelentkezik	1. Az oldott oxigén koncentráció csökken 2. Gázbuborékok úsznak fel a szennyvíz felszínére	1. Az érkező nyers szennyvíz szeptikus állapotának megszüntetése
2. Az előülepítő időszakosan hidraulikailag túlterhelt	1. Az előülepítő hatásfoka változik, csökken	1. Az egyesített csatornarendszerben lefolyásszabályozás valósítandó meg

8. tábl. folyt.

Üzemelési hiba	A hiba káros hatása	A hiba kiküszöbölése
		2. A recirkulációs hozam (nagy körös rendszerben) szabályozandó 3. Kiegyenlítés a tisztítótelep elején 4. Tisztítótelepi szivattyúzások helyes megválasztása
3. Az utóülepítő időszakosan túlterhelt	1. Az előülepítő hatásfoka változik	1. A lebegőanyag-terhelést, a hidraulikai terhelést és az iszapelvételt megfelelő szabályozási stratégiával kell normalizálni 2. Az utóülepítő és az eleveniszapos medence között az eleveniszap-mérleg egyensúlya biztosítandó 3. Thomson-bukósorok létesítése előnyös

6.9. SZENNYVÍZTISZTÍTÓ-TELEPI ÜLEPÍTŐK ÜZEMELTETÉSI ZAVARAI, A ZAVAROK OKAI, AZ OKOK FELISMERÉSE ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSE

(Keresztúri, 1992; Solti, 1992; Szilágyi, 1992; Culp és Heim, EPA, 1978; Hajós, 1993; Szombati, 1993)

9. táblázat

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Hosszanti átfolyású ülepítő			
Kotróhíd kisiklása	Kétoldali hajtómű sebességkülönbsége		„Villamos tengely" létesítése, kettős nyomkarima alkalmazása
	Vezetősínek nem párhuzamosak		Ellenőrzés, beállítás, kettős nyomkarima alkalmazása
Kotróhíd befeszülése, leállása	l. előző mód		l. előző mód
Kotróhíd leállása	Hajtómű- vagy motorhiba		Hibás alkatrész cseréje
	Végálláskapcsoló, vészhelyzet-érzékelő meghibásodása		

9. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	Sugárirányú átfolyású ülepítő (Dorr-típusú)		
Iszapelvezető cső dugulása sűrű anyaggal	Homokfogó nem megfelelően üzemel	Szárazanyag (szerves/ásványi) meghatározása	
Iszapelvezető cső dugulása filcelődéstől	Rács duzzasztása nagy	Mérés	Duzzasztás tervezett mértékre állítása
Iszapfelúszás	Pangó víz a csatornahálózatban	Spitta–Weldort-próba a beömlésnél	A csatornaduzzasztás megszüntetése
	Túloxidáció a levegőztetőben	Levegőztetőben oldott O_2-tartalom és szerves-anyagtartalom-mérés	Oldott O_2 beállítása
	Holtterek kialakulása miatti pangás	Szemrevételezés, mérés	Holtterek megszüntetése
Iszap elúszása a tisztított vízzel	l. előző	l. előző	Optimális érékekre történő beállítás
Az uszadék nem távolítható el	A kimosószivattyú hibája	Mérés, szemrevételezés	A szivattyú működésének ellenőrzése, szükség szerint javítása A mosóvezeték ellenőrzése, a dugulás megszüntetése Ha a hiba 1–2 órán belül nem hárítható el, akkor az érintett medencét ki kell iktatni
Olajszennyezés jelenik meg az ülepítő felületén	Valamelyik szennyvízbebocsájtó magas olajtartalmú szennyvizet engedett a csatornahálózatba	Szemrevételezés	Perlitszórással elősegített lefölözés
Kotróhíd leállása	Az elektromos vagy az automatika-rendszer (vezetékszakadás, biztosíték, hőkioldó stb.) meghibásodása	Mérés, szemrevételezés	Javítás elvégzése, alkatrészcsere
	Hajtómű, tengelykapcsoló, hajtólánc, hajtott- és hordozókerék-meghibásodás Királytengely vagy csapágy törése	Időszakos leürítéssel víz alatti szerkezetek vizsgálata	Hibás elemek cseréje, beállítása, rendszeres TMK

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

9. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	Iszapterelő szerkezet támasztókerekeinek meghibásodása, áramleszedő kopása		
A mammutszivattyú nem emeli ki az iszapot	Dugulás a csővezetékben, vagy a levegőellátó rendszer (kompresszor, levegővezeték) meghibásodott	Szemrevételezés	Ellenőrizni kell a csővezetéket Az esetleges dugulás megszüntetése Meg kell győződni, hogy a kompresszor működik-e, szükség szerinti javítás, ki kell deríteni, hol szökik el a levegő, annak megszüntetése
A kotróhíd nem áll meg	Végálláskapcsoló nem működik	Szemrevételezés	A hibás alkatrészt ki kell cserélni
Uszadékelvezető dugulása	Nagyobb mennyiségű felúszás	Szemrevételezés	Kézi tisztítás, mosatás (esetleg meleg vízzel)
Iszapelvezető csövek dugulása, osztóhenger és Stengel-fejek zsírosodása	A szennyvíz magas ülepedőanyag-tartalma, homokfogó nem megfelelő működése		Medenceürítés, -tisztítás
Kerék tömörgumi futófelületének kikagylósodása	Nyírási igénybevétel (ha a kerék forgási tengelye nem metszi a híd forgási tengelyét, fokozottan jelentkezik)		Csere, utána jó beállítás
Kerék tömörgumi futófelületének elválása az acélváztól	Vulkanizálási hiba		Csere
Hídpályabeton kopórétegének összetöredezése	Rossz betonminőség, rosszul kialakított dilatáció		Megfelelő teherbírású új réteg felvitele (célszerűen műanyagbetonból)
	Előülepítő		
Nagy mennyiségű uszadék a felszínen	Uszadékterelő rossz kialakítása, elvezető rendszer dugulása		Átalakítás Tisztítás, visszamosatás
Iszapfelúszás (részletesen a 8. fejezetben)	Iszaplebontódás az előülepítőben		Iszap gyakoribb vagy nagyobb mértékű eltávolítása

9. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	Kaparók kopottak vagy meghibásodtak	Kaparók vizsgálata	Javítás, cserélés
	Nitrifikált eleveniszap recirkulációja	Utóülepítő-elfolyás nitrátkoncentrációja	Recirkulációs iszap korának változtatása, recirkuláció időpontjának változtatása
	Iszapelvételi vonal eldugulása	Iszapszivattyú-hozam	Iszapvonal tisztítása ellenáramoltatással
	Sérült vagy hiányzó bevezető terelőfal, ill. terelőelemek	Terelőfal, terelőelemek	Terelőfal, terelőelemek javítása, cseréje
Fekete és bűzös, szeptikus szennyvíz (részletesen a 8. fejezetben)	Iszapgyűjtők kopottak vagy meghibásodtak	Iszapkaparók vizsgálata	Javítás vagy csere
	Helytelen iszapeltávolítási szivattyúzási ciklusok	Iszapsűrűség	Szivattyúzási ciklusok gyakoriságának és tartósságának növelése mindaddig, amíg az iszapsűrűség elfogadhatatlanul alacsony értékre csökken
	Szerves ipari szennyvizek elégtelen előtisztítása	Előtisztítási gyakorlat	A szennyvíz előlevegőztetendő
	A szennyvíz a csatornahálózatban lebontódik	Tartózkodási idő és az áramlási sebesség ellenőrzése a csatornahálózatban	Klórozás a csatornahálózatban
	Különösen erős rothasztó-iszapvíz recirkulációja	Rothasztó-iszapvíz minősége és mennyisége	Recirkuláció előtti előtisztítás biztosítása, vagy a recirkuláció mértékének mérséklése
	Iszapelszívó-vonal eltömődött	Iszapszivattyú-hozam	Iszapvonal tisztítása
Az iszapot nehéz eltávolítani az iszapzsompból	Nagymennyiségű homok, agyag és egyéb könnyen tömörödő anyagok	Homokfogóüzem	Homokfogó üzemének javítása
	Kis sebesség az elszívóvonalakban	Iszapeltávolítás sebessége	A sebesség az iszapelszívó-vonalakban növelendő

9. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	Vezeték vagy szivattyú eltömődött		Eltömődött vezetékek visszaöblítése és az iszap gyakoribb szivattyúzása
Elfogadhatatlanul alacsony iszaplebegőanyag-tartalom	Hidraulikai túlterhelés	Befolyási szennyvízhozam	Egyenletesebb hozameloszlás a medencékben (ha több is van)
	Rövidzárlat	Festés vagy egyéb jelzőanyag	Bukó helyzetének módosulása Merülőfal javítása vagy cseréje
	Az iszap túlzott mértékű szivattyúzása (részletesen a 8. fejezetben)	Iszapszivattyúzás gyakorisága Lebegőanyag-koncentráció	Szivattyúzási ciklusok gyakoriságának és tartósságának mérséklése
Visszaduzzasztást okozó áramlás	Gyenge befolyásszivattyúzási program	Szivattyúzási ciklus	Szivattyúzási ciklus módosítása
Nagymértékű hártyabevonat a felületeken és a bukókon	A szennyvíz lebegőanyagainak akkumulációja, majd hártyaképződés	Felületek ellenőrzése	A felületek gyakori és alapos tisztítása
		Utóülepítő	
Iszapfelúszás a szennyvíz felszínére	Felfúvódott iszap Fonalas, nem fonalas iszapfelfúvódás (részletesen a 8. fejezetben)	Iszaptérfogati index (SVI) Ha SVI<100, az ok nem valószínű Mikroszkópi vizsgálatok (részletesen a 8. fejezetben)	Oldott oxigén koncentráció növelendő, ha az <1 mg/l pH növelése 7-re A tápanyaghiány pótlása olyan mértékig, hogy a BOI/tápanyagarány ne legyen nagyobb, mint 100 mg/l BOI_5/5 mg/l összes nitrogén; 100 mg/l BOI_5/1 mg/l foszfor; 1 mg/l BOI_5/0,5 mg/l vas A recirkulációs iszaphoz 5–60 mg/l klór adagolandó, amíg SVI<150 lesz

9. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
			Az eleveniszapos medencébe 50–200 mg/l hidrogénperoxid adagolandó, amíg SVI<150 lesz
			Az iszap tartózkodási ideje (SRT) növelendő
			Recirkulációs iszap mennyisége növelendő
	„Úszó iszap" – denitrifikáció az utóülepítőben	Nitrátkoncentráció az utóülepítőbe befolyó szennyvízben	A recirkuláció hozama növelendő
	Nitrogéngáz-buborékok csatlakoznak az iszaprészecskékhez	Ha mérhető mennyiségű nitrát nincs, a nitrát miatti felúszások sem léteznek	Az oldott oxigén koncentráció növelendő az eleveniszapos medencében
	Az iszap csomók formájában úszik fel		Az iszap tartózkodási idejét (SRT) csökkenteni kell
	Az iszapkaparók túl lassan mozognak (szeptikus iszap)	Az iszapkaparás gyakorisága és sebessége (iszap fekete, szeptikus szag)	Iszapkaparók üzemelési sebessége és gyakorisága növelendő
			Uszadéklefölöző falak helyezendők az utóülepítőbe, hogy az iszap ne tudjon az elfolyásba kerülni
	Túllevegőztetett iszap		A turbulencia mértéke a levegőztetett medencében csökkentendő
„Pin-flok" *(44/a–c ábra)* az utóülepítő elfolyásban; SVI jó, de az elfolyás zavaros	Nagymértékű turbulencia		A levegőztető medencében a keverés mértékének csökkentése
	Hosszú iszaptartózkodási idő (SRT)	Keverékszennyvízbeli szuszpendált lebegőanyag (MLSS)	Fölösiszap-elvonás növelése az iszap tartózkodási idejének (SRT) csökkentése céljából

9. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	Anaerob állapotok az eleveniszapos medencében	Eleveniszapos medencebeli oldott oxigén	Az oldott oxigén koncentráció növelése az eleveniszapos medencében
	Toxikus lökésszerű terhelés	Az iszap mikroszkópi vizsgálata	Iszap újraoltása más telepről származó iszappal (ha lehetséges)
			Ipari szennyvizekre vonatkozó előírások szigorítása
	Rövidzárlat, ami a lebegőanyagok bukón át való távozását eredményezi		Bukók szintjének beállítása a rövidzárlat kiküszöbölésére
Deflokkuláció az utóülepítőben	Toxikus és savas szennyvizek	A leülepedett iszap feletti iszapvíz zavarossága egyenletes	Ipari szennyvízforrások kiküszöbölése
	Anaerob állapotok az eleveniszapos medencében		Az oldott oxigén koncentráció az eleveniszapos medencében növelendő
	Eleveniszapos medence túlterhelt		Több medence üzemeltetendő
	Elégtelen nitrogén- vagy foszforellátás		Tápanyaghiány megszüntetése vegyszeradaglás formájában
	Nagymértékű nyíróhatások a turbulencia miatt		A keverés mértékének csökkentése az eleveniszapos medencében
Az iszapfelhő túljut az utóülepítő bukóin a teljes medencében	Az iszaprecirkuláció mértékének elégtelensége	Recirkulációs iszapszivattyú-hozam, vagy az iszapfelhőréteg vastagsága	Ha a recirkulációs iszapszivattyú hibásan üzemel, másik szivattyú helyezendő üzembe és javítani kell
			Ha a szivattyú jó állapotú, a recirkuláció mértéke növelendő és az iszapfelhő mélysége ellenőrzendő (kb. 1 m vastag iszapfelhő tartandó fenn)

9. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
			Ha az iszapfelhő vastagsága nő, a recirkuláció mértéke növelendő
			A recirkulációs vonal tisztítandó, ha eltömődött
	Az utóülepítő-egységek egyenlőtlen hidraulikai terhelése	Áramló szennyvíz mennyisége az egyes utóülepítőkbe	Tolózárak és/vagy bevezető zsilipkapuk beállítása, hogy a hozamelosztás egyenletes legyen
	Csúcs-szennyvízhozamok túlterhelést okoznak	Felületi hidraulikai terhelések csúcsidőszakban, ha az >40 $m3/m^2 \cdot d$, az ok valószínű	Kiegyenlítésre kell gondolni, vagy a telep kapacitása növelendő
Az ülepítő terhelése egyenetlen	Stengel-elosztófejek elhelyezése pontatlan, aszimmetrikus	Műtárgy leürítése, szemrevételezés	Stengel-fejek egyenletes elhelyezésének biztosítása
	Abukó- vagy csurgalékélek pontatlan beállítása	Szemrevételezés	Bukó- és csurgalékélek pontos beállítása
	Tartólemez deformálódása a Stengel-fejnél		Tartólemez-deformálódás kijavítása
Iszap anaerob bomlása	A fenéklemezen a kotró gumilemeze nem egyenletesen tereli az iszapot az iszapzsompba	Ülepítő leürítés Szemrevételezés	A kotró gumilemezének a kijavítása
A futófelület gyors kopása	A kotróhíd görgőjének (járókerekeinek), iszapkerekeinek rossz		A kotrógép görgőjének, járókerekeinek, iszapkerekeinek a beállítása
Iszapcsomók felúszása az ülepítő felszínére	Alsó kotrólemez leszakadt	Medence leürítése, szemrevételezés	Kotrólemezcsere vagy -javítás
Sok uszadék az ülepítő tetején	Uszadéklefölöző nem megfelelően üzemel	Szemrevételezés	Javítás

9. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Uszadéklefölöző nem működik	A kotró fennakad, az uszadékelvezető eltömődött	Szemrevételezés	Javítás, dugulás megszüntetése
Uszadéklefölöző folyamatosan üzemel	Kilyukadt a légtartály vagy elvezetőcső	Szemrevételezés	Javítás
Iszapelvétel nem működik	Homok került a rendszerbe	Szemrevételezés	Duguláselhárítás
Kotró leáll	Elektromos hiba	Mérés, szemrevételezés	Javítás
	Középső tengely, csapágy, hajtómű-probléma		

6.10. IRODALOM

Akers, R. (1976): *Flocculation*. The Institution of Chemical Engineers London.

Ames Crosta Mills and Co. Ltd.: Simplex Type "C" Settling Tank Equipment. *C. Publication* 97C.

Ames Crosta Mills and Co. Ltd.: Simplex Type "A" Settling Tank Equipment. *Publication 97A.*

Andrews, J. F. (1974): Dynamic Models and Control Strategies for Wastewater Treatment Processes. *Wat. Res.*, 8.

Botond Gy. (1983): Településekről származó szennyvizek tisztítótelepei. *Mechanikai tisztítás*, MI-10 127/4T G21.

Chapman, D. T. (1985): Final Settler Performance During Transient Loading. *Journal WPCF*, Vol. 57, No. 3, March.

Cashion, B. S. et al. (1979): Control Strategies for the Activated Sludge Process. *J. WPCF*, 51.

Catunda, P. F. C., van Haandel, A. C. (1987): Activated Sludge Settlers: Design and Optimization. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 19, Rio.

Crosby, R. M., Bender, J. H. (1980): Hydraulic Consideration that Affects Secondary Clarifier Performance. *Technology Transfer.*

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., *EPA* 430/9-78-001.

EPA (1971): Process Design Manual for Suspended Solids Removal. *U.S. EPA, Tech. Transfer*, Washington, D.C.

EPA (1989): Retrofitting POTWs. Handbook. *EPA* (625) 6-89/020, July.

Forsell, B., Hedström, B. (1975): Lamella Sedimentations. A Compact Separation Technique. *Journal WPCF*, April.

Günthert, F. W. (1985): Feststoffverteilung und Kurzschlußstrom in Nachklärbecken von Belebungsanlagen. *Gwf-Wasser/Abwasser*, H. 3.

Heinke, G., Tay, J.-H., Qazi, M. (1976): Effects of Chemical Addition on the Performance of Settling Tanks. *J. WPCF*, 52.

Keresztúri J. (1992): Szóbeli közlés.

Kerri, K., Herr, E. (1989): Sedimentation and Flotation. Chapter 5. In: *Operation of Wastewater Treatment Plants*. Vol. 1. U.S. Environmental Protection Agency.

Ignjatović, L. (1991): Efficient (Tube) Settling Tanks. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 24, No. 7.

Ingersoll, A. C. (1950): Determination of Hydraulic Characteristics of Separating Chambers. *Proc. Midwestern Conf. on Fluid Dynamics* 1, Univ. of Ill.
Lipták Ferenc (1955): A hőmérséklet- és a vízhozamváltozás hatása hosszanti átfolyású ülepítőmedence áramlási viszonyaira. *Hidrológiai Közlöny*, 7–8.
Öllős G. (1990): *Csatornázás*. AQUA Kiadó, Budapest.
Öllős G. (1991): *Szennyvíztisztítás*. AQUA Kiadó, Budapest.
Parker, D. S., Stenquist, R. (1986): Flocculator-Clarifier Performance. *JWPCF*, 58.
Resch, H., Steinmann, G. A. (1991): Hinweise zur praktischen Handhabung der Bemessung von Nachklärbecken nach dem ATV-Arbeitsblatt A 131. *Korrespondenz Abwasser*, 38, Ig. 9.
Resch, H. (1987): Wirkungsweise der Nachklärung von Belebungsanlagen. *Österreichische Wasserwirtschaft*, 39, H. 7/8.
Saitenmacher, L. (1965): Der Einfluss der Temperatur auf Absetzanlagen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität, Dresden*, 14, Heft 5.
Sekoulov, J., Addicks, R. (1990): Einfluss von Feststoffen im Kläranlagenablauf auf die Parameter CSB und Phosphor. *ATV-Seminar*. Technische Akademie Esslingen, Januar.
Solti D. (1992): Szóbeli közlés.
Szilágyi M. (1992): Szóbeli közlés. (Fővárosi Csatornázási Művek.)
Szombati J. (1993): Szóbeli közlés.
Tekippe, R. J. (1984): *Activated Sludge Cricular Clarifier Design Consideration*. Conference, New Orleans, L. A. October 4.

6.11. KÉRDÉSEK

1. Ülepítőfajták és céljuk. (6.1. fejezet.)
2. Az ülepítést befolyásoló tényezők és azok hatásai. (6.2. fejezet.)
3. Mi okozza a hidraulikai rövidzárlatot? (6.2.2. fejezet.)
4. Miért nem engedhető meg a hidraulikai rövidzárlat? (6.2.2. fejezet.)
5. A hidraulikai rövidzárlat hogyan küszöbölhető ki? (6.2. fejezet.)
6. Az ülepítőmedencék geometriai kialakításának szerepe. (6.2.5. fejezet.)
7. Mi a felületi hidraulikai terhelés és hogyan számítható? (6.2.7 fejezet.)
8. Mi a felületi lebegőanyag-terhelés és hogyan számítható? (6.2.7. fejezet.)
9. Utóülepítőfajták és szerepük. (6.3.1. és 6.3.2. fejezet.)
10. Mi a fő különbség az elő- és utóülepítő-iszap között? (6.3.1. és 6.3.2. fejezet.)
11. Mi a fő különbség az elő- és utóülepítőből elfolyó szennyvíz minősége között? (6.3.2. és 6.3.4. fejezet.)
12. Hogyan értelmezhető és számítható a tartózkodási idő? (6.2.3. fejezet.)
13. Hogy számítható a bukóélterhelés? (6.2.6. fejezet.)
14. Miért szükséges az utóülepítő a biológiai szennyvíztisztító telepen? (6.3., 6.3.1. és 6.3.2. fejezet.)
15. Miért fontos az utóülepítőben leülepedett eleveniszap koncentrációja? (6.3.1. és 6.3.2. fejezet.)
16. Mi történik az utóülepítőbeli leülepedett eleveniszappal? (6.3.1. és 6.3.2. fejezet.)
17. Miért fontos a recirkulációs iszap szárazanyag-tartalma és minősége az eleveniszapos medence és utóülepítő kapcsolatában? (6.3. fejezet.)
18. Az ülepítőbeli iszap elvételének módjai. (6.3.3. fejezet.)
19. Melyek az ülepítő hatékonyságát befolyásoló tranziens (átmeneti) folyamatok? (6.3.4. fejezet.)
20. A szennyvíztisztító telep üzemeltetéséből eredő tranziens folyamatok kiküszöbölésének módjai. (6.3.4. fejezet.)
21. A csatornarendszer tranziens hatása az előülepítőre (szennyvíztisztító telepre) és ezek kiküszöbölésének módjai. (6.3.4. és 6.3.5. fejezet.)

22. Melyek lehetnek az ülepítők hatékonyságát befolyásoló teljes szennyvíztisztító-rendszerbeli abnormális állapotok? (6.4. fejezet.)
23. Lamellás ülepítés előnyei a hagyományos ülepítéssel szemben. (6.5. fejezet.)
24. Lamellás ülepítő az üzemelési tapasztalatok tükrében. (6.5. fejezet.)
25. Az ülepítőkkel kapcsolatos jellegzetes üzemzavarok, megszüntetésük módjai. (6.9. fejezet.)
26. Az ülepítőkkel kapcsolatos mintavételek, a minták analizálása. (6.6. fejezet.)
27. Az ülepítők hatásfokának számítása. (6.7. fejezet.)

7. FLOTÁCIÓ

7.1. A FLOTÁCIÓ ALAPFOLYAMATAI

A szennyvíz (és a szennyvíziszapok) mindig tartalmaznak olyan frakciójú szuszpendált szilárd anyagokat, amelyek nem ülepíthetők az ülepítő (és a sűrítő) fenekére, és nem is úsztathatók fel a szennyvíz (ill. a sűrítőbeli iszapvíz) felszínére, hanem az ülepítő- (ill. sűrítő-) berendezésen áthaladó folyadék terében maradnak.

A nagyon nehezen szeparálható szuszpendált anyagok a szennyvízben kolloidok és emulziók formájában lehetnek jelen.

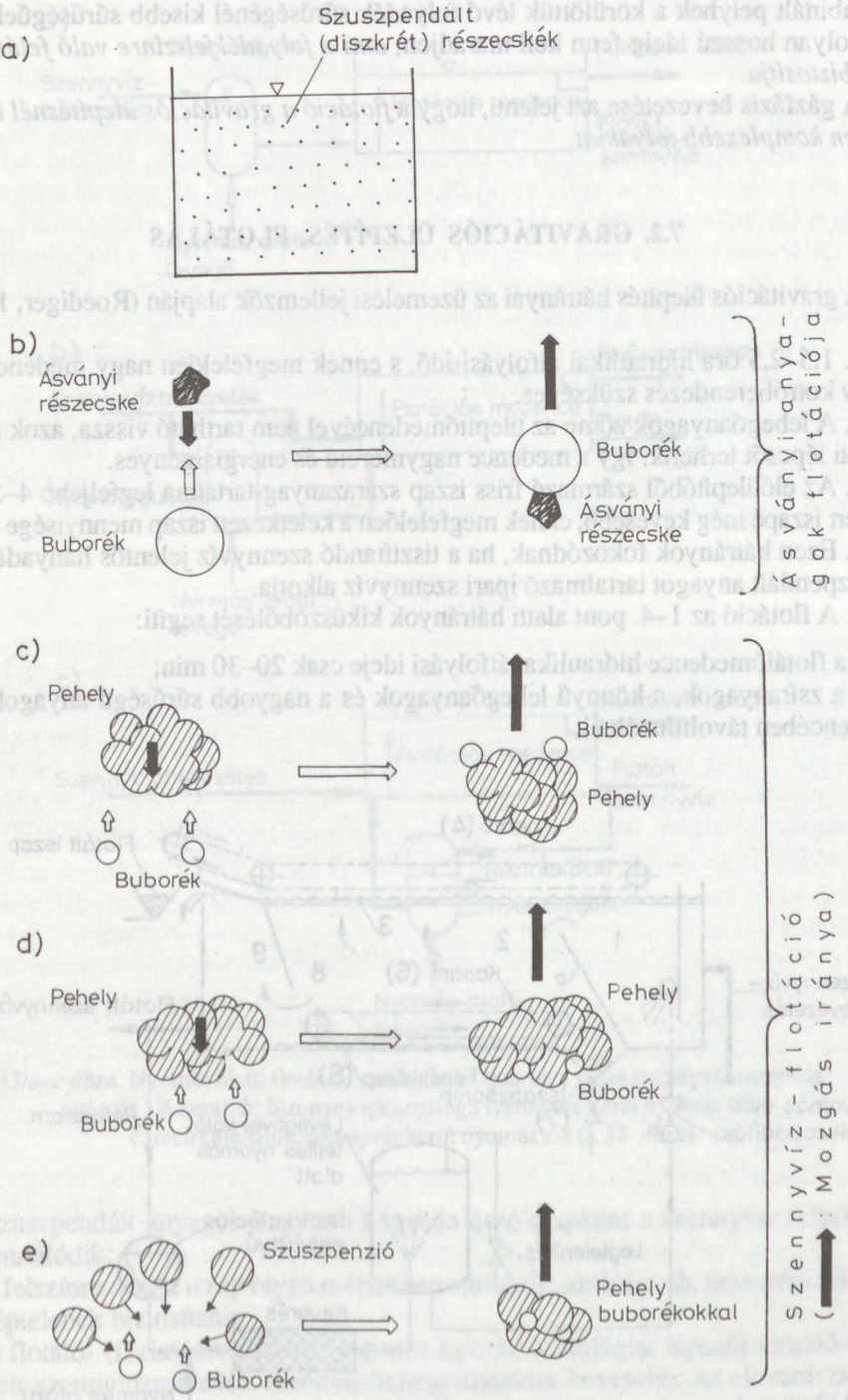
A *kolloidok* nagyon kis méretű, általában 200 millimikron tartományba eső, nem oldódó szilárd részecskék, amelyek kis méretük és elektromos felületi töltésük miatt a szennyvízben hosszú időn át diszperz állapotban maradnak, vagyis ülepedési hajlamuk gyakorlatilag jelentéktelen.

Az *emulzió* olyan folyadékelegy, amelyet két vagy több folyékony anyag alkot. Ezek általában egymásban nem oldódnak, de egyik a másikban szuszpenzió formájában van jelen. A kisméretű szuszpendált részecskéket nagy BOI-értékeket képviselő zsír, olaj, gyantaanyagok stb. alkothatják.

A folyadék szuszpenzió formájában jelen lévő kolloid-, ill. emulziórészecskék hatékony eltávolításának egyik módszere az, amikor az önálló részecskékhez vagy a pelyhekhez parányi levegőbuborék vagy levegőbuborékok kapcsolódnak (agglomerátum), miáltal a részecskebuborék-halmaz (adhézió és/vagy pehelybe való bezáródás révén) a felúszáshoz elegendő felhajtóerőhöz jut. A keletkezett halmaz a folyadékfelszínre úszik, ahol a már ott lévő egyéb részecskékhez csatlakozva, felületi iszapréteget alkot. A levegőbuborékokba zárt gázok a felúszott iszaprétegből a légkörbe távoznak. A felúszott iszap egy része – a nagyobb sűrűségű részecskék – ezt követően a fenekére süllyed. A felszíni iszap mechanikai kaparóberendezéssel távolítható el.

A levegőbuborékok valószínű csatlakozási mechanizmusai az önálló részecskékhez, ill. a különböző szerkezetű pelyhekhez a *31/a–e* ábrán láthatók. Az *a* ábra a kolloidrészecskék diszkrét eloszlását, a *b* ábra a nagyméretű levegőbuborék egyedülálló, nagy sűrűségű részecskékhez való tapadásának módját szemlélteti. Ezt követik a szennyvízflotáció mechanizmusai: *c–d* ábra: a kisebb sűrűségű, zömmel pelyhesedő anyagok kisbuborékos flotációja. A *c* és *d* ábrán a pehelyképződés a buborékképződést megelőzi. Az *e* ábra esetében a pehely- és buborékképződés párhuzamosan játszódik le.

A flotáció tehát arra a folyamatra alapozott, hogy a szennyvízbe, mint szuszpendált folyadéktérbe, gázbuborékokat kell bejuttatni, olyan feltételek mellett, hogy a szilárd anyagok és a buborékok egymáshoz kapcsolódhassanak. Az így keletkezett



31/a–e ábra. A levegőbuborékok csatlakozási mechanizmusai különböző szerkezetű szuszpendált részecskékhez

kombinált pelyhek a körülöttük lévő folyadék sűrűségénél kisebb sűrűségűek. Létük olyan hosszú ideig fenn kell maradjon, *ami a folyadékfelszínre való felúszásukat biztosítja.*

A gázfázis bevezetése azt jelenti, hogy a *flotáció a gravitációs ülepítésnél lényegesen komplexebb folyamat.*

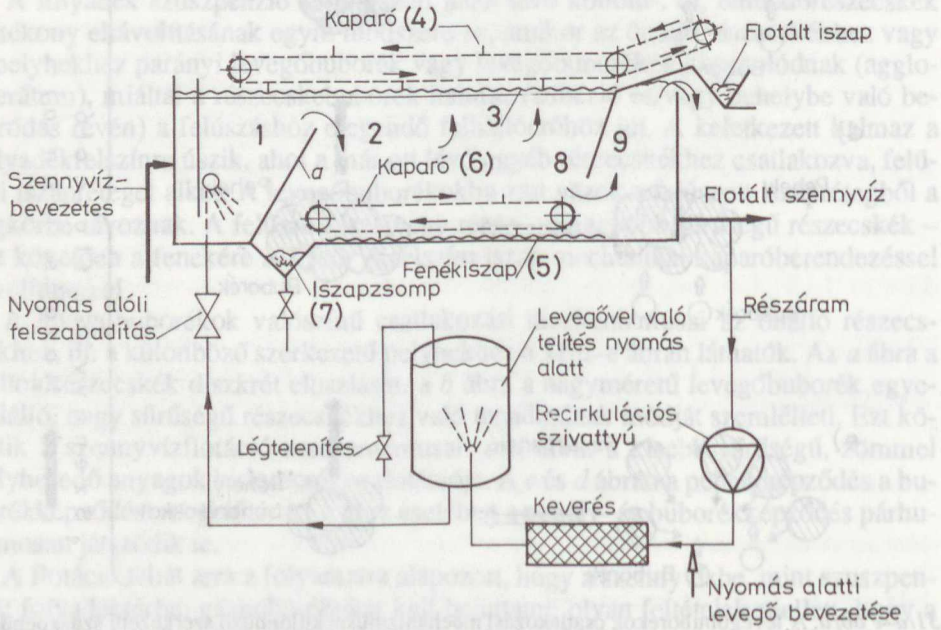
7.2. GRAVITÁCIÓS ÜLEPÍTÉS, FLOTÁLÁS

A gravitációs ülepítés hátrányai az üzemelési jellemzők alapján (Roediger, 1981):

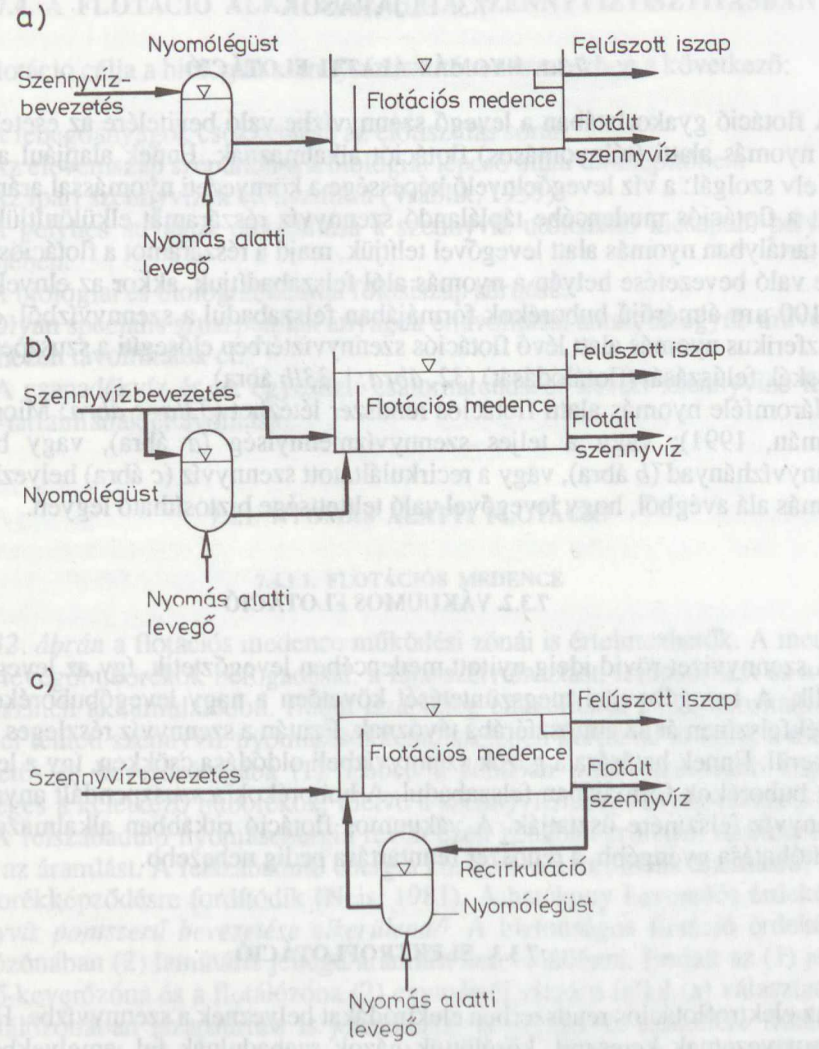
1. 1,5–2,5 óra hidraulikai átfolyási idő, s ennek megfelelően nagy medence, ill. nagy kotróberendezés szükséges.
2. A lebegőanyagok zöme az ülepítőmedencével nem tartható vissza, azok a biológiai lépcsőt terhelik. Így a medence nagyméretű és energiaigényes.
3. Az előülepítőből származó friss iszap szárazanyag-tartalma legfeljebb 4–5%, a kevert iszapé még kevesebb, ennek megfelelően a keletkezett iszap mennyisége nagy.
4. Ezen hátrányok fokozódnak, ha a tisztítandó szennyvíz jelentős hányadát sok szuszpendált anyagot tartalmazó ipari szennyvíz alkotja.
5. A flotáció az 1–4. pont alatti hátrányok kiküszöbölését segíti:

– a flotálómedence hidraulikai átfolyási ideje csak 20–30 min;

– a zsíranyagok, a könnyű lebegőanyagok és a nagyobb sűrűségű anyagok egy medencében távolíthatók el;



32. ábra. Nyomás alatti flotációs rendszer működési elve



33/a–c ábra. Nyomás alatti flotációs rendszerek fajtái. *a:* a teljes szennyvízmenyiség nyomás alá kerül; *b:* bizonyos mennyiségű szennyvíz kerül nyomás alá; *c:* recirkuláltatott szennyvíz kerül nyomás alá (l. *32. ábra*)

– szuszpendált anyagok nagyobb hányada úszóiszapként a szennyvíz felszínén akkumulálódik;

– a felszínre úszott iszap olyan mértékben sűrítődik, amit egyéb, nem gépi eljárások képtelenek biztosítani;

– a flotáló- (fázisszétválasztó) medence kisebb; a biológiai lépcsőt terhelő előülepített szennyvízmaradék szennyezőanyag-tartalma kevesebb; az eleveniszapos medencéből távozó iszap mennyisége kisebb; a szagártalom a viszonylag rövid hidraulikai tartózkodási idő miatt kisebb mértékű.

7.3. ELJÁRÁSOK

7.3.1. NYOMÁS ALATTI FLOTÁCIÓ

A flotáció gyakorlatában a levegő szennyvízbe való bevitelére az esetek zömében nyomás alatti (túlnyomásos) flotációt alkalmaznak. Ennek alapjául a Henry-féle elv szolgál: a víz levegőelnyelő képessége a környezeti nyomással arányos. Ha tehát a flotációs medencébe táplálandó szennyvíz részáramát elkülönítjük, és azt zárt tartályban nyomás alatt levegővel telítjük, majd a részáramot a flotációs medencébe való bevezetése helyén a nyomás alól felszabadítjuk, akkor az elnyelt levegő 10–100 μm átmérőjű buborékok formájában felszabadul a szennyvízből, és az atmoszferikus nyomás alatt lévő flotációs szennyvíztérben elősegíti a szuszpendált részecskék felúszását (flotálódását) (*32. ábra;* l. *33/b* ábra).

Háromféle nyomás alatti flotációs rendszer létezhet (*33/a–c ábra;* Miorin et al. nyomán, 1991): vagy a teljes szennyvízmennyiség (*a* ábra), vagy bizonyos szennyvízhányad (*b* ábra), vagy a recirkuláltatott szennyvíz (*c* ábra) helyezhető túlnyomás alá avégből, hogy levegővel való telítettsége biztosítható legyen.

7.3.2. VÁKUUMOS FLOTÁCIÓ

A szennyvizet rövid ideig nyitott medencében levegőztetik, így az levegővel telítődik. A levegőbevitel megszüntetését követően a nagy levegőbuborékok a folyadékfelszínen át az atmoszférába távoznak. Ezután a szennyvíz részleges vákuum alá kerül. Ennek hatására a gázok szennyvízbeli oldódása csökken, így a levegő finom buborékok formájában felszabadul. A buborékok a szuszpendált anyagokat a szennyvíz felszínére úsztatják. A vákuumos flotáció ritkábban alkalmazott, mert tisztítóhatása gyengébb, a rendszer fenntartása pedig nehezebb.

7.3.3. ELEKTROFLOTÁCIÓ

Az elektroflotációs rendszerben elektródákat helyeznek a szennyvízbe. Ha rajtuk áramot vezetnek keresztül, körülöttük gázok szabadulnak fel, amelyekből kicsi, 0,1–0,01 mm átmérőjű levegőbuborékok keletkeznek. Az eljárás egyes ipari szennyvizek tisztításához, ill. az eleveniszap sűrítéséhez alkalmazható. Ez a módszer kevésbé elterjedt.

A flotációs rendszerek két fő csoportja:

– gravitációs flotáció (zsír-, olaj-, benzinfogó) (7.2. fejezet),
– oldott levegős flotáció (nyomás alatti flotáció) (7.4.1. fejezet), vákuumos flotáció, elektroflotáció.

7.4. A FLOTÁCIÓ ALKALMAZÁSA A SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBAN

A flotáció célja a biológiai szennyvíztisztító rendszerekben a következő:

1. A lebegőanyagok csökkentése az előtisztítás során.
2. Az eleveniszap szeparálása a biológiai lépcső utáni utóülepítőben.
3. Az ipari szennyvizek előtisztítása (Vrablik, 1959).
4. A pelyhes anyagok eltávolítása a szennyvíz utótisztító kicsapató-pelyhesítő lépcsőjében.
5. A biológiai és biológiai/kémiai fölösiszap sűrítése.
6. Olyan speciális szuszpendált anyagok eltávolítása, amelyek egyéb műveletekkel nehezen távolíthatók el.
7. A csapadékvíz és az egyesített csatornarendszer kevert szennyvize lebegőanyag-tartalmának eltávolítása.

7.4.1. NYOMÁS ALATTI FLOTÁCIÓ

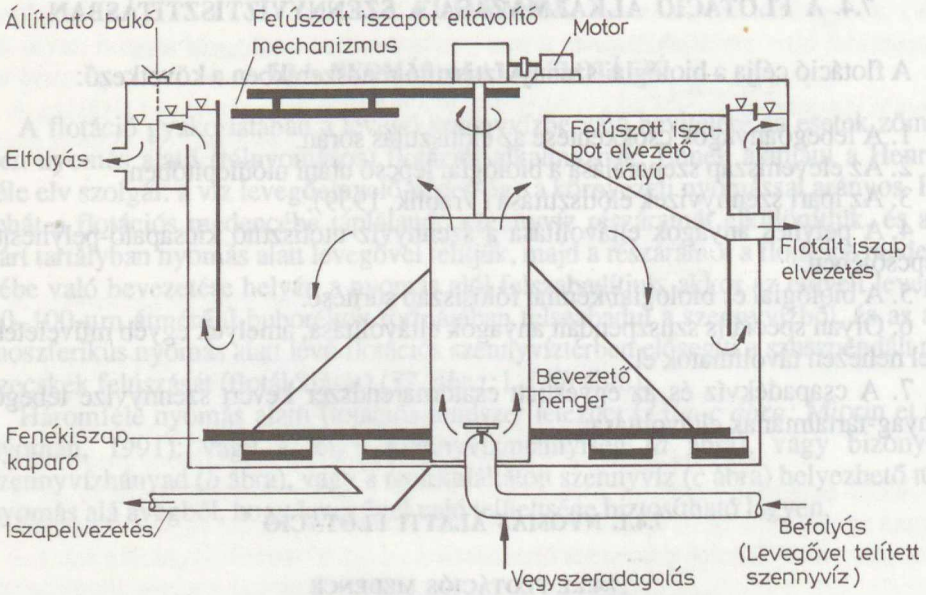
7.4.1.1. FLOTÁCIÓS MEDENCE

A *32. ábrán* a flotációs medence működési zónái is értelmezhetők. A medencének a levegőbuborékok befogadását, a fázisszétválasztást, iszapsűrítést és a folyadékfelszínen akkumulálódott, flotált iszapréteg eltávolítását kell biztosítani. A levegővel telített szennyvíz nyomáscsökkentő szelepen keresztül áramlik a medence bevezető- és keverőzónájába (1). Ebben a zónában minél szorosabb kontaktus szükséges a keletkező buborékok, illetve a szennyvíz/lebegőanyag-részecskék között. A felszabaduló nyomásenergia révén ezen zónában erőteljes turbulencia jellemzi az áramlást. A felszabaduló energia kb. 80%-a a turbulens áramlásra, 10%-a a buborékképződésre fordítódik (Neis, 1981). A hatékony keveredés érdekében *a szennyvíz pontszerű bevezetése elkerülendő.* A biztonságos flotáció érdekében a flotálózónában (2) lamináris jellegű áramlást kell előállítani. Emiatt az (1) jelű bevezető-keverőzóna és a flotálózóna (2) egymástól vízzáró fallal (a) választandó el. A flotálózónában iszapsűrítés is jelentkezik. A szennyvíz felszínére flotált (felúszott) iszap zónájának (3) zavartalan képződését elsősorban a levegőbuborék–iszappehelyrendszer-képződés stabilitása és főleg a kaparóberendezés (4) kialakítása, ill. üzemeltetése befolyásolja. A legfontosabb befolyásoló tényezők:

– a kaparó működtetésének (ill. üzemen kívül tartásának) időtartama,
– a kaparó mozgatásának sebessége,
– a kaparólapok iszaprétegbe merülésének mértéke.

A merülés olyan mélységű legyen, hogy a felúszott iszapnak csak a felső, *már jól sűrűsödött része távolítódjék el (36. ábra).* A merülési mélység változtatható legyen. A kaparóberendezés mozgási sebessége a flotálózónabeli stabil áramlási állapot fenntartását ne zavarja; értéke 25–40 cm/min lehet.

A flotálómedencében fenékiszapzóna is keletkezik (5). Az iszapot ebből a zónából fenékkaparó berendezéssel (6) kell az iszapzsompba (7) továbbítani. A kaparó



34. ábra. Kör alaprajzú levegőbuborékos flotálómedence működési elve

mozgatásakor arra kell ügyelni, hogy a fenékiszapzóna feletti tiszta szennyvíz-zóna (8) felkavarása ne következzék be. A medence elvezető oldalának terében a (9) jelű elválasztó merülőfal jelenléte szükséges.

A flotálómedencék kör (*34. ábra;* Miorin et al. nyomán, 1991) vagy négyszög keresztmetszetűek *(32. ábra)* lehetnek. Előnyeiket, hátrányaikat az üzemeltetési tapasztalatok alapján a *10. táblázat* tartalmazza (Neis, 1984).

10. táblázat. Kör, ill. négyszög alaprajzú flotálómedencék előnyei, hátrányai

Kör alaprajzú medence	Négyszög alaprajzú medence
Kevesebb a mozgó berendezés, kedvezőbb üzemeltetés	A fenékiszap kaparó berendezés technikailag nehezebb üzemeltetésű
A flotált iszapréteg eltávolítása rugalmasan valósítható meg	A hidraulikailag különböző zónák könnyebben választhatók el
A bevezetőzónában nagyfokú turbulencia állítható elő	A bevezetőzóna kialakítása kedvező
	A buborék- és pehelyképződés könnyen létrehozható

7.4.1.2. ÜZEMELTETÉSI ISMERETEK, TAPASZTALATOK

1. A biológiailag tisztítatlan szennyvíz flotáció szempontjából kedvező miliőt biztosít: a szennyvíz szilárd szerves anyagai zömmel negatív felületi töltésűek (Neis, 1979). A szerves részecskék és az oldott szerves anyagok jelentős hányada

eleve hidrofil-határfelületi tulajdonságú, ezért az előtisztítás szerepét betöltő flotációra kedvező hatású. A felületi töltés azonban ma már számos vegyszerrel befolyásolható (Kollár, 1992).

2. Az eleveniszap-pelyhek szerkezetük következtében kedvező feltételeket nyújtanak a felúszásra. Ezért a flotáció az iszapfelúszást eredményessé teheti anélkül, hogy derítőszer-adagolásra lenne szükség (Jedele et al., 1980).

3. A kémiai úton pelyhesedett szuszpendált anyagok és csapadékok eleve könnyen flotálhatók.

4. A nyomás alatti flotációs rendszerben a telítettségi nyomás növelésekor a buborékátmérő csökken. A telítettségi nyomást a szennyvíz (ill. szennyvíziszap) anyagi sajátosságai alapvetően befolyásolják. A kisebb sűrűségű (tehát könnyebb) anyagok flotálásához elegendő a részleges nyomás alá helyezés, míg egyes diszkrét eloszlású szálas és egyéb anyagok a lehetséges maximális mennyiségű buboréktömeget igénylik. Ahol előzetes vegyszeradagolás szükséges a pelyhek képzéséhez, a flotált recirkuláltatott szennyvíz túltelítetté tételét követő levegőinjektálás nyújthat kedvező megoldást (*33/c* ábra).

5. A komprimált levegő 170–340 kN/m^2 nyomással vezetendő a befolyó szennyvízbe. A tartózkodási idő a nyomás alatti tartályban néhány perc, ami a levegő szennyvízbeli oldódásához szükséges.

A buborékok felúszási sebessége a nyugalomban lévő folyadéktérbeli, diszkrét eloszlású szilárd részecskék gravitációs ülepedését jellemző egyenletből számítható.

Ugyanazon átmérőjű levegőbuborék és szilárd részecske felúszási, ill. gravitációs ülepedési sebessége eltérő, a felúszási sebesség egy logaritmus-nagyságrenddel nagyobb. Ez azt jelenti, hogy *a flotálómedence hidraulikai terhelése lényegesen nagyobb lehet.*

6. Az optimális levegőbuborék-átmérő elsősorban a flotálandó szilárd részecskék pelyhes struktúrájától függ. A kisebb buborékok előnye abban nyilvánul meg, hogy azonos mennyiségű (össztérfogatú) buborékrendszerben a kisebb buborékok és a szilárd részecskék közötti ütközés gyakorisága nő. Így a buborékok szilárd részecskékehez, ill. pelyhekhez tapadásának valószínűsége nagyobb (Schers et al., 1992).

7. A szilárd anyagok felúsztatásához legalább annyi buboréktapadás szükséges, hogy a buborék–szilárdanyag-képződmény (komplex pehely) sűrűsége a körülötte lévő folyadék sűrűségénél kisebb legyen (Hanisch, 1960).

8. A felületi terhelés felső határa 10 m/h körüli. 2 m/h-nál kisebb sebesség aligha elfogadható.

9. A kívánt hatás eléréséhez szükséges optimális levegőmennyiség konkrét kutatások révén határozható meg.

10. A Mohlmann-index (8.2. fejezet; iszapindex; SVI) növekedésével a flotáció hatékonysága kedvezőbbé válik. Különösen a rosszul ülepedő eleveniszap esetében javul a flotáció folyamata (Neis, 1981).

11. A foszforeltávolítás céljait szolgáló kémiai kicsapató/pelyhesítő lépcsős, nyomás alatti flotációs rendszer üzemelési adataira a *11. táblázat* nyújt példát (Kiefhaber et al., 1979).

11. táblázat. Szennyvíz-utótisztító flotálótelep jellegzetes üzemeltetési adatai (kémiai kicsapató/pelyhesítő lépcső)

	Hozzáfolyás	Elfolyás	Eltávolítás (%)
Q, m^3/h	7,5	–	–
Szárazanyag-tartalom, g/m^3	30–50	1– 2	kb. 98
KOI, mg/l	50–80	20–60	10–50
$P_{összes}$, mg/l	10–12	1– 1,5	kb. 95
O_2, mg/l	2– 4	6–10	–

A flotált iszap szárazanyag-tartalma 2,6%; túlnyomás: 5 bar; felületi terhelés: 6 m/h, szárazanyag-terhelés: 0,2 $kg/m^2 \cdot h$; recirkulációs hányad: 10–20%.

12. A flotáció és az ülepítés hatékonyságának összehasonlítása alapján megállapítható, hogy

– a szilárdanyag-tartalom csökkenése flotáció esetén lényegesen nagyobb mértékű, mint ülepítésnél;
– a flotált iszap szilárdanyag-koncentrációja az ülepített iszapénál lényegesen nagyobb.

13. Az utóülepítőből elfolyó tisztított szennyvízben szuszpendált anyagok maradnak, amelyek mindig könnyű pelyhek, és flotációval könnyen eltávolíthatók. Ilyen szempontból a flotáció a biztonsági tényező szerepét is betölti.

14. Az üzemeltetési tapasztalatok arra utalnak, hogy a tisztítási lépcsők számának növelésével a tisztítótelep üzembiztonsága kedvezőbbé válik. A biológiai és kémiai tisztítás kombinálása, különösen a flotáció beépítése a renszerbe, nagyfokú üzembiztonságot eredményez (Rosén, 1981).

15. A nyomás alatti flotáció energiaszükséglete 0,11–0,16 kWh/m^3 szennyvíz.

16. A flotálórendszerek berendezései: szivattyúk, kompresszorok (és tartalék aggregátorok), bekeverők és kaparóberendezések. Az üzemeltetési tapasztalatok bizonyítják, hogy az üzemelés biztonságos, a javítási igény nagyon kicsi, a felügyeleti igény minimális. A rendszer automatizált is lehet.

17. A nyomás alatti flotáció jellemző üzemelési paramétereit, ill. azok nagyságrendi értékeit félüzemi vizsgálatok alapján a *12. táblázat* tartalmazza (Stone et al., 1975; EPA, 1973). (Minthogy az adatok félüzemi vizsgálatokból származnak, így közelítő adatoknak tekintendők.)

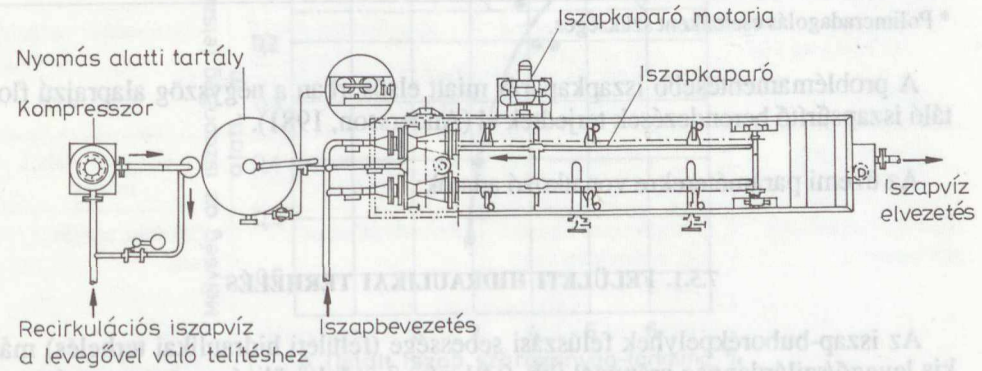
12. táblázat. Jellemző üzemeltetési flotáció-paraméterek (félüzemi vizsgálatok)

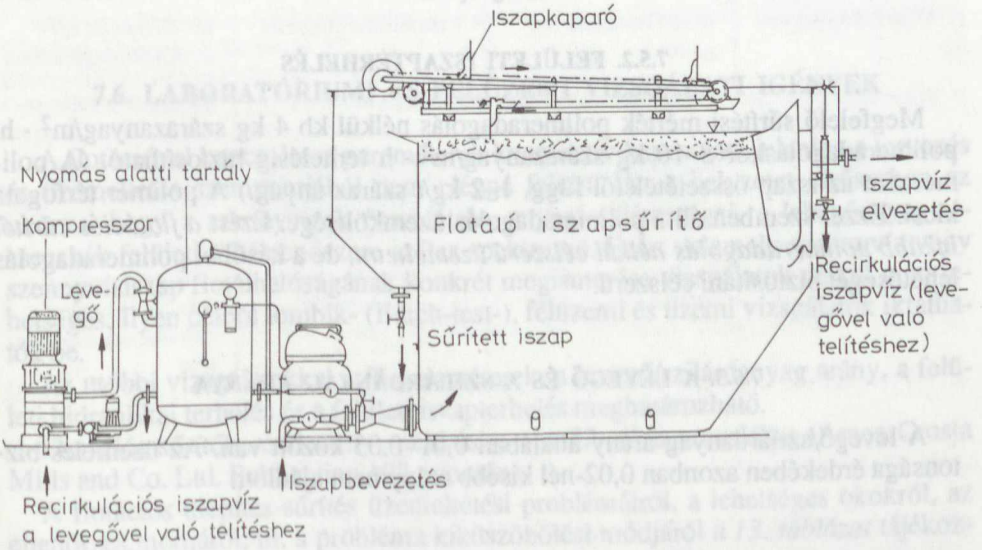
Paraméter	Stockton, Calif.	Sunnyvale, Calif.
Befolyó szennyvíz hozama, l/s	1,83	1,89
Recirkuláció, %	33	27
Recirkulációs szennyvízhozam, l/s	0,63	0,50
Derítő vízszintes keresztmetszete, m^2	1,35	1,39
Sűrítő vízszintes kereszt metszete, m^2	0,88	2,00

12. tábl. folyt.

Paraméter	Stockton, Calif.	Sunnyvale, Calif.
Flotálóberendezés térfogata, m^3	2450	442
Recirkulációnyomás (33/c ábra), kN/m^2	241,1–413,4	378,9–482,3
Levegőhozam, m^3/min	0,01	–
Hidraulikai felületi terhelés,* $l/m^2 \cdot s$	1,84	1,36
Hidraulikai tartózkodási idő,* min	17	11
Levegő/szilárd anyag aránya	–	0,1:0,2

* Recirkulációt is figyelembe véve.





35. ábra. Négyszög alaprajzú levegőbuborékos sűrítő flotálómedence

7.5. FLOTÁCIÓS ISZAPSŰRÍTŐK

A flotációs iszapsűrítők kör, ill. négyszög alaprajzúak lehetnek. Iszapkaparás szempontjából a négyszög alaprajzú medencék előnyösebbnek bizonyultak. Valamely négyszög alaprajzú sűrítőberendezés kialakítását, működési elvét a *35. ábra* szemlélteti (Andersson nyomán, 1981).

Svédországi tapasztalatok a flotációs iszapsűrítésre (Andersson, 1981):

Iszapfajta	Üzemeltetési tapasztalat
1. Biológiai fölösiszap	Nagyon jó
2. Előülepített (primér-) és biológiai iszap, aerob úton stabilizált	Jó
3. Mint 2., plusz kémiai iszap (Al, Fe)	Jó*
4. Csepegtetőtest-iszap (humusziszap) és kémiai iszap (Al, Fe)	Jó*

* Polimeradagolás esetenként szükséges.

A problémamentesebb iszapkaparás miatt elsősorban a négyszög alaprajzú flotáló iszapsűrítő berendezések terjedtek el (Andersson, 1981).

Az üzemi paraméterekre vonatkozó adatok:

7.5.1. FELÜLETI HIDRAULIKAI TERHELÉS

Az iszap-buborékpelyhek felúszási sebessége (felületi hidraulikai terhelés) már kis levegő/szilárdanyag aránynál (kb. 0,01 g/g) 3 m/h körüli, így ez a paraméter az üzemeltetésnél figyelmen kívül hagyható.

7.5.2. FELÜLETI ISZAPTERHELÉS

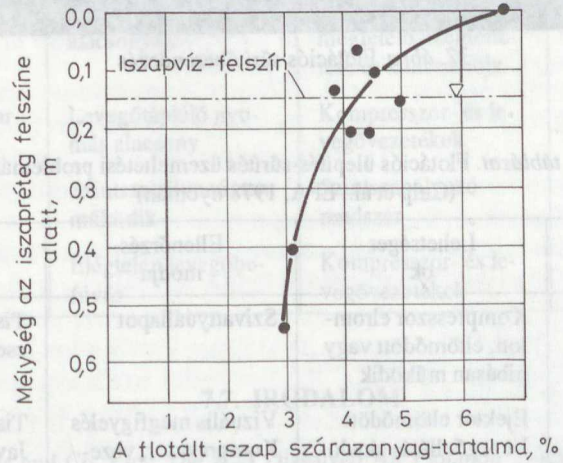
Megfelelő sűrítési mérték polimeradagolás nélkül kb 4 kg szárazanyag/m^2 · h, polimeradagoláskor 8–10 kg szárazanyag/m^2 · h terhelésig biztosítható. (A polimeradat az iszap összetételétől függ, 1–2 kg/t száraz anyag.) A polimer térfogata kicsi. Ezzel szemben áll a polimeradagolás üzemköltsége. Ezért *a flotációs sűrítőt inkább polimeradagolás nélkül célszerű üzemeltetni*, de a későbbi polimeradagolás lehetőségét biztosítani célszerű.

7.5.3. A LEVEGŐ ÉS A SZILÁRDANYAG ARÁNYA

A levegő/szilárdanyag arány általában 0,01–0,03 között van. Az üzemelés biztonsága érdekében azonban 0,02-nél kisebb arány nem ajánlott.

7.5.4. A FLOTÁLT ISZAP SZÁRAZANYAG-TARTALMA

A flotált iszap szárazanyag-tartalma az iszapréteg mélységében (m) a *36. ábrának* megfelelően alakul (Bratby nyomán, 1978): üzemelés szempontjából nagyon figyelemreméltó, hogy *a felúszott iszap egy része az iszapvíz felszíne fölé emelkedik, azon mintegy „úszik". A koncentráció a legnagyobb a kiemelkedő iszapréteg tetején.* A koncentráció az iszapvíz felszíne alatt rohamosan csökken – bizonyos határértékre. A görbéből az üzemelés fontos szabálya is kiadódik: *a felúszott iszap kíméletesen kaparandó le, csak a legfelső, nagymértékben sűrűsödött iszapréteg távolítandó el.*



36. ábra. Szárazanyag-tartalom a flotálással sűrített iszapréteg mélységében

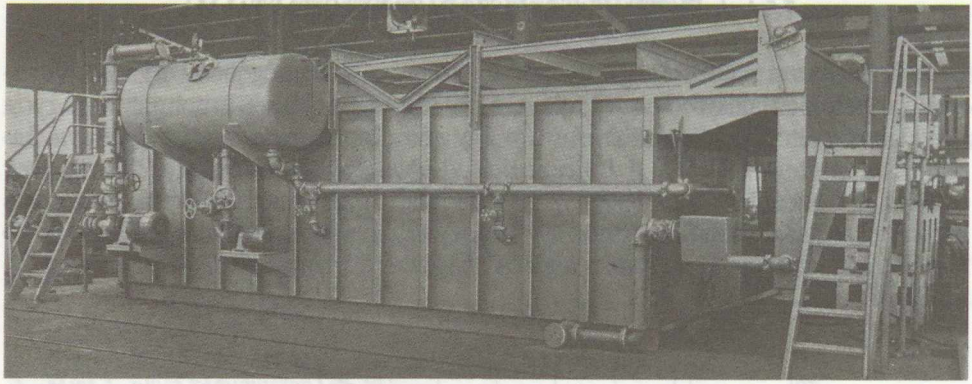
7.6. LABORATÓRIUMI ÉS FÉLÜZEMI VIZSGÁLATI IGÉNYEK

A flotációval kapcsolatos paraméterek kvantitatív kapcsolata jelenleg a tervezés és üzemeltetés szempontjából nem eléggé feltárt. Ezt a helyzetet elsősorban az okozza, hogy a szennyvizek összetétele, anyagi sajátosságai, a lebegőanyag-részecskék felületi töltésrendszere széles spektrumú. Ezért valamely szennyvíz vagy szennyvíziszap flotálhatóságának konkrét megismerése vizsgálatok nélkül nem lehetséges. Ilyen célból lombik- (Batch-test-), félüzemi és üzemi vizsgálatok iktathatók be.

Az utóbbi vizsgálatokkal a fő paraméterek, a levegő/szilárdanyag arány, a felületi hidraulikai terhelés és a felületi iszapterhelés meghatározható.

Flotációs sűrítőberendezést – példaként – a *37. ábra* szemléltet (Ames Crosta Mills and Co. Ltd. Publication 102 nyomán).

A flotációs ülepítés-sűrítés üzemeltetési problémáiról, a lehetséges okokról, az ellenőrzés módjáról, ill. a probléma kiküszöbölési módjáról a *13. táblázat* tájékoztat.



37. ábra. Flotációs sűrítőberendezés

13. táblázat. Flotációs ülepítés-sűrítés üzemeltetési problémái (Culp et al., EPA, 1978 nyomán)

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Alacsony oldott oxigén tartalom	Kompresszor elromlott, eltömődött vagy hibásan működik	Szivattyúállapot	Tisztítás, javítás, csere
	Ejektor eltömődött Levegőellátás akadozik	Vizuális megfigyelés Kompresszor, vezetékek és szabályozó műszertábla	Tisztítás Javítás az igényeknek megfelelően
A flotált iszap nagyon híg	Kotró mozgása túl gyors	Vizuális megfigyelés	Módosítás az igényeknek megfelelően
	A flotálómedence túlterhelt	Felúszás sebessége	Medencetisztítás segéd-recirkuláltatással
	Polimeradagok túl alacsonyak	A polimer szivattyúk megfelelő üzemeltetése és kalibrációja	Módosítás az igényeknek megfelelően
	Túl nagy levegő–szilárdanyag arány	A felúszott iszap nagyon habzónak tűnik	Levegőáramlás nyomás alá helyezési mértékének csökkentése
	Oldott levegő kevés	Szivattyúállapot Kompresszor, vezetékek, szabályozó műszerfal	
Kis recirkulációs szivattyúkapacitás	Nagy tartálynyomás	Ellennyomás	Ellennyomó szelep szabályozása

13. tábl. folyt.

Üzemeltetési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Felúszás sebessége túl kicsi	Flotálómedence túlterhelt	Felúszási sebesség	
	Oldott levegő kevés	Szivattyúállapot	
		Kompresszor, vezetékek, szabályozó műszerfal	
	Polimeradagok túl alacsonyak	A polimer szivattyúk megfelelő üzemeltetése és kalibrációja	
Magas vízszint a tartályban	Levegőtápláló nyomás alacsony	Kompresszor- és levegővezetékek	Javítás az igényeknek megfelelően
	Szintszabályozó nem működik	Szintszabályozó rendszer	Javítás az igényeknek megfelelően
	Elégtelen levegőbefúvás	Kompresszor- és levegővezetékek	Javítás az igényeknek megfelelően

7.7. IRODALOM

Ames Crosta Mills and Co. Ltd.: The K–S Dissolved Air Flotation Thickening Process. *Publication 102.*

Andersson, C. (1981): Flotative Schlammeindickung. In: *Fortschritte bei der Anwendung des Flotationsverfahrens in der kommunalen Abwasserreinigung.* Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe 25.

Bratby (1978): Water Pollution Control.

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, EPA.

EPA (1979): *Process Design Manuals.* Sludge Treatment and Disposal. Oct.

Hanisch, B. (1960): Die wirtschaftliche Anwendung der Flotation mit sehr kleinen Luftblasen zur Reinigung von Abwasser. *Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft,* TU, Bd. 8.

Jedele, K., Hoch, W., Rölle, R. (1980): Einsatz der Entspannungsflotation in Belebtschlammanlagen anstelle herkömmlicher Nachklärbecken. *Korrespondenz Abwasser,* 27 Jg.

Kiefhaber, K. P., Neis, W., Hahn, H. H. (1979): Neuere Erkenntnisse zum Einsatz der Entspannungsflotation bei der Reinigung kommunaler Abwässer. *Korrespondenz Abwasser,* 26 Jg.

Miorin, F. et al. (1977): Wastewater Treatment Plant Design. *WPCF Manual of Practice,* No. 8. *ASCE Manual on Engineering Practice,* No. 36. (Third Printing 1991.)

Neis, U. (1979): Flotation: Möglichkeiten, Verfahren, Wirtschaftlichkeit. In: *Fortschritte bei der Anwendung des Flotationsverfahrens in der kommunalen Abwasserreinigung.* Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, 25.

Neis, U. (1979): Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Flockungsanlagen. In: *Fortschritte bei der Anwendung von Flockungsverfahren in der Abwassertechnologie.* 2. Verfahrenstechnisches Seminar, Inst. f. Siedlungswasserwirtschaft. TU Karlsruhe, Bd. 20.

Öllős G. (1991): *Szennyvíztisztítás*. AQUA Kiadó, Budapest.
Roediger, H. (1981): Flotation als Möglichkeit zur Sanierung überlasteter Kläranlagen. In: *Fortschritte bei der Anwendung des Flotationsverfahrens in der kommunalen Abwasserreinigung*. Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, 25.
Rosén, B. (1981): Einsatemöglichkeiten der Flotation bei der Realisierung Forst Chrittlicher Abwassereinigungskonzepte. In: *Fortschritte bei der Anwendung des Flotationsverfahrens in der kommunalen Abwasserreinigung*. Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, 25.
Schers, G. J. Jr., Van Dijk, J. C. (1992): Flotatie, de theorie en de praktijk. H_2O, 11.
Stone, R. W., Parker, D. S., Cotteral, J. A. (1975): Upgrading Lagoon Effluent for Best Practicable Treatment. *J. Water Poll. Control Fed.*, Vol. 47, 8.
Upgrading Lagoons U.S. EPA (1973): *Technologie Transfer*. Seminar Publications. Washington, D.C.
Vrablik, E. R. (1959): Fundamental Principles of Dissolved-Air Flotation of Industrial Wastes. *Proc. 14th Ind. Waste Conf. Purdue Univ.*, Ext. Ser. 104.

7.8. KÉRDÉSEK

1. Flotáció célja, fő folyamatai. (7.1., 7.4. fejezet.)
2. Miért kell a flotálandó szilárd anyagokat a szennyvízből eltávolítani? (7.1. fejezet.)
3. Gravitációs ülepítés és a flotálás összehasonlítása. (7.2. fejezet.)
4. Mik a kolloidok? (7.1. fejezet.)
5. Mik az emulziók? (7.1. fejezet.)
6. Flotációs eljárások. (7.3. fejezet, 33/a–c ábra.)
7. Flotáció alkalmazási lehetőségei. (7.4. fejezet.)
8. A nyomás alatti flotáló berendezés működési mechanizmusai. (7.4.1.1. fejezet, 32. ábra).
9. Üzemeltetéssel kapcsolatos ismeretek, tapasztalatok. (7.4.1.2. fejezet.)
10. Flotált iszapréteg szárazanyag-tartalma az iszapréteg mélységében; az iszapkaparás mélységének megválasztása. (7.5. fejezet.)

8. ISZAPFELFÚVÓDÁS, ISZAPFELÚSZÁS

A 8. és 9. fejezet a biológiai szennyvíztisztítás egyik legalapvetőbb problémáival foglalkozik.

Az *üzemeltetési tapasztalatok* az utóbbi két évtizedben egyre inkább arra utalnak, hogy a szennyvíztisztítás hagyományos tervezési és üzemeltetési szemléletét radikálisan tovább kell fejleszteni.

Felül kell vizsgálni nómenklatúrai és funkcionális szempontból az „előülepítő", az „utóülepítő", a „biológiai tisztítási művelet", az „eleveniszap" és az ezeket befolyásoló, rendszerré válásukat segítő „recirkuláció", valamint a befogadó *szerepét, folyamatait, rendszerproblémáit.* Abból a felismerésből kell kiindulni, hogy az üzemeltetés a múltban kevésbé tudatos, sokszor nagyon is leegyszerűsített, az elméleti alapokat nélkülöző volta *jóval komplexebb, mint ahogy azt eddig feltételeztük.*

Az eleveniszap specifikus tulajdonságait, a pelyhek szerkezetét, ill. ülepedőképességét, az iszapkort *a rendszerprobléma szempontjából* kell felülvizsgálni. Ezen a téren a *tisztítótelepi, kutatási jellegű szemléleten nyugvó* üzemeltetési ismeretek, tapasztalatok szerepe rendkívül fontossá válik.

A biológiai szennyvíztisztítás, ill. az ehhez szorosan kapcsolódó környezetvédelem fejlesztésének jelenlegi időszakában egyértelműen fel kell ismerni, hogy számos olyan folyamat- és rendszerprobléma létezik, amelyek tervezéséhez kevés ismerettel rendelkezünk, így okszerűen nem is tervezhetők.

Ennek következtében *a szennyvíztisztító-telepi szakszerű, magas szintű üzemeltetés, a kutatási tapasztalatok és ismeretek szerzése iránti igény rohamosan nő.* Az az üzemeltető, aki ezt a helyzetet, ill. a vele szembeni igényt nem ismeri fel, egyre kevésbé képes feladatkörének megfelelni.

Ezt a szemléletet a következő 8. és 9. fejezet hivatott részletekbe menően bizonyítani, ill. alátámasztani.

8.1. AZ UTÓÜLEPÍTÉS SZEREPE AZ ELEVENISZAPOS SZENNYVÍZTISZTÍTÓ RENDSZERBEN

Az eleveniszapos rendszert *a levegőztető medence és az utána kapcsolt utóülepítő* alkotja *(1. ábra).*

Az eljárás középpontjában az eleveniszap-pehely áll. Sok üzemelési probléma oka az, hogy ezek a pelyhek az eleveniszapos lebontás, ill. az utóülepítés szempontjából nem optimális minőségűek. A pelyhek minőségének ismerete a gyenge telepi

hatásfok értelmezéséhez szinte nélkülözhetetlen. Így például az utóülepítőből elfolyó szennyvíz zavarosságát nemcsak az utóülepítőbeli pelyhek gyenge ülepíthetősége befolyásolja (a fonalas mikroszervezetek nagymértékű elszaporodása miatt), hanem

– a túl kis méretű pelyhek,
– a protozoa jelenlétének hiánya és
– a baktériumok (diszperz) szaporodása is.

Ezen tényezők együttes, végső hatása, a zavaros elfolyási adatok összehasonlíthatók. Az okok azonban eltérőek lehetnek, ami indokolja, hogy *a problémák tényleges természetét ismerni kell.* Ehhez az iszap mikroszkópos vizsgálata rendszerint nélkülözhetetlen.

Az eleveniszapos eljárás tehát addig hatékony, amíg az iszap az utóülepítőben megfelelő mértékig ülepíthető és sűríthető. Ez a szempont azért is fontos, mert a recirkulációs iszap koncentrációja olyan nagy kell legyen, hogy a levegőztető medencében a tervezett iszapkoncentráció fenntartását biztosítsa.

Ha a levegőztető medencébe befolyó szennyvíz minden szerves anyaga gyakorlatilag élő sejtanyaggá alakulna át, akkor az eleveniszapos eljárás hatékonysága az utóülepítőbeli fázisszétválasztás mértékétől függne. Az utóülepítő *tényleges hatásfoka* azonban

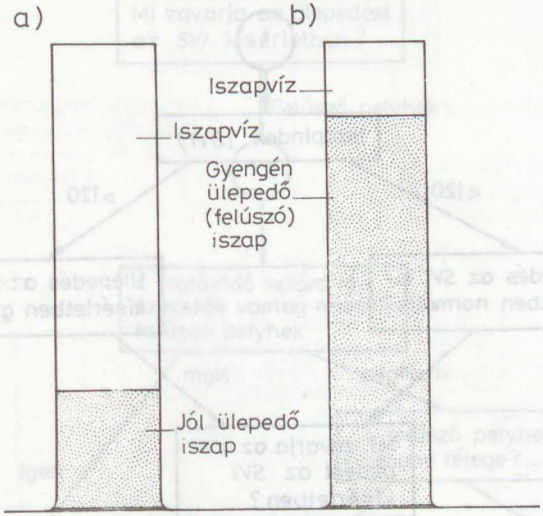
– a tervezéstől (a műtárgy kialakításától, technológiai méretezésétől),
– az üzemeltetéstől és
– a benne lejátszódó ülepítési-sűrítési folyamatok jellemzőitől függ.

Az utóülepítő üzemének megítélésekor, az eleveniszapos rendszerben bármely üzemelési zavar keletkezésénél ezen befolyásoló tényezők hatásának *együttes mérlegelése* szükséges. Hiszen a rossz tervezés, a terhelés és a szennyvízminőség tervezettől eltérő változása az utóülepítést eleve kedvezőtlenül befolyásolhatja.

Az eleveniszapos rendszer azonban, legyen az jól tervezett, jól üzemeltetett, és a tisztítandó települési szennyvíz legyen mentes a toxikus vagy le nem bontható anyagokat tartalmazó ipari szennyvíztől, egyes időszakokban mégis jelentkezik az eleveniszap fonalas felfúvódása, majd ennek hatására az iszap felúszása. Ekkor az iszap minősége nehezen szabályozható. Ezek az időszakok – feltehetően – a mikrobiológiai biocönózis bizonyos kiegyensúlyozatlanságának eredményei. A tényleges okok egyértelmű felderítése ma még viszonylag ritkán lehetséges. Amikor az iszapfelúszás észlelt jelenség, de az okok ismeretlenek, az üzemeltető számára sokszor egyszerűbb valamilyen fizikai–kémiai kezelést beiktatni avégből, hogy az iszap minősége szabályozhatóvá válhasson, mintsem az iszapfelúszás helyét és okát (vagy okait) felderíteni, annak dacára, hogy így az üzemelési költségek az eredeti biológiai tisztítás költségeinek akár 3–4-szeresére emelkedhetnek.

8.2. ISZAPFELFÚVÓDÁS, ISZAPFELÚSZÁS, ISZAPTÉRFOGATI INDEX

A felfúvódó eleveniszap ülepíthetősége és sűríthetősége gyenge, ennek következtében a szuszpendált lebegőrészecskék hajlamosak az utóülepítőből elfolyó szennyvízzel együtt távozni.



38/a–b ábra. Ülepedett iszapok térfogata. *a:* jól ülepedő iszap; *b:* felúszó iszap

A felúszó eleveniszap ülepedés után nagy térfogatú *(38/a–b ábra)*. Az *a* ábrán lévő üveghenger 3200 mg/l lebegőanyag-koncentrációjú eleveniszapos medencebeli szennyvízre vonatkozik. Az 1 l-nyi szennyvízmintából 30 min alatt leülepedett iszap 180 ml térfogatú.

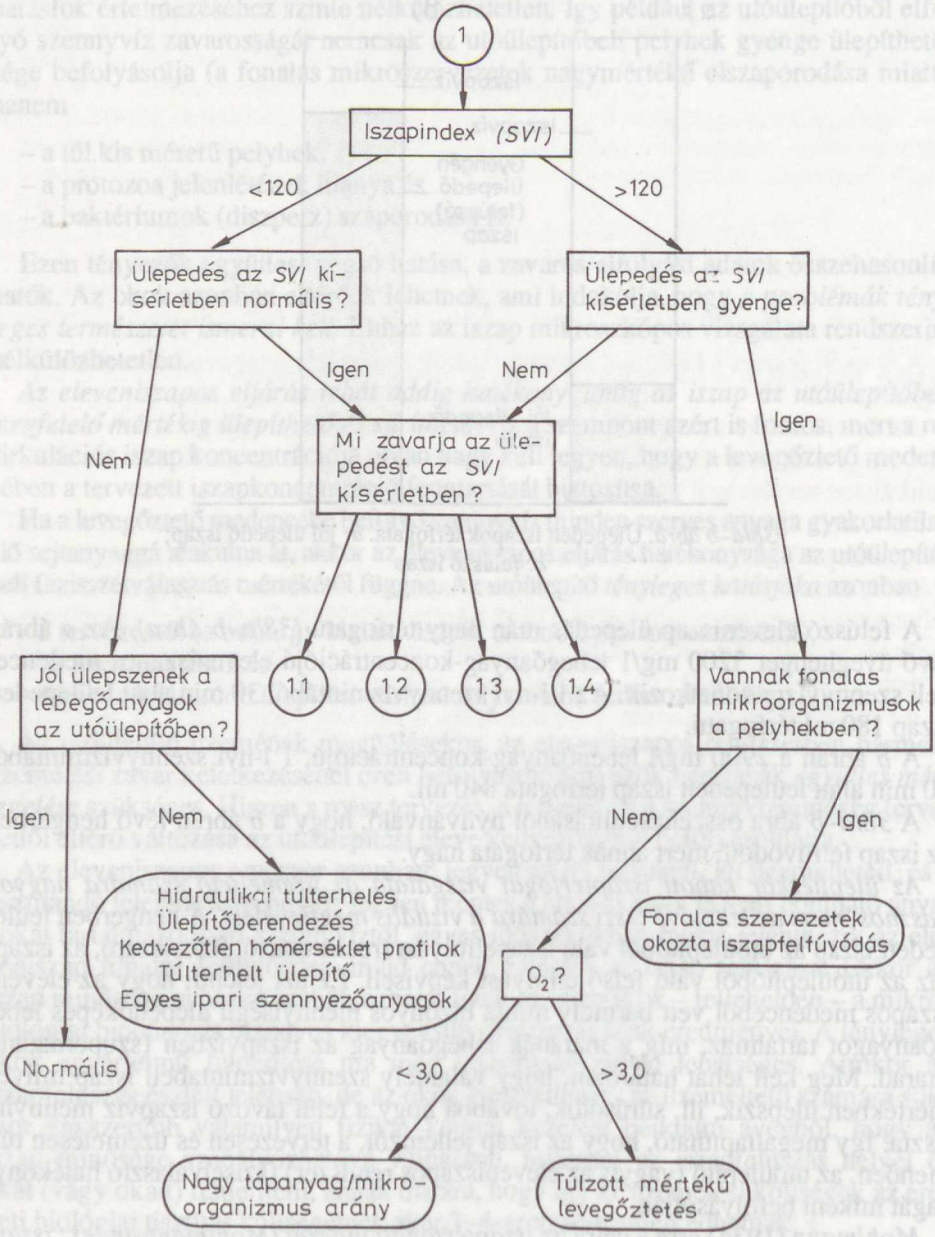
A *b* ábrán a 2900 mg/l lebegőanyag-koncentrációjú, 1 l-nyi szennyvízmintából 30 min alatt leülepedett iszap térfogata 840 ml.

A *38/a–b* ábra összehasonlításából nyilvánvaló, hogy a *b* ábrán lévő hengerben az iszap felfúvódott, mert annak térfogata nagy.

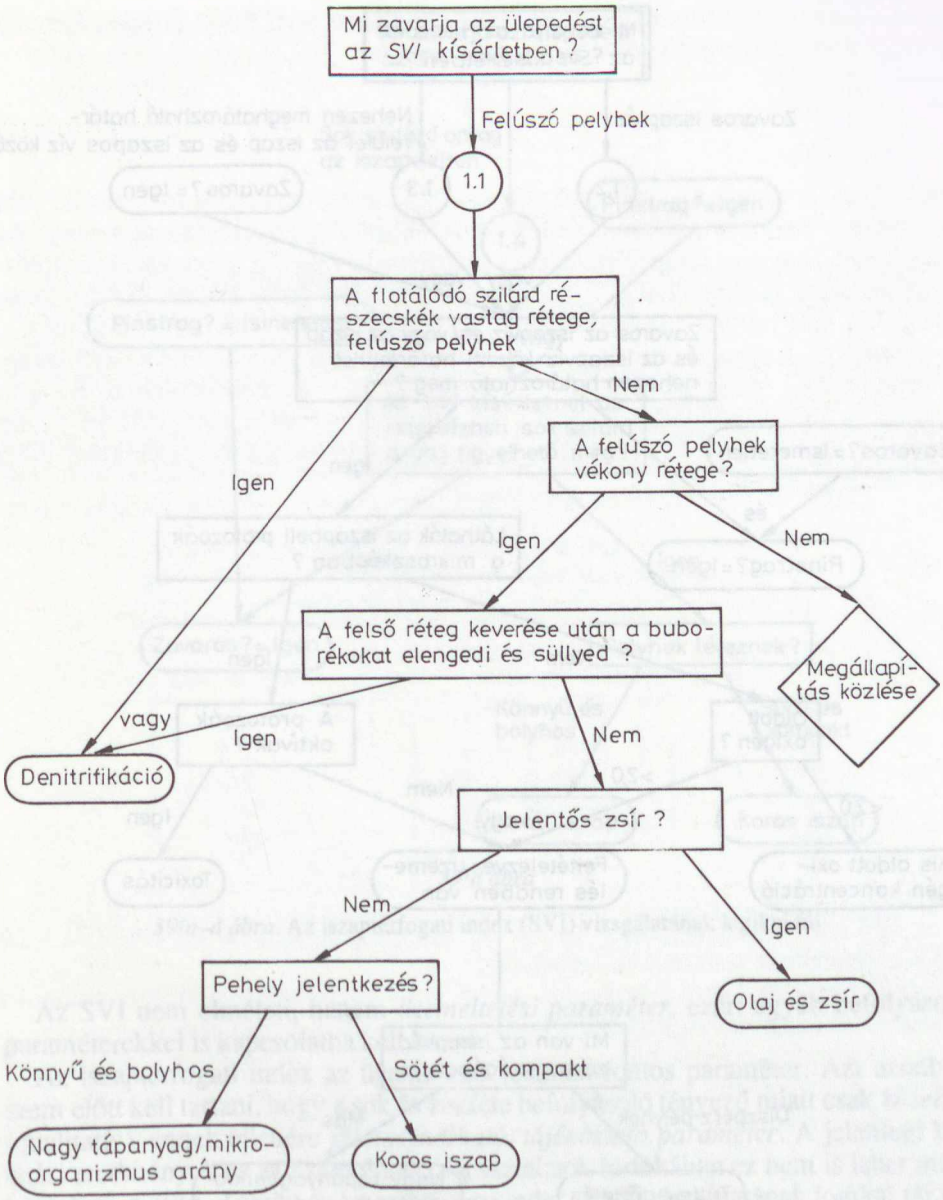
Az ülepítéskor kapott iszaptérfogat vizsgálata az üzemeltető számára nagyon hasznos, mert az lehetővé teszi számára a vizuális megfigyelést. A hengerben leülepedett iszap az utóülepítőből való iszapelfolyást (recirkuláció, fölösiszap), az iszapvíz az utóülepítőből való felső elfolyást képviseli. Ez azt jelenti, hogy az eleveniszapos medencéből vett bármely minta bizonyos mennyiségű ülepedőképes lebegőanyagot tartalmaz, míg a maradék lebegőanyag az iszapvízben (szupernatant) marad. Meg kell tehát határozni, hogy valamely szennyvízmintabeli iszap milyen mértékben ülepszik, ill. sűrűsödik, továbbá hogy a felül távozó iszapvíz mennyire tiszta. Így megállapítható, hogy az iszap jellemzői, a tervezésen és üzemelésen túlmenően, az utóülepítő (vagyis az eleveniszapos rendszer) fáziselválasztó hatékonyságát miként befolyásolják.

Mohlmann (1934) erre a célra az *iszaptérfogati indexet (Mohlmann-index; iszapindex; sludge volume index; SVI)* vezette be, ami az 1 liternyi szennyvízmintából 30 min alatt leülepedett iszap térfogata, SVI_{30}, ml/l, osztva az 1 l-nyi mintában lévő *iszap szárazanyag-tartalmával (mixed liquor suspended solids, MLSS, g/l):*

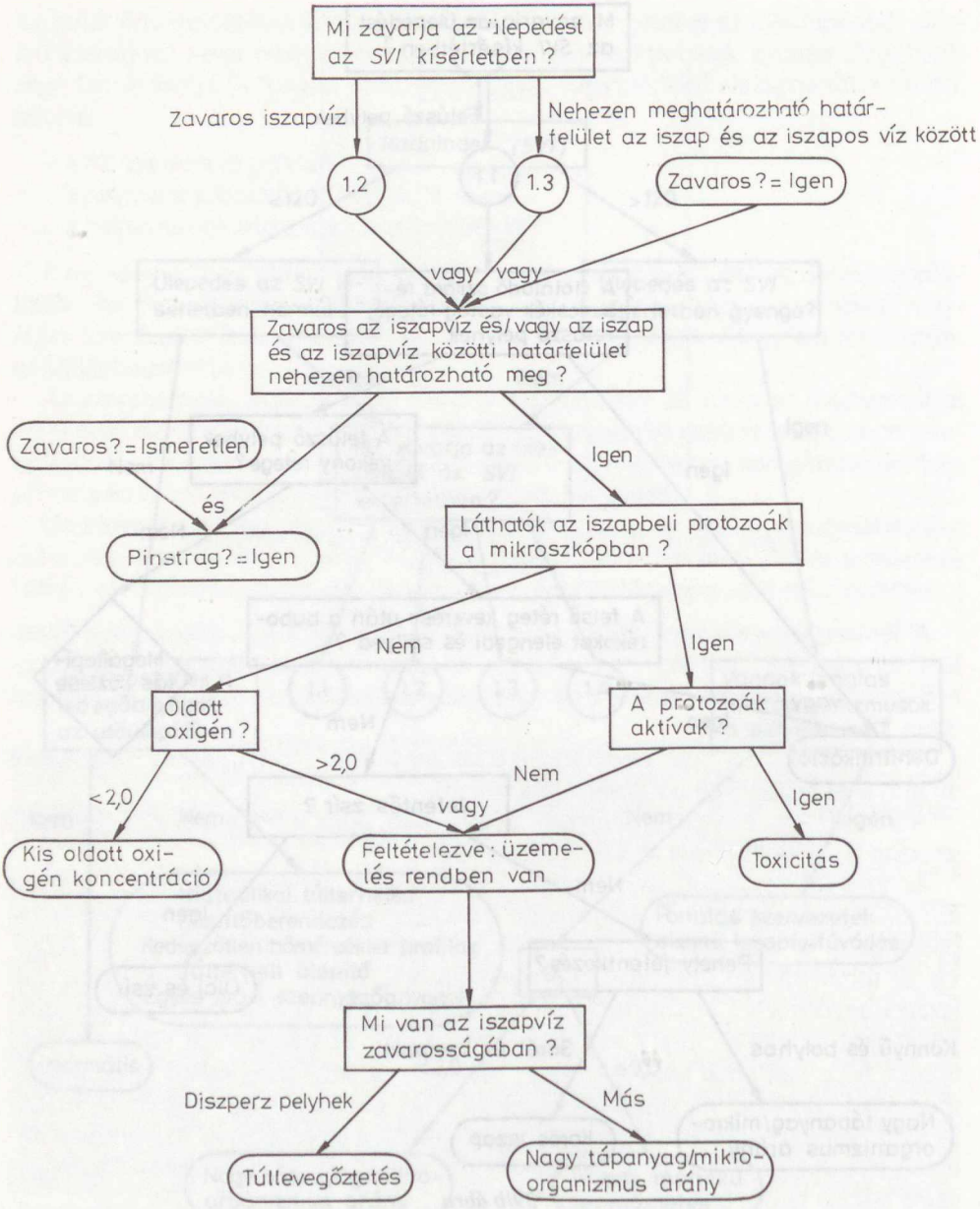
$$SVI\ (ml/g) = \frac{SVI_{30}\ ml/l}{MLSS\ g/l}\ . \qquad (6)$$


1
Iszapindex (SVI)
<120
>120
Ülepedés az SVI kísérletben normális?
Ülepedés az SVI kísérletben gyenge?
Igen
Nem
Nem
Igen
Mi zavarja az ülepedést az SVI kísérletben?
Jól ülepszenek a lebegőanyagok az utóülepítőben?
1.1
1.2
1.3
1.4
Vannak fonalas mikroorganizmusok a pelyhekben?
Igen
Nem
Nem
Igen
Hidraulikai túlterhelés
Ülepítőberendezés
Kedvezőtlen hőmérséklet profilok
Túlterhelt ülepítő
Egyes ipari szennyezőanyagok
Fonalas szervezetek okozta iszapfelfúvódás
O2?
Normális
< 3,0
>3,0
Nagy tápanyag/mikro-organizmus arány
Túlzott mértékű levegőztetés

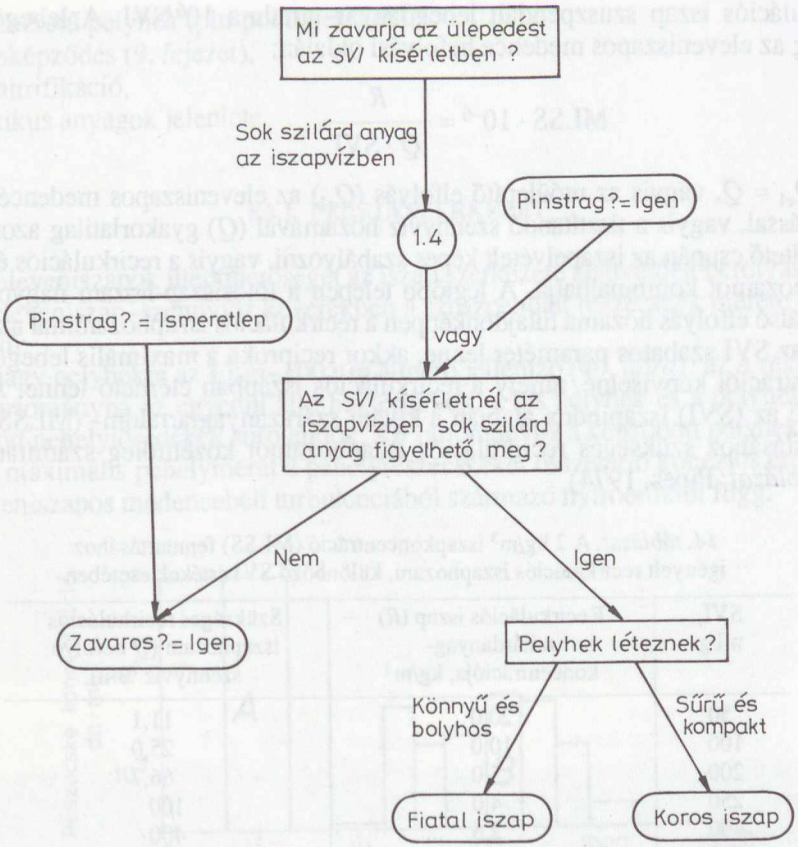
39/a ábra


Mi zavarja az ülepedést az SVI kísérletben ?
Felúszó pelyhek
1.1
A flotálódó szilárd részecskék vastag rétege, felúszó pelyhek
Nem
A felúszó pelyhek vékony rétege ?
Igen
Igen
Nem
A felső réteg keverése után a buborékokat elengedi és süllyed ?
Megállapítás közlése
vagy
Igen
Nem
Denitrifikáció
Jelentős zsír ?
Nem
Igen
Pehely jelentkezés ?
Olaj és zsír
Könnyű és bolyhos
Sötét és kompakt
Nagy tápanyag/mikroorganizmus arány
Koros iszap

39/b ábra


Mi zavarja az ülepedést az SVI kísérletben ?
Zavaros iszapvíz
Nehezen meghatározható határfelület az iszap és az iszapos víz között
1.2
1.3
Zavaros ? = Igen
vagy
vagy
Zavaros az iszapvíz és/vagy az iszap és az iszapvíz közötti határfelület nehezen határozható meg ?
Zavaros ? = Ismeretlen
Igen
és
Pinstrag ? = Igen
Láthatók az iszapbeli protozoák a mikroszkópban ?
Nem
Igen
Oldott oxigén ?
A protozoák aktívak ?
>2,0
Nem
<2,0
vagy
Igen
Kis oldott oxigén koncentráció
Feltételezve : üzemelés rendben van
Toxicitás
Mi van az iszapvíz zavarosságában ?
Diszperz pelyhek
Más
Túllevegőztetés
Nagy tápanyag/mikroorganizmus arány

39/c ábra



39/d ábra

39/a–d ábra. Az iszaptérfogati index (SVI) vizsgálatának logikai fái

Az SVI nem elméleti, hanem *üzemeltetési paraméter*, ezért egyéb befolyásoló paraméterekkel is kapcsolatba kell hozni.

Az iszaptérfogati index az üzemeltető számára fontos paraméter. Azt azonban szem előtt kell tartani, hogy a sok és sokféle befolyásoló tényező miatt csak *közelítő* (qualitatív), ennek ellenére *jól használható, tájékoztató paraméter*. A jelenlegi kutatási eredmények és az üzemeltetési tapasztalatok birtokában ez nem is lehet másként. Erre a *39/a–d* ábrán az iszaptérfogati index (SVI) vizsgálatának logikai fái vitathatatlan bizonyítékot szolgáltatnak (Grall and Patry nyomán, 1989).

Az SVI-vizsgálat az üzemeltető számára a recirkulációs iszaphozam meghatározásához is gyors módszer. Feltételezve, hogy az iszapvíz a 30 min-os ülepített térfogat meghatározásában az utóülepítő elfolyást (Q_{el}), és a leülepedett iszap az alsó iszapelvételt (R) képviseli, az iszaphozam/iszapvízhozam (R/Q_{el}) az iszaptérfogat/iszapvíztérfogat arányt jelenti.

Például, ha az iszaptérfogat 200 ml és az iszapvíztérfogat 800 ml, akkor R-re nézve 0,25 Q_{el} adódik. Ha a recirkulációs iszaphozam ily módon meghatározott, a

recirkulációs iszap szuszpendált lebegőanyag-tartalma 10^6/SVI. A lebegőanyag-mérleg az eleveniszapos medence befolyási oldalán:

$$\text{MLSS} \cdot 10^{-6} = \frac{R}{Q \cdot \text{SVI}}, \qquad (7)$$

ahol $Q_{el} = Q$, vagyis az utóülepítő elfolyás (Q_{el}) az eleveniszapos medencébe való befolyással, vagyis a tisztítandó szennyvíz hozamával (Q) gyakorlatilag azonos. Az üzemeltető csupán az iszapelvételt képes szabályozni, vagyis a recirkulációs és fölösiszap-hozamot kombinálhatja. A legtöbb telepen a fölösiszap-hozam nagyon kicsi, így az alsó elfolyás hozama tulajdonképpen a recirkulációs iszaphozammal azonos.

Ha az SVI szabatos paraméter lenne, akkor reciproka a maximális lebegőanyag-koncentrációt képviselné, amely a recirkulációs iszapban elérhető lenne. Az üzemeltető az (SVI) iszapindex alapján a kívánt szárazanyagtartalom- (MLSS-) szint fenntartásához szükséges recirkulációs iszaphozamot közelítőleg számítani tudja (*14. táblázat;* Pipes, 1974).

14. táblázat. A 2 kg/m^3 iszapkoncentráció (MLSS) fenntartásához igényelt recirkulációs iszaphozam, különböző SVI értékek esetében

SVI, ml/g	Recirkulációs iszap (R) szilárdanyag-koncentrációja, kg/m^3	Szükséges recirkulációs iszaphozam (Q befolyó szennyvíz %-a)
50	20,0	11,1
100	10,0	25,0
200	5,0	66,7
250	4,0	100
400	2,5	400
500	2,0	

A táblázatból kitűnik, hogy az SVI > 500 ml/g értéktartományban 200 mg/l MLSS-koncentráció fenntartása lehetetlen.

Az SVI az üzemeltető számára azt is jelzi, hogy mikor kell fölösiszapot elvonni a rendszerből avégből, hogy az MLSS-koncentráció csökkenthető legyen.

Az iszaptérfogati index könnyen megfigyelhető, ill. könnyen számítható paraméter, a szennyvíztisztító telepeken rutinszerűen alkalmazható mérési lehetőség. Előnye az is, hogy az ülepíthetőség mértékét nem köti valamely mikroorganizmushoz, így az eljárás a populáció differenciáltságától és a biomassza-rendszer dinamikájától független.

8.3. AZ ELEVENISZAP ÜLEPÍTHETŐSÉGÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Az eleveniszap ülepedését az utóülepítőben a következő fő tényezők befolyásolhatják, ill. zavarhatják (Gray, 1990):

– iszapfelfúvódás, ill. felúszás,
– deflokkuláció,

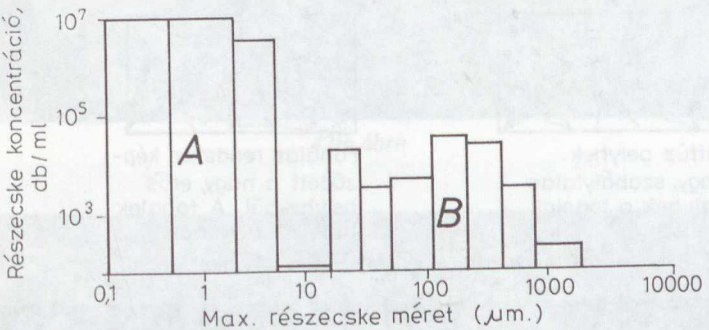
– kisméretű pelyhek (pin-point pelyhek),
– habképződés (9. fejezet),
– denitrifikáció,
– toxikus anyagok jelenléte.

8.3.1. PEHELYSZERKEZET

Az eleveniszapok ülepíthetőségét az iszap szerkezete alapvetően befolyásolja.

Az eleveniszap–szennyvíz keverékben a szuszpendált részecskék mérete tág tartományú:

– a nagy pelyhekre az 1 µm–100 µm átmérő jellemző *(40. ábra)*: az *A* részecskemérettartományba az egyedül álló baktériumok, a kis pelyhek és a pelyhekből lenyíródott pehelytöredékek sorolandók; a *B* tartományba a képződött pelyhek tartoznak. A maximális pehelyméret a pehelyrészecskéket összetartó kohéziós erőktől és az eleveniszapos medencebeli turbulenciából származó nyíróerőktől függ.

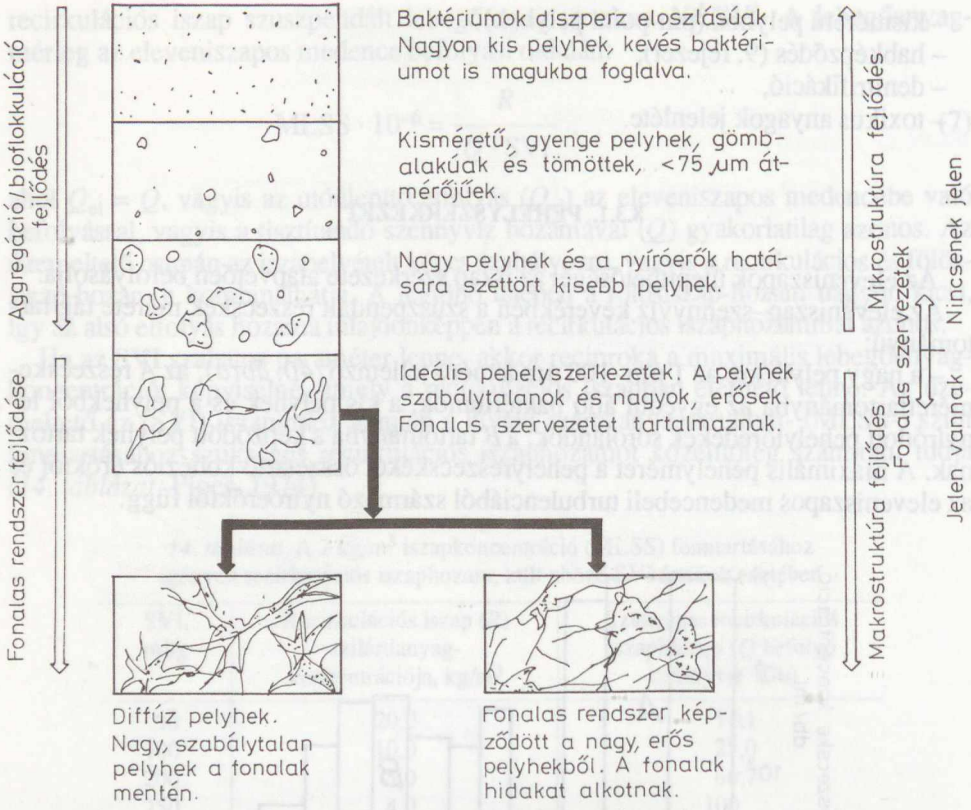


40. ábra. Az eleveniszap–szennyvíz keverékben lévő szuszpendált részecskék mérete és a részecskék koncentrációja közötti kapcsolat

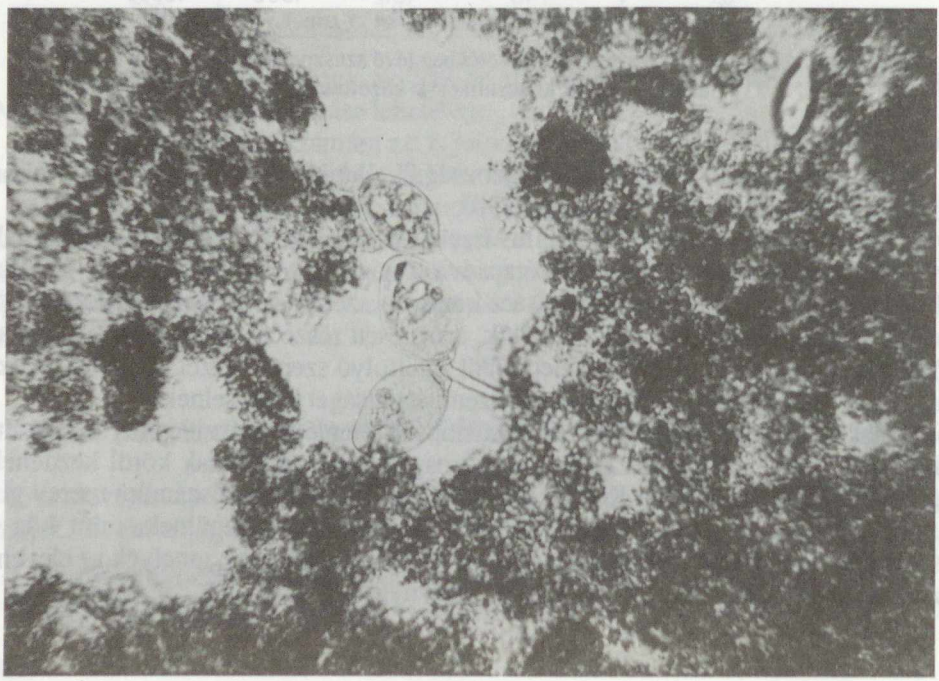
A pelyhek méretük, szerkezeti tulajdonságaik alapján a következő csoportokba sorolhatók (*41. ábra;* Gray nyomán, 1990).

A mikropelyhek átmérője <75 µm. Ezeket pehelyképző baktériumok alkotják (pl. Citromonas sp.), amelyek összetapadva a nagy pelyhek keletkezését segítik. Gyenge pelyhek a turbulencia hatására könnyen szétesnek apróbb alkotórészecskékre. A gyenge pelyhek jól ülepíthetők, a szétesett részecskék azonban gyakorlatilag nem ülepíthetők, így az utóülepítőből az elfolyó szennyvízzel könnyen távoznak. Ezek anyagai BOI- és zavarosság-szennyezettséget képviselnek.

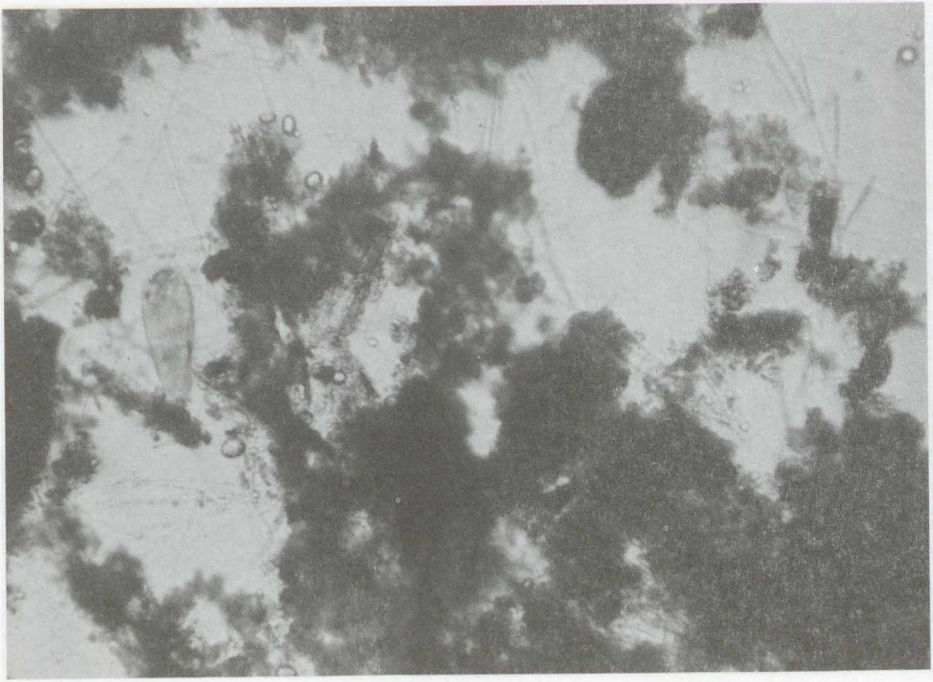
A makropelyhek a fonalas mikroorganizmusok jelenlétében az ülepítés szempontjából már megfelelő szerkezetűek. A mikroszervezetek a fonalak körül kezdenek aggregálódni (*42/a–d* ábra; Kollár, 1992). A fonalak a pelyhek számára merev gerincek, amelyekre a pehelyképző zooglea szervezetek rátelepülnek, mint hús a csontra. Így olyan nagyobb, szabálytalan pelyhek képződhetnek, amelyek az eleveniszapos medencében már jobban ellenállnak a nyíróerőknek.



41. ábra. Mikro- és makro-pehelyszerkezetek



42/a ábra



42/b ábra

42/c ábra

42/d ábra

42/a–d ábra. Makropelyhek. *a:* jó minőségű, jól ülepedő, megfelelő szerkezetű, fonalas baktériumok nélküli makropehely; *b:* sok fonalas baktériumot tartalmazó, rosszul ülepedő makropehely; *c:* fonalas baktériumok tömeges jelenléte miatt nem ülepíthető makropehely; *d:* jó szerkezeti tulajdonságú, ezt jól indikáló szervezeteket bőségesen tartalmazó, jól ülepíthető makropehely (fotó: dr. Kollár György)

A pehelyképző zooglea és a fonalas szervezetek relatív aránya azonban az eleveniszap-pelyhek fizikai jellegének, ill. ülepíthetőségének szempontjából az egyik legfontosabb tényező (Sezgin, 1978). *Ha a pehelyképző és a fonalas mikroorganizmusok együtt szaporodnak és arányuk közel azonos, akkor a Sphaerotilus natans a hordozószerkezet, amelyen a többi baktérium aggregálódik.*

A pehelyfajták a bennük lévő fonalas mikroszervezetek mennyisége szerint, a *43/a–b* ábrának (Kollár, 1992) megfelelően csoportokba sorolhatók.

43/a ábra

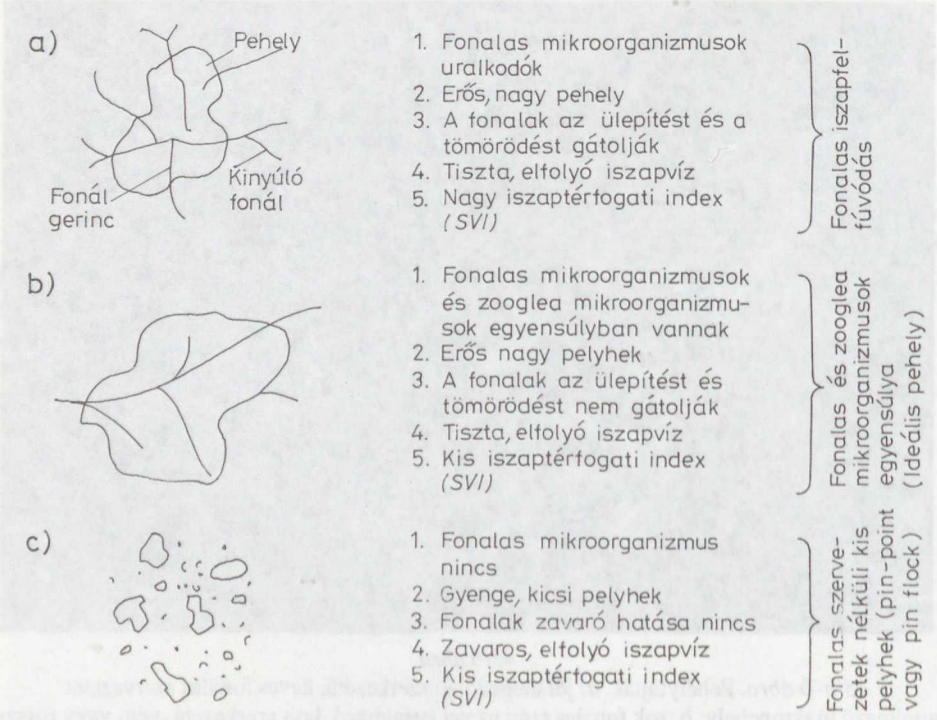
43/b ábra

43/a–b ábra. Pehelyfajták. *a:* jól ülepedő, jó szerkezetű, kevés fonalas szervezetet tartalmazó makropehely; *b:* sok fonalas szervezetet tartalmazó, laza szerkezetű, nem vagy rosszul ülepíthető makropehely (fotó: dr. Kollár György)

8.3.2. FONALAS ISZAPFELFÚVÓDÁS

Fonalas iszapfelfúvódás (44/a ábra) esetében a pehelyben túl sok a fonalas mikroszervezet, a fonalak egy része a pehely teréből a szennyvíztérbe kinyúlik és a szomszédos pelyhek egymáshoz közeledését, egymáshoz kapcsolódását gátolja. Így lassú ülepedés, a medence fenekén gyenge, sűrűsödő iszapréteg, majd fonalas iszapfelfúvódás jön létre. Az utóülepítőből elfolyó iszapvíz meglehetősen tiszta, mert ez a típusú pehely a jól kifejlődött, fonalas gerincrendszer következtében szétörésre nem hajlamos. A pelyhekből kinyúló fonalak hálózata pedig az ülepedő pelyhek között felfelé mozgó, kisméretű, szuszpendált részecskékre szűrőhatást fejt ki. A fonalak akkor nyúlnak ki a pelyhek teréből, ha a pelyhen belüli egyes környezeti tényezők, így a tápanyagok (pl. szén, oxigén, nitrogén) miatt a fonalas mikroorganizmusok a gömb alakú pehelyképző zooglea mikroorganizmusoknál gyorsabban szaporodnak.

Az üzemeltető problémája a felfúvódó iszappal azonban nem is az, hogy az nem ülepszik (hiszen az általában bizonyos mértékig mindig ülepszik, l. *38/b* ábra), hanem az, hogy *nem sűrűsödik kielégítő mértékben* (Pipes, 1974). A sűrűség hiánya azt jelenti, hogy a szuszpendált szilárd anyagok (eleveniszap) koncentrációja a recirkulációs iszapban kicsi. Emiatt az üzemelő nehézségekkel küzdhet, hiszen az eleveniszapos medencében a kívánt eleveniszap-koncentráció fenntartásához nem lesz elég recirkulációs iszap. Ugyanakkor az iszap az utóülepítő fenékteréből olyan gyorsan felemelkedhet, ahogy az az eleveniszapos medencéből érkezik. Ez utóbbi



44/a–c ábra. Pelyhek osztályozása, jellemzésük

esetben, ha az iszap gyorsabban érkezik az utóülepítőbe, mint amilyen gyorsan az eltávolítódik, akkor az utóülepítőben iszapfelhő (sludge blanket) képződik. Végül az utóülepítő feltöltődik iszappal, ami azután az elfolyó szennyvízbe kerül. Mielőtt ez bekövetkezik, a felúszó iszap nagyon jó elfolyó szennyvízminőséget eredményez. A felúszó iszap ugyanis jól pelyhesedett, ezért kevés kisméretű részecske létezik, amely az iszappal együtt nem ülepedne le.

Az üzemeltetési tapasztalatok szerint:

– a *Sphaerotilus natans* fonalak kinyúlása a pelyhek teréből az oldott oxigénért folyó versenynek tulajdonítható, amely a *Sphaerotilus natans* és a *zooglea* mikroorganizmusok között jelentkezik (Okun, 1949),

– általános az a vélemény, hogy a *Sphaerotilus natans* fajták obligat aerob baktériumok (Curtis, 1971; Pipes, 1966),

– a *Sphaerotilus natans* kis oldott oxigén koncentráció esetében is jól szaporodik,

– anaerobiosis periódikusokat is átéli károsodás nélkül (Stokes, 1954),

– nagyon kis oldott oxigén koncentráció esetében a *Sphaerotilus natans* gyengén szaporodik, de még mindig jobban, mint egyéb mikroorganizmusok (Mulder, 1964),

– a fonalas és a zooglea baktériumok pelyhen belüli relatív szaporodását vizsgálva nagyon fontos arra gondolni, hogy az oldott oxigén koncentráció a pelyhen belül lényegesen kisebb lehet a pelyheket körülvevő szennyvíztér oldott oxigén koncentrációjánál. A pehely közepén lévő kis oldott oxigén koncentráció a *Sphaerotilus natans* számára a zoogleával szembeni versenyben előnyt jelent annak ellenére, hogy a szennyvíztérben lévő, nagyobb oldott oxigén koncentráció a *Sphaerotilus natans* gyorsabb szaporodása szempontjából kedvezőtlen. Az eleveniszapos rendszerre jellemző átlagos pehelyátmérő esetében például a 0,6–2,0 mg/l szennyvíztérbeli O_2-koncentráció a pehely közepén 0,1 mg/l alá csökkenhet (Mueller et al., 1966).

8.3.3. FELFÚVÓDÁS NÉLKÜLI ISZAPPROBLÉMÁK

8.3.3.1. *SPHAEROTILUS* ÉS *ZOOGLEA* MIKROSZERVEZETEK EGYENSÚLYA

A *44/b ábra* esetében a pelyhekben a fonalgerincek képződéséhez megfelelő mennyiségű fonalas mikroorganizmus van a pehely belsejében anélkül, hogy a fonalak számottevően kinyúlnának a szennyvíztérbe. De a pelyhekben megfelelő mennyiségű zooglea mikroorganizmus is jelen van. E két populációra az egyensúlyi állapot jellemző. Így jól ülepedő és tömörödő erős, nagy pelyhek keletkeznek. Az ülepítőből elfolyó szennyvíz tiszta. A fonalak az ülepítést nem befolyásolják. *Kis iszaptérfogati index (SVI)* és egy-két fő anyagkomponens hiánya vagy elégtelen volta jellemző (pl. N, P).

8.3.3.2. FONALAS SZERVEZETEK NÉLKÜLI KIS PELYHEK

Az eleveniszap-pelyhek fonalas mikroszervezetek nélkül igazi mikropehelyszerkezetűek. Kicsik, tömöttek, gömb alakúak, gyenge struktúrájúak, így az eleveniszapos medencében könnyen szétesnek, deflokkulálódnak *(44/c ábra)*. A kis pely-

hek rosszul ülepednek, az utóülepítőből az elfolyó szennyvízzel együtt könnyen eltávoznak. A kis pelyhek (pin-point; pin flock) az elfolyás zavarosságát csak kismértékben növelik. A deflokkuláció azonban növeli az elfolyás zavarosságát, hiszen a pelyhek, részecskék jóval nagyobbak, jól láthatók szabad szemmel is.

A kis (pin-point) pelyhek képződése várható, ha

– az iszapkor 5–6 d,
– a szervesanyag-terhelés 0,2 kg · kg $^{-1}$ · d^{-1},

vagyis *a kis pelyhek képződése elsősorban a hosszú tartózkodási idejű levegőztető rendszerben várható.*

Az iszaptérfogati index (SVI) nagy.

8.3.3.3. DEFLOKKULÁCIÓ

A „diszperz baktérium" az a jelenség, amikor a pelyhek mikrostruktúrája hiányzik. Így a pehely kevésbé stabil, széttörik. A deflokkuláció akkor jelentkezhet, ha

– a túllevegőztetés miatt a turbulencia okozta nyíróerő-szint magas vagy
– a baktériumok a pelyhekbe nem épülnek be.

Ilyenkor a zooglea baktériumok mátrixot alkothatnak. (Ezt a folyamatot zooglea felfúvódásnak is nevezik.) A mikroorganizmusok önálló, diszperz sejtekként, a folyadékfázisban szuszpendált formában vannak jelen, és folyamatosan eltávoznak az utóülepítőből elfolyó szennyvízzel. Bizonyos mennyiségű iszap azonban folyamatosan ülepszik, ugyanakkor az elfolyó szennyvíz zavarossága bizonyos határig folyamatosan nő. *Az SVI kicsi.*

8.3.3.4. DENITRIFIKÁCIÓ

Az oldott oxigén koncentráció az utóülepítőben gyorsan csökken, ahogy az iszap az elfolyó szennyvíztől szeparálódik (Gray, 1990). Így az utóülepítőben rendszerint anoxikus állapot jön létre.

Ennek következtében *az utóülepítő üzemeltetése gondot okozhat,* ha az iszap tartózkodási ideje túl hosszú, és az eleveniszapos medencében teljes nitrifikáció játszódik le, hiszen az NO_3^-- és NO_2^--komponensek az utóülepítőben a dentrifikáló baktériumok által

– nitrogéngázzá vagy
– nitrogén-oxiddá redukálódik.

A medencéből H_2S-gáz is távozik (szagemisszió). A keletkezett gázok a pelyhekbe épülnek vagy azok felületéhez adszorbeálódnak, amelyek ezt követően a szennyvíz felszínére úsznak, majd az elfolyó szennyvízzel távoznak. A gázképződés különösen meleg időszakban lehet nagymértékű. A buborékok és a pehelykomplexumok felúszása jelentős turbulenciát okozva akadályozza az ülepedést. A szennyvíz felszínén

– felúszott iszap és
– gázbuborékok láthatók *(23. ábra)*.

Ezek a problémák elsősorban a tervezéssel és az üzemeltetéssel, nem annyira az iszapszerkezettel kapcsolatosak. Ezt a tényt az üzemeltetőnek különösen szem előtt kell tartani.

De az úszóiszap még zavaróbb a makrostruktúrájú pelyhek esetében, mert szabálytalan alakjuk miatt a gázbuborékokat fokozottabban képesek magukba zárni, az elfolyó felúszó iszap pedig nagyobb mennyiségű.

Az úszóiszap problémája kiküszöbölhető, *ha az ülepített iszap a feneken, ill az iszapzsompban korlátozott ideig tartózkodik*, mielőtt az

– recirkuláltatásra vagy
– iszapelvételre (fölösiszap) kerül.

Az üzemeltetési tapasztalatok arra mutatnak, hogy a lapos fenekű központi iszapzsomppal rendelkező utóülepítők különösen érzékenyek a denitrifikációra (Gray, 1990). Az ilyen medencében az iszap a kerülethez közeli zónában hosszú ideig tartózkodhat. Az orvoslás módja az is lehet, hogy oxidált nitrogén nem jut az utóülepítőbe, ami

– a levegőztetés intenzitásának csökkentésével, vagy
– az eleveniszapos medence iszapterhelésének növelésével érhető el.

A denitrifikáció az utóülepítőben

– a recirkuláció mértékének növelésével, vagy
– az utóülepítőbe jutó kevert szennyvíz (befolyó szennyvíz + recirkuláltatott iszap) levegőztetésének változtatásával szabályozható.

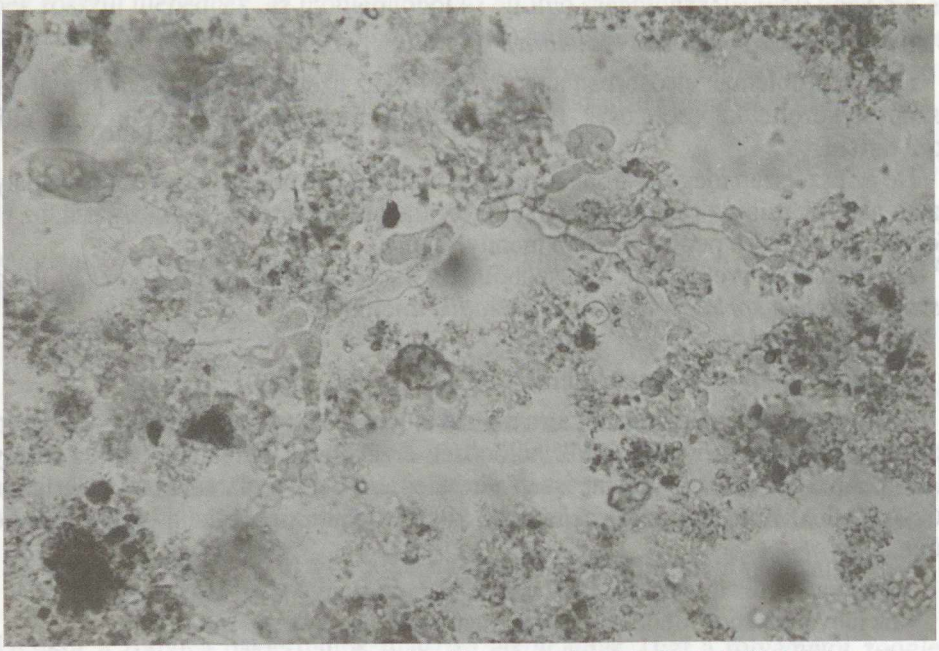
Az eleveniszapos rendszerben a leggyakoribb probléma az utóülepítőbeli fázisszétválasztásból adódik. A fázisszétválasztás az elfolyó szennyvíz BOI_5 lebegőanyag-koncentrációjának elfogadható mértékre csökkentését célozza. Gondolni kell azonban arra, hogy a fonalas rendszer nagyon jól eltávolítja a BOI_5-anyagokat, de mert az ilyen pelyhek lassabban szeparálhatók, könnyen az elfolyó szennyvízbe kerülnek, a medence fenekén pedig híg iszap keletkezik.

Az üzemeltetőnek tehát szem előtt kell tartani, hogy az utóülepítő üzemeltetése rendkívül komplex feladat, magát az utóülepítőt éppen ezért is érzékeny dinamikájú rendszernek kell tekinteni.

8.3.3.5. GOMBÁK ÁLTAL ELŐIDÉZETT ISZAPFELÚSZÁS

A nagy mennyiségű, nem közömbösített savas szennyvizet fogadó, $pH_{átl} < 6$ tartományba eső környezeti tényezők között üzemelő eleveniszapos medencék a mikroszkopikus gombák által előidézett iszapfelúszás folyamatos veszélyének vannak kitéve (*45. ábra;* Kollár, 1992). Előfordulása ritka, de a tapasztalatok szerint az *egyik leglassabban helyrehozható biológiai üzemelési rendellenesség* (Fleit et al., 1992).

A gombák a vegyi kezeléssel (pl. klórozás) szemben rendkívül ellenállók. Ezért ilyenkor a legtöbb esetben *a teljes rendszer leürítése és újraindítása elengedhetetlen.* A legeredményesebb megelőzési módszer egy puffermedence beiktatása az eleveniszapos levegőztetőmedence elé, mert ezzel a szennyvíz semlegesítése elérhető.



45. ábra. Gombatelepek tömege a felfúvódó makropehelyben (fotó: dr. Kollár György)

8.3.4. FŐ FONALAS MIKROORGANIZMUS-FAJTÁK, ELŐFORDULÁSUK VÉLHETŐ OKAI

A fő fonalas mikroorganizmusokról, előfordulásuk gyakoriságáról a *15. táblázat* tájékoztat. (Az adatok 89 USA-beli szennyvíztisztító telepről származnak, melyek iszapfelúszási problémákkal küzdenek; Richards et al., 1985; Eikelboom, 1975).

15. táblázat. A fonalas mikroorganizmusok az eleveniszapban

Előfordulási rangsor	Fonalas mikroorganizmus fajta	Telepek százaléka, ahol a fonalas mikroorganizmus domináns volt
1(b)	Type 1701	33
2(a)	Nocardia spp.	29
3(a)	Type 0041	18
4(b) (c) (e)	Type 021N	18
5(a)	Type 0803	9
6(b) (c) (e)	Thiothrix spp.	8
7(b)	Sphaerotilus natans	7
8	Nostocoida limicola	6
9	Type 1851	6
10(a)	Type 0961	4
11(a)	Haliscomenobacter hydrossis	3
12(a)	Type 0092	2
13(a)	Type 0581	2
14(a)	Microthrix parvizella	1
15(d)	Gomba	1

Megjegyzés: Domináns előfordulás vélhető oka:
(a): kis tápanyag/mikroorganizmus arány; (b): alacsony oldott oxigén koncentráció; (c): szulfidok jelenléte (és Beggiatoa sp.); (d): alacsony pH; (e): tápanyaghiány (N és/vagy P). Egyéb, iszapfelúszást eredményező mikroszervezetek lehetnek például *Crenothrix polyspora, Bacillus* sp., *Escherichia coli.*

Az *Escherichia coli* a savas jellegű környezetre kevésbé érzékeny. Ha az oldott oxigén és a nitrát elégtelen a szennyvízben a szénhidrátok vagy a leülepedett polysaccharidok teljes lebontásához, szerves savak (tej- és ecetsav) akkumulálódnak, a pH csökken. A 5 < pH < 6 környezeti viszonyok esetében az *E. coli* fonalas formában szaporodik és *E. coli* fonalas iszap képződik. Képződéséhez tehát nagy szénhidrátterhelés (Rensink, 1974) és ezzel egyidejűleg a nitrifikáló flóra túlnyomó többsége szükséges az eleveniszapban. Így az *E. coli* a pehelyben fonalas formában lehet uralkodó. Mikroszkopikusan az önálló *E. coli* a Sphaerotilushoz hasonló.

8.3.5. AZ ISZAPTÉRFOGATI INDEXET (SVI) BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Az üzemeltető számára az iszapfelfúvódás okainak ismerete elengedhetetlen.

Az iszapfelfúvódás okai a németországi 315 eleveniszapos szennyvíztisztító telep üzemeltetési tapasztalataiból rajzolódnak ki a legegyértelműbben (Wagner, 1984):

1. A fonalas mikroorganizmusok és egyes ipari szennyvizek között közvetlen kapcsolat áll fenn.

Ilyen ipari szennyvizeket
- a papíripar,
- a tejipar,
- a zöldségfeldolgozás,
- a bőr- és gumiipar,
- a gyümölcsfeldolgozás, erjesztőüzemek,
- lepárlóüzemek produkálnak.

A vágóhídi, fémfeldolgozó és textilipari üzemek szennyvizei kevésbé valószínű, hogy iszapfelfúvódást okozzanak.

A fonalas mikroorganizmusok jelenlétét – jellemzően – a kiegyensúlyozatlan tápanyag-összetételű, nagy szervesanyag-tartalmú tisztítandó szennyvizek is okozzák.

2. Az SVI-értéket az üzemelés módja is alapvetően befolyásolja.

Üzemelés módja	SVI, ml/g	
	6 havi átlagérték	10 havi átlagérték
Előülepítő van a rendszerben	125	183
Előülepítő nincs a rendszerben	61	86
Csepegtetőtestes tisztítás után	64	92
Szimultán kicsapatás (P-eliminálás) után	71	87

Ezek az adatok arra utalnak, hogy az SVI az előülepítőt is tartalmazó (nitrifikációval, de denitrifikáció nélkül üzemelő) rendszer esetében a legkedvezőtlenebb. Pedig a legtöbb eleveniszapos biológiai tisztítórendszer előülepítővel rendelkezik.

3. Az előülepítőbeli tartózkodási idő és az SVI közötti kapcsolatot a *46/a ábra* szemlélteti (Wagner, 1984): az SVI-értékek az első három óra alatt növekednek a leggyorsabban.

4. Az SVI és az eleveniszapos medence BOI_5 térfogati terhelése (kg $BOI_5/m^3 \cdot d$) kapcsolatát a *46/b ábra* érzékelteti (Wagner, 1984). Az SVI a 0,4–0,7 kg $BOI_5/m^2 \cdot d$ tartományban a legnagyobb.

5. Az SVI és a P/N közötti kapcsolatot a *46/c ábra* szemlélteti (Wagner, 1984): a P/N-arány 35% feletti tartományában az iszap könnyebben ülepszik.

6. Az utóülepítőbeli eleveniszap lebegőanyag-koncentrációja és az SVI közötti kapcsolat a *46/d ábra* szerint (Dick et al., 1969) nem egyértelmű. Az is megállapítható, hogy valamely iszap SVI-értéke az iszap koncentrációjától nagymértékben függ. Az SVI-értékek a különböző lebegőanyag-koncentrációk esetében jelentősen eltérnek.

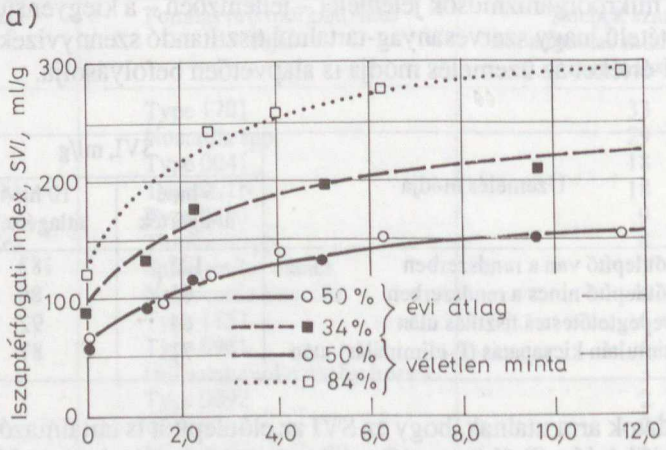
7. A hőmérséklet hatása az SVI-re a *46/e ábrán* (Dick et al., 1969; Rudolfs et al., 1934 alapján) értelmezhető. A hatás jelentős, elsősorban a viszkozitásváltozás miatt. Így a hőmérséklet önmagában is jelentősen változtathatja az SVI értékét.

8. A keverés hatása az eleveniszap ülepedésére komplex. Minthogy az ülepítés a tényleges ülepítőmedencében, a mozgó folyadék terében játszódik le, a kísérleti hengerbeli lassú keverés reális SVI-értéket eredményez. A keverés az SVI értékét csökkenti (*46/f ábra;* Dick et al., 1969).

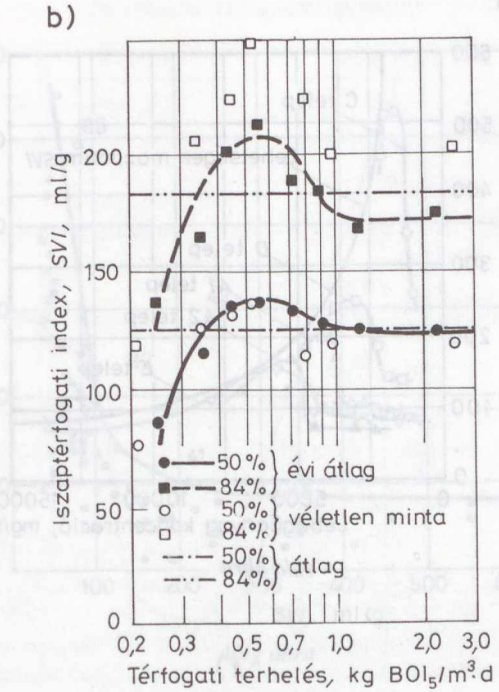
9. Az SVI és az utóülepítőből elfolyó szennyvízben lévő lebegőanyagok koncentrációja közötti kapcsolat a *46/g ábrán* adott (Pipes, 1979): megállapítható, hogy az utóülepítőből elfolyó szennyvíz a felfúvódott iszap esetében SVI > 200 ml/g tartományban a legtisztább.

10. Az SVI és tápanyag/mikroorganizmus- (T/M-) arány kapcsolata a *46/h ábrán* értelmezhető (Pipes, 1979): az SVI minimuma kb. a 0,22 < T/M < 0,48/d tartományban jelentkezik, és az ennél kisebb vagy nagyobb értéktartományban egyaránt nő (Logan et al., 1956).

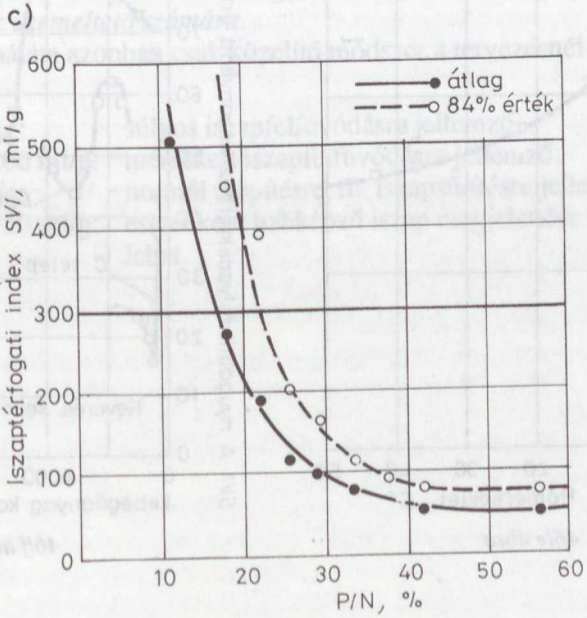
A *46/a–h ábra* jól érzékelteti az üzemeltetés fontosságát, hiszen az *SVI-szemlélet érvényre juttatása* a tervezés során ma még elég bizonytalan.



46/a ábra

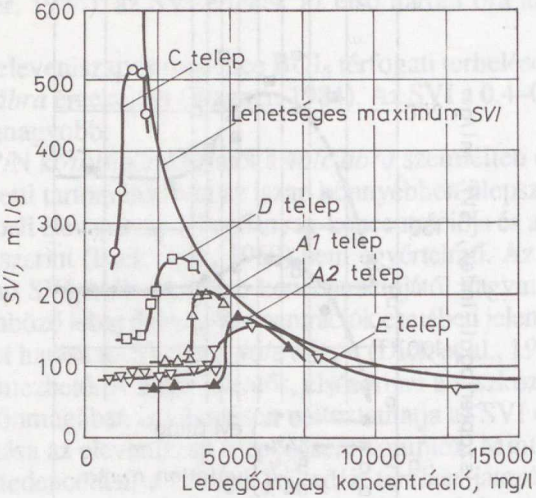


46/b ábra



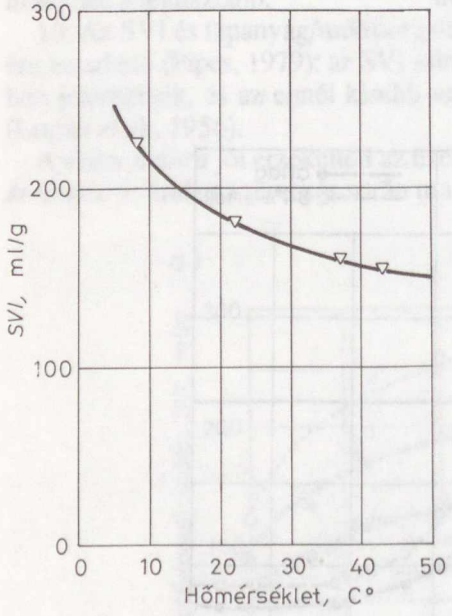
46/c ábra

d)



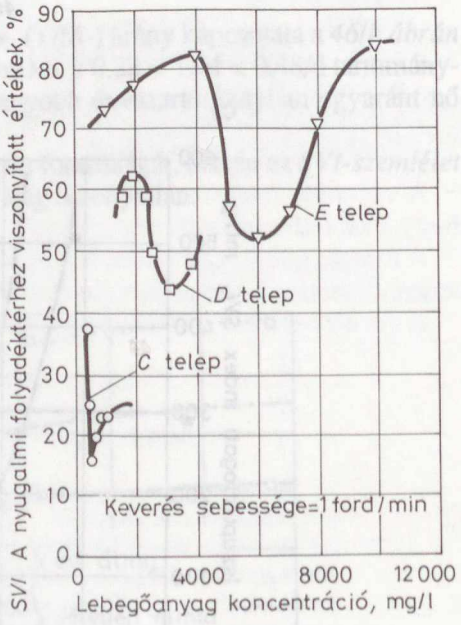
46/d ábra

e)



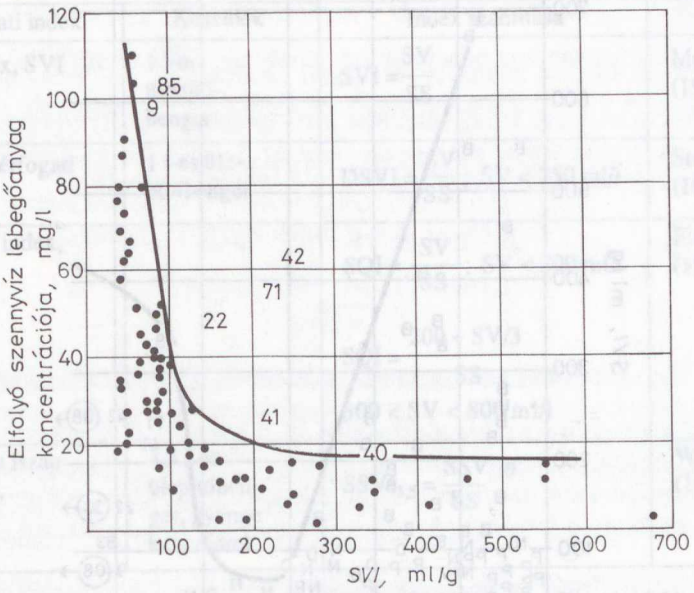
46/e ábra

f)



46/f ábra

g)



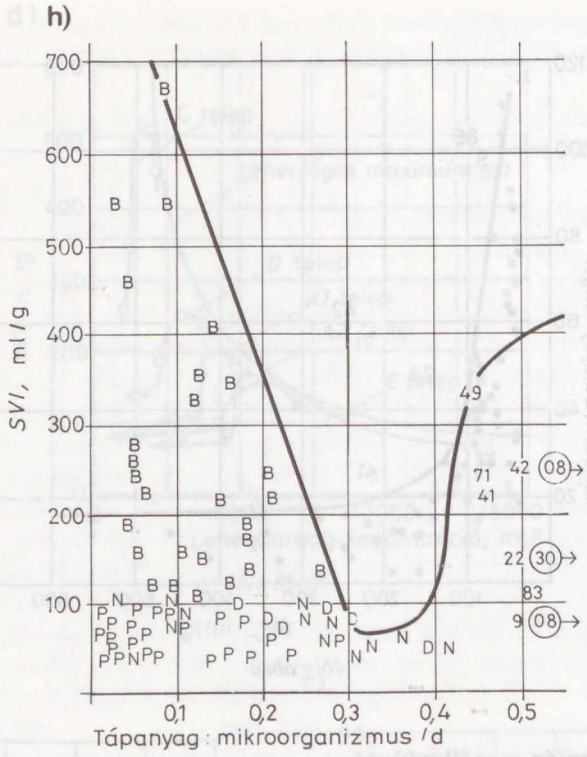
46/g ábra

Az előzőek alapján megállapítható:

1. *Amíg az iszapülepítés jellemzésére egyéb módszer nincs, addig az SVI alkalmazása hasznos az üzemeltető számára.*

2. Az SVI használata azonban csak közelítő módszer a tervezésnél és az üzemeltetésnél;

– SVI > 200 ml/g:	súlyos iszapfelfúvódásra jellemző,
– 100 < SVI < 200 ml/g:	mérsékelt iszapfelfúvódásra jellemző,
– SVI < 100 ml/g:	normál ülepítésre, ill. iszapsűrítésre jellemző,
– 100 < SVI < 150 ml/g:	esetenként habképző iszap megjelenése is jellemző lehet.



46/h ábra

46/a–h ábra. Az iszaptérfogati index (SVI) kapcsolata az előülepítőbeli tartózkodási idővel *(a);* a BOI_5 térfogati terheléssel *(b);* a P/N-aránnyal *(c);* utóülepítőbeli eleveniszap-koncentrációval *(d);* a hőmérséklettel *(e);* a keveréssel *(f);* utóülepítő-elfolyás lebegőanyag-koncentrációjával *(g);* a tápanyag/mikroorganizmus aránnyal *(h)*

8.4. KÜLÖNBÖZŐ ISZAPTÉRFOGATI INDEXEK

A hagyományos [8. fejezet, (6) egyenlet] Mohlmann iszaptérfogati index (SVI) *könnyen meghatározható* és a szokásos folyamatszabályozásokhoz mint közelítő módszer széleskörűen alkalmazható.

Az SVI a szuszpendált szilárdanyag-koncentrációval azonban változik (*46/d ábra;* Dick et al., 1969). Ennek következtében *az SVI-értékek egymással nehezen hasonlíthatók össze.*

Így új iszapindexek bevezetésére (javaslatára) került sor a folyamatok optimalizálására (Hultman et al., 1991; *16. táblázat*).

16. táblázat. Javasolt iszapindexek

Iszaptérfogati index	Készülék	Index számítása	Szerző
Mohlman-index, SVI	1 l-es ülepítő-henger	$SVI = \frac{SV}{SS}$	Mohlmann (1934)
Hígított iszap térfogati indexe, DSVI	1 l-es ülepítőhenger	$DSVI = \frac{SV}{SS}$; SV < 250 ml/l	Stobbe (1969)
Iszapminőségi index, SQI		$SQI = \frac{SV}{SS}$; SV < 300 ml/l $SQI = \frac{200 + SV/3}{SS}$ 300 < SV < 800 ml/l	Fitch et al., (1976)
Kevert fajlagos iszaptérfogati index, $SSVI_{3,5}$	3,5 l-es ülepítőhenger, gyenge keveréssel	$SSVI_{3,5} = \frac{SSV}{SS}$	White (1975, 1976)

Jelmagyarázat: SV = iszaptérfogat ml/l, 30 min ülepedési idő után, 1 l-es ülepítő henger: SSV = kevert fajlagos iszaptérfogat (ml/l), 30 min ülepedési idő után; SS = kezdeti szuszpendált szilárdanyag- (lebegőanyag-) koncentráció, g/l.

Stobbe (1969) szerint az SVI-érték, 1 l-es ülepítőhengert alkalmazva, 30 min ülepedési időt véve alapul, a kezdeti SS-értéktől közelítőleg független a < 250 ml/l tartományban. Ezért vezette be a hígított iszap térfogati indexet (DSVI), amely esetében az iszap olyan mértékig hígított, hogy az iszaptérfogat 30 min ülepedési idő elteltével 250 ml/l-nél kisebb legyen.

A kezdeti SS-koncentráció SVI-re gyakorolt hatásának elkerülése érdekében (Fitch et al., 1976) az SVI helyett az iszapminőségi indexet (SQI) vezette be.

Az SSVI-érték a legtöbb iszap esetében a kezdeti SS-koncentrációtól független, de a gyengén ülepedő iszapok részére ez nem jellemző. Ezért szabványkoncentráció használatát javasolták (White, 1975, 1976), amit $SSVI_{3,5}$ formában jelöltek meg.

Az SQI-érték a DSVI-értékkel közelítőleg azonos (Hultman et al., 1987).

Az SSVI és a DSVI közötti kapcsolat közelítőleg (Ekama et al., 1986):

$$SSVI_{3,5} = 0{,}67\ DSVI. \qquad (8)$$

Az üzemeltető számára az SVI alkalmazása bizonyára a jövőben is fennmarad még. De szemmel kell tartani a 16. táblázatban lévő egyéb meghatározási módokat, illetőleg azok fejlesztését is.

Az SVI és az $SSVI_{3,5}$ közötti kapcsolatra Eriksson et al. (1984) szerint az jellemző, hogy az SVI normál körülmények között nagyobb az $SSVI_{3,5}$-nél. De a közöttük lévő különbség az egyes iszapokra nézve nagyon eltérő. Ennek oka a pelyhek alakjának különbözőségével magyarázható. Az eltérések gömb alakú pelyhek esetében kisebbek, megnyúlt pelyhek esetében nagyobbak.

A kutatások szerint az eleveniszap-pelyheknek legalább két csoportja különböztetendő meg:

1. az egyik a folyamatos pehelytömeg, amely az SSVI-vizsgálatok során figyelhető meg,
2. a másik a pelyhek külső részében lévő törékeny pehelyszerkezet, amely az SVI/SQI-vizsgálatok során jelentkezik mint az SSVI-érték változó többletértéke. Ez a többletérték (S „alaki faktor") a következőképpen számítható:

$$S = \frac{SQI - 1{,}16\ SSVI}{1{,}16\ SSVI} = \frac{SQI}{1{,}16\ SSVI} - 1.$$

8.5. A FONALAS ISZAPFELFÚVÓDÁS SZABÁLYOZÁSA

Annak ellenére, hogy az iszapfelfúvódás, ill. a gyengén ülepedő iszapok keletkezésének megakadályozására vonatkozó üzemeltetési tapasztalatok rendkívül széles körűek, a probléma sok szennyvíztisztító telepen ma is súlyos gondokat okoz. Ennek fő oka az, hogy *a folyamatok nagyon komplexek, általánosításra alig nyílik lehetőség.*

A szennyvíztisztítási technológia lassan felismerte *a mikroszervezetek felelős szerepét az iszapfelfúvódást illetően.* A szabályozás elmélete és gyakorlata két fő irányt követ:

– kémiai oxidáció révén a felfúvódást okozó baktériumok elölése és
– a környezeti módosítások (a felfúvódást okozó baktériumok visszaszorítása) lehetőségeit kutatja.

A szabályozási mód megválasztása rendkívüli körültekintést igényel, hiszen az iszapfelfúvódást számos környezeti tényező befolyásolhatja, önállóan vagy kombinációban (Chiesa et al., 1985):

– az eleveniszapos medence oldott oxigén koncentrációja alacsony,
– az eleveniszapos medence oldott oxigén koncentrációja nagy,
– kis szervesanyag-terhelés,
– nagy szervesanyag-terhelés,
– teljes keverésű reaktorkialakítás,
– hagyományos csőreaktor-kialakítás,
– nagy fém–ion koncentrációk,
– alacsony pH,
– nagy szulfidkoncentrációk,
– alacsony relatív nitrogén- és foszforkoncentráció a befolyó szennyvízben,
– a protozoa túlzott mértékű jelenléte stb.

Az üzemeltetési tapasztalatok ezen tényezők hatását illetően ma még gyakran ellentmondásosak.

A kémiai oxidálószerek közül elsősorban a klór, ózon és hidrogénperoxid alkalmazása jöhet szóba.

A klór a Sphaerotilus, Thiothrix és Beggiatoa elölésére megfelelő, de a bacilus ellen nehezen alkalmazható a magas klóradagigény miatt, amely már deflokkulációt is eredményez.

A klórt a recirkulációs iszapágba célszerű adagolni, jó keveredését biztosítva. Az adagolás paramétere lehet pl. a dóziskoncentráció, mg Cl_2/l.

A klórozás gyakorisága, F, d^{-1} (Neethling et al., 1985):

$$F > \frac{\mu_2 - \mu_1}{P_1 - P_2}, \tag{9}$$

ahol μ_2 – a fonalas mikroorganizmusok nettó szaporodási sebessége, d^{-1},

μ_1 – a pehelyképző mikroorganizmusok nettó szaporodási sebessége, d^{-1},

P_1 – a pehelyképző baktériumok túlélési aránya, X_1/X_0; ahol X_1 az élő pehelyképző baktériumok száma, g/m^3; X a betáplált szennyvíz pehelyképző baktériumainak száma, g/m^3.

P_2 – a fonalas baktérimok túlélési aránya X_2/X_0.

A (9) egyenlet számlálója az iszapfelúszási potenciált, a rendszerbeli iszapfelfúvódás hajtóerejét képviseli. A nevező a pehelyképző és a fonalas mikroorganizmusok mennyisége közötti különbség a klórozás alatt.

F felírható a következő formában is (Neethling et al., 1985):

$$F > \frac{\mu_2 - \mu_1}{2 - 2\,N/N_0}, \tag{10}$$

ahol N/N_0 a teljes túlélési arány. $N/N_0 = f_1P_1 + f_2P_2$; ahol f_1 a pehelyképző szervezetek túlélési hányada és f_2 a fonalas szervezetek túlélési hányada.

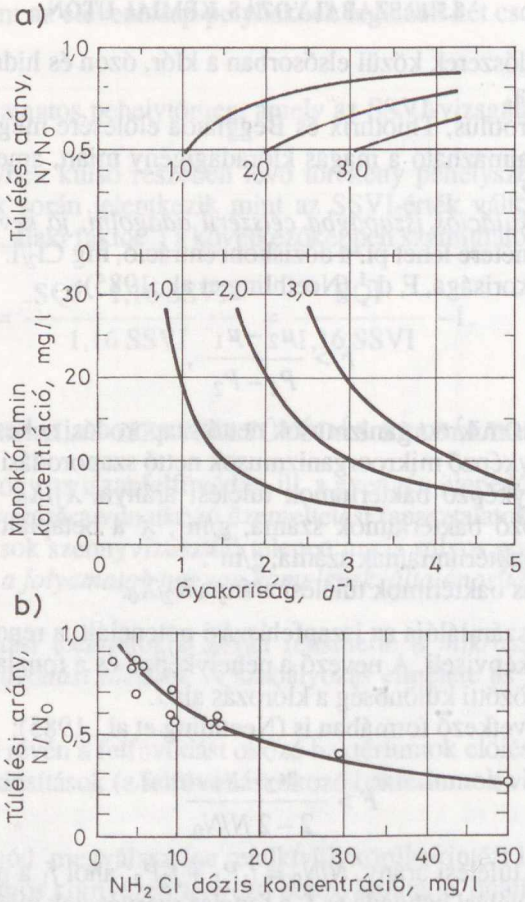
A *47/a ábra* a (10) egyenlet reakcióit mutatja, az iszapfelfúvódási potenciál 1,0, 2,0 és 3,0 értékeire. Valamely felfúvódási potenciál, a limitáló gyakoriság (amely alatt a felfúvódás ellen klórozással nem lehet védekezni) csökken, ahogy a túlélési arány csökken. Minimumot ér el, ha a túlélési arány zéró. A *47/b ábra* a monoklóramin és a túlélési arány közötti kapcsolatot érzékelteti (Neethling et al., nyomán, 1985). Az ábra és a (10) egyenlet alapján a dóziskoncentráció és az oxidáció gyakorisága közötti kapcsolat meghatározható.

A klórral kapcsolatos üzemeltetési tapasztalatok (Pipes, 1974):

1. A szabad klóros oxidáció a recirkulációs iszapágon csak a teljesen nitrifikáló eleveniszapos rendszerben létezhet. Ha a klórt olyan recirkulációs iszaphoz adagolják, melyre nézve a 2,5 mg Cl_2/mg NH_3–N-arányok a jellemzők, akkor először monoklóramin keletkezik, így olyan a hatás, mint monoklóramin adagolásakor.

2. A nitrit a recirkulációs iszapágban a szabad klórral sztöchiometriailag gyorsan reakcióba lép. A szabad klór a fonalas szervezetek elöléséhez addig nem áll rendelkezésre, amíg a nitrit nem oxidálódik.

3. A monoklóramin a nitrittel nem lép reakcióba a recirkulációs iszapági klórozáskor, így hatása (a nitrit jelenléte miatt) a fonalas baktériumokra nem csökken.



47/a–b ábra. Iszapfelfúvódás szabályozása klórozással. Kapcsolat a klóradagolási paraméterek és az oxidáció gyakoriság között 1,0, 2,0 és 3,0 felfúvódási potenciál esetében *(a);* a monoklóramin és a túlélési arány közötti kapcsolat laboratóriumi méretű eleveniszapos rendszer esetében *(b)*

4. A recirkulációs iszapágba (nem pedig az eleveniszapos medencébe bevezetett szennyvízbe) a klórozási hely előtt ammóniaadagolás célszerű, mert így a monoklóramin jelenléte biztosítható, ugyanakkor a reakció a nitrittel elkerülhető.

5. Úgy tűnik, hogy a kis tápanyag/mikroorganizmus arány miatt jelentkező fonalas mikroorganizmusok a monoklóraminnal szemben ellenállóbbak, mint amelyek az alacsony oldott oxigénszint miatt szaporodtak el.

6. Az iszapfelfúvódás klóros szabályozásakor az elfolyó szennyvíz KOI-koncentrációja számottevően emelkedik.

7. A klóradag általában 10–20 mg/l. A 20 mg/l feletti dózisok az iszapot deflokkulálják.

8. Az ózon- és a hidrogénperoxid-dózisok a klórénál jóval nagyobbra választandók. Az ózon a klórnál jóval drágább, és nagy ózonadag szükséges az iszapfelúszás-szabályozáshoz.

9. A fonalas baktériumok felfúvódást eredményező hatása elsősorban mechanikai, hiszen a fonalak a pelyhekből a folyadéktérbe kinyúlva, a pelyheket egymástól távol tartják. Ha a kinyúló fonalaknak a részecskék felületére való rácsavarodását el lehet érni, akkor azok az iszap térfogatát kevésbé növelik. Az, hogy a fonalak a részecskék felületéből kinyúlnak, avagy azokra rácsavarodnak, a fonalak felületi töltésétől is függ. A felületi töltés neutralizálásához pelyhesítőszerek használhatók. A neutralizálás után a fonalak a részecskék, ill. pelyhek felületére csavarodnak. A pelyhesítőszerek egy része ugyanakkor a pelyhek súlyát is növeli.

10. A mész az iszapfelfúvódás szabályozásában elsősorban a pehelysúlyt növeli és kismértékben baktericid és pelyhesítő hatású. 100 mg/l vagy ennél nagyobb alkalinitású szennyvízbe adagolva, kalciumkarbonát keletkezik és a pH nő. Az üzemeltetési tapasztalatok szerint a pH 7,0-ről 8,0 értékre növekedése egyes fonalas baktériumok visszaszorítását is eredményezi. A kalciumkarbonát-csapadék a pehely súlyát növeli, ezáltal az SVI csökken.

11. Az alumínium- és vassók is alkalmazhatók lennének az SVI csökkentésére, azonban a befolyó szennyvízre vonatkoztatva több száz mg/l adag lenne szükséges, ami gazdasági szempontból nem kerülhet szóba.

12. Egyes szerves polielektrolitok is alkalmasak az SVI csökkentésére, de a gazdasági tényező esetükben is kedvezőtlen.

13. Az üzemeltetési tapasztalatok szerint az iszapfelúszás kémiai szabályozása a költség miatt általában csak esetenként alkalmazható. Ilyen időszakban *az üzemeltető a rossz üzemelési periódust át tudja vészelni.* Alulterhelt vagy túlterhelt telepnél az elfolyó szennyvíz megkövetelt minőségének biztosításához segítséget nyújt a kémiai kezelés (mindaddig, amíg a telep kapacitása növelhető).

8.5.1.1. A KLÓRADAG MEGHATÁROZÁSA

Az iszapfelúszás megakadályozását célzó klóradag meghatározása az üzemeltető fontos feladata.

A meghatározáshoz lombikvizsgálat szükséges (Pipes, 1974). A *recirkulációs iszapból vett* nagyobb mennyiségű mintát 1 l-es lombikokba kell egyenlő mértékben szétosztani. Az első lombikban a szennyvíz kezeletlen marad; ez a kontrollrendszer. A többi lombik szennyvizét különböző klór- (vagy egyéb baktericid hatású oxidálószer-) adagokkal kell kezelni. Bizonyos reakcióidő elteltével a lombikból vett mintákat mikroszkóppal kell vizsgálni, majd a lombikbeli recirkuláltatott iszapot ülepítőhengerben kell ülepíteni.

A *mikroszkópi vizsgálatokból* arra a klóradagra lehet következtetni, amelynél a fonalas pelyhek széttöredezése megkezdődik.

Az *ülepedési vizsgálatnál* a leülepedett iszap megadja az ülepedett iszap sűrűségének mértékét, valamint azt a klórdózist, amelynél a deflokkuláció megindul.

A vizsgálatok közelítő adatokat szolgáltatnak, de a klór túladagolása ezáltal elkerülhető. A klóradagot a tisztítótelepen fokozatosan célszerű növelni. Az adagolás

a recirkulációs iszapágba folyamatos legyen, de ha az SVI már a kívánt üzemelési tartományba esik, az adagolást meg kell szakítani. Az SVI azonban gyakran tovább süllyed – a kívánt érték alá.

Ez azonban nem általános szabály és az üzemeltetőnek a klór további adagolására is készen kell állnia.

8.5.2. SZABÁLYOZÁS AZ ELEVENISZAPOS REAKTORRENDSZER CÉLSZERŰ KIALAKÍTÁSÁVAL

Az iszapfelfúvódás jelentkezése várható alacsony oldott oxigén szinten, magas oldott oxigén szinten, kis tápanyag/mikroorganizmus aránynál; nagy tápanyag/mikroorganizmus aránynál és alacsony pH-tartományban. Ez a kissé zavarba ejtő kép azt bizonyítja, hogy *iszapfelfúvódás bármely szennyvíz esetében jelentkezhet, ha*

– *akár az üzemeltetés,*
– *akár a reaktor kialakítása nem tökéletes.*

Ilyen szempontból a lehetséges fő biológiai szabályozási módok (Albertson, 1978; Rensink, 1974):

1. Nagyon hosszú (hosszúság–szélesség 20/1, csőreaktor) vagy terelőfalas medence, a visszakeveredés minimalizálása céljából és a kezdeti (befolyási) zónában az oldott oxigén szabályozására.
2. A biológiai reaktor kamrákra osztása a visszakeveredés megakadályozása céljából. Ily módon a kamrában a tápanyag/mikroorganizmus arány-gradiens szabályozható.
3. A kamrákra osztott reaktor első zónájában aerob (2 mg O_2/l) környezet, vagy oldott oxigén hiányos (0,2 mg/l) állapot létezik. Mindkét esetben magas tápanyag/mikroorganizmus terhelés (3 kg BOI_5/kg lebegőanyag · d) jellemző.
4. Egymást követő lombik- (batch-) reaktorok, amelyekbe levegőbevitel nincs. Ez a rendszer a nagyon hosszú (végtelen számú kamrát magában foglaló) csőreaktor-rendszerrel azonos.

8.5.2.1. KAMRÁKRA OSZTOTT ELEVENISZAPOS MEDENCE

Egy-, két- és négykamrás eleveniszapos medence a maximális tápanyag/mikroorganizmus arány-gradiens esetében produkálja a legkisebb SVI-tartományt (*17. táblázat;* Stevenage, 1969).

17. táblázat. SVI és a levegőztetett, eleveniszapos reaktor kamraszáma közötti kapcsolat, különböző tartózkodási idők esetében

Üzemelő kamrák száma	Tartózkodási idő, h	
	6	12
	SVI, ml/g	
1	46–162	50–203
2	44–129	55–125
4	42– 73	49– 75

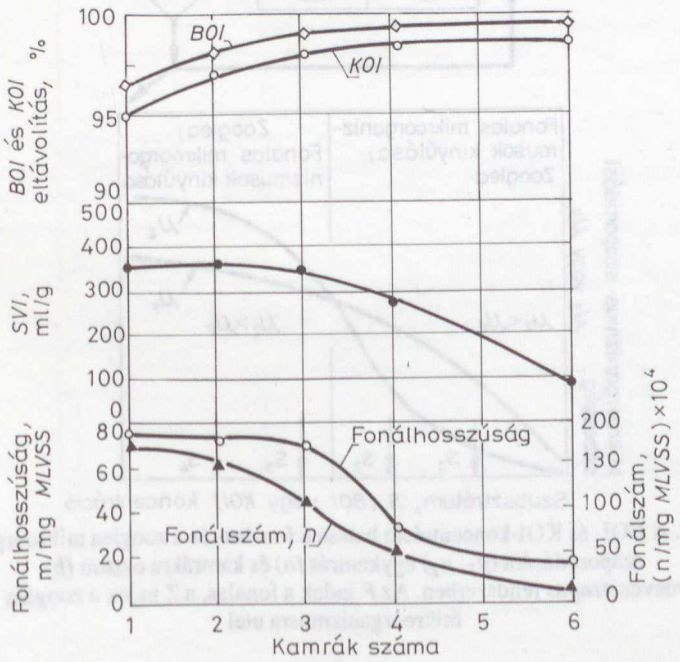
Hasonló eredményt szolgáltat a *18. táblázat* is (Chudoba et al., 1973): minél nagyobb a kamrák száma az eleveniszapos medencében, annál kisebb az SVI; vagy minél kisebb a diszperziószám (D), annál kisebb az SVI. (Egykamrás, teljes keverésű, eleveniszapos medence diszperziószáma (∞), míg az ideális csőreaktor és a lombik- (batch-) reaktor diszperziószáma 0.

18. táblázat. SVI és az üzemelő kamrák száma (és diszperziószáma) közötti kapcsolat

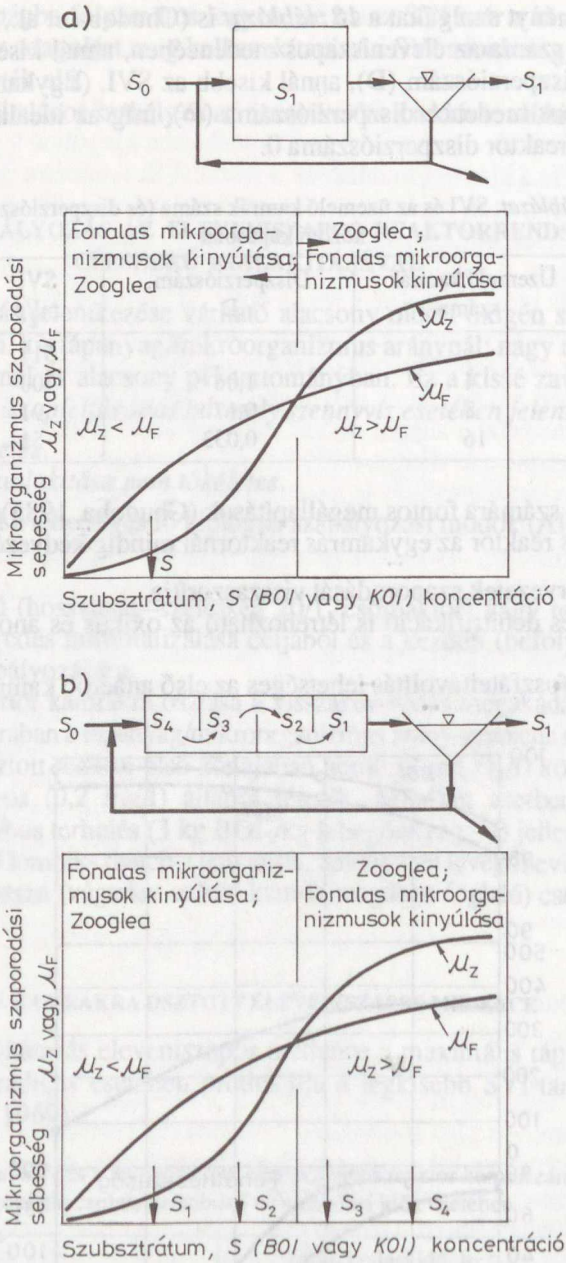
Üzemelő kamrák száma	Diszperziószám, D	SVI ml/g
1		517
4	1,06	300
8	0,17	91
16	0,033	51

Az üzemeltető számára fontos megállapítások (Chudoba, 1985): a kamrákra osztott eleveniszapos reaktor az egykamrás reaktornál mindig kedvezőbb, mert

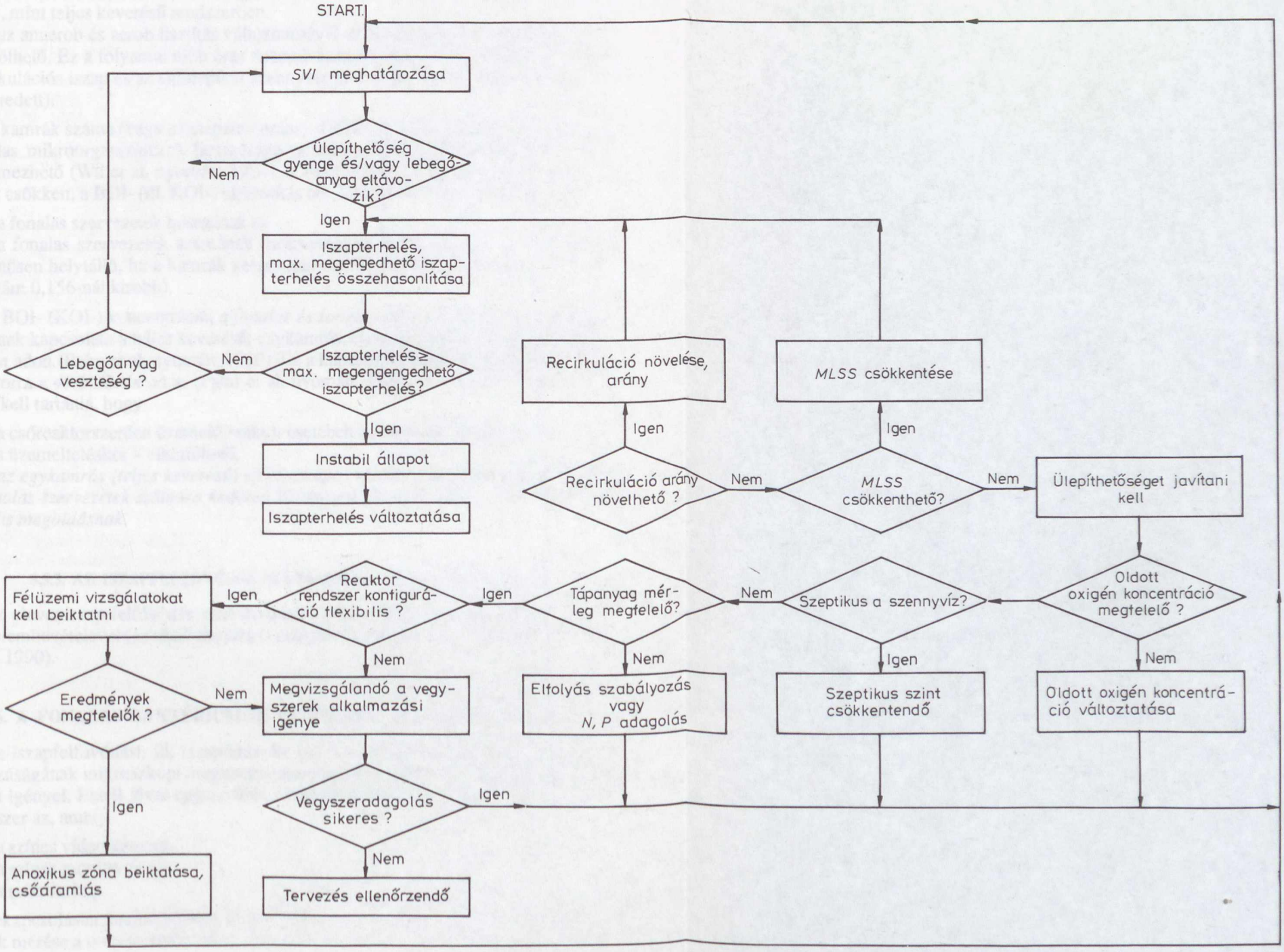
– a fonalas szervezetek szaporodását visszaszorítja,
– nitrifikáció és denitrifikáció is létrehozható az oxikus és anoxikus zónák változtatásával,
– fokozottabb foszfáteltávolítás lehetséges az első anaerob kamrában,



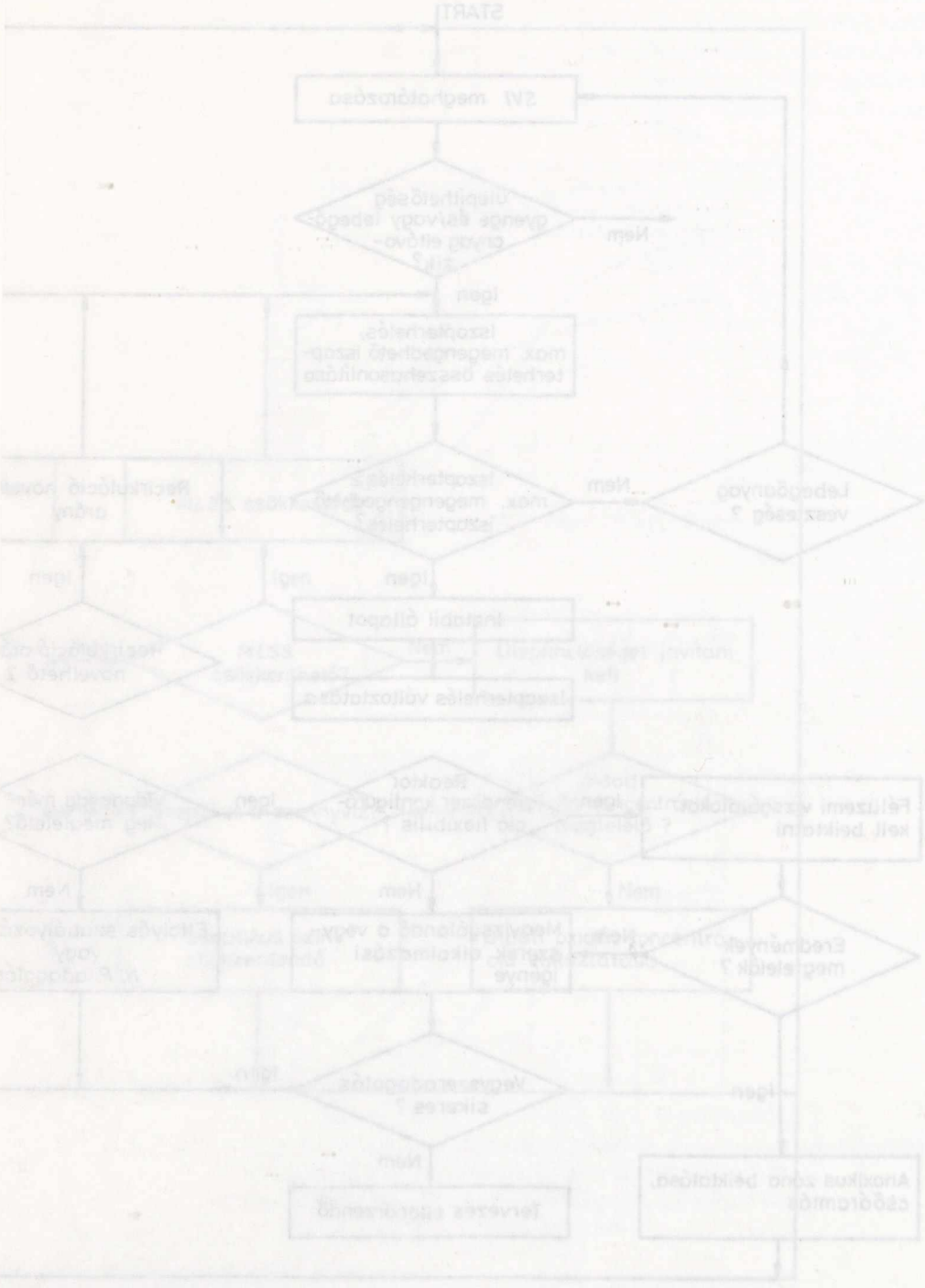
48. ábra. A kamrák számának kapcsolata BOI- és KOI-eltávolítással, SVI-vel, fonalhosszúsággal és fonalszámmal



49/a–b ábra. A BOI- és KOI-koncentráció hatása a fonalas- és a zooglea mikroorganizmusok szaporodására (μ_F, μ_Z) egykamrás *(a)* és kamrákra osztott *(b)* eleveniszapos rendszerben. Az *F* index a fonalas, a *Z* index a zooglea mikroorganizmusra utal



50. ábra. Iszapfelfúvódás-szabályozás folyamatsémája



– a nitrifikáló baktériumok a nagyobb NH_4^+–N koncentrációkra kevésbé érzékenyek, mint teljes keverésű rendszerben,

– az anaerob és aerob tisztítás változtatásával az iszapfelfúvódás általában kiküszöbölhető. Ez a folyamat több órás anaerob kontakt időt igényel (miután az aerob recirkulációs iszap és az előülepített szennyvíz az első kamrába került és ott összekeveredett).

A kamrák száma (vagy a diszperziószám), a BOI- és KOI-eliminálás, az SVI és a fonalas mikroorganizmusok hosszúsága és száma közötti kapcsolat a *48. ábrán* értelmezhető (Wu et al. nyomán, 1984): a kamrák arányának növelésével az SVI-érték csökken, a BOI- (ill. KOI-) eltávolítás nő. Az SVI csökkenését elsősorban

– a fonalas szervezetek hosszának és

– a fonalas szervezetek számának csökkenése eredményezi. Ez a megállapítás különösen helytálló, ha a kamrák száma három fölé emelkedik (amikor a diszperziószám 0,156-nál kisebb).

A BOI- (KOI-) koncentráció, *a fonalas és zooglea mikroorganizmusok* szaporodásának kapcsolata a teljes keverésű, egykamrás, eleveniszapos rendszerben a *49/a ábrán* adott (Palm et al. nyomán, 1980). Ez a kapcsolat a kamrásított eleveniszapos reaktorra a *49/b ábrán* adott (Palm et al. nyomán, 1980). Az üzemeltetőnek szem előtt kell tartania, hogy

– a csőreaktorszerűen üzemelő reaktor esetében az eleveniszap-felfúvódás – normális üzemeltetéskor – elkerülhető,

– *az egykamrás (teljes keverésű) eleveniszapos reaktor üzemelési szempontból – a fonalas szervezetek számára kedvező környezeti tényezők miatt – nem tekinthető ideális megoldásnak.*

8.5.3. AZ ISZAPFELFÚVÓDÁS-SZABÁLYOZÁS FOLYAMATSÉMÁJA

Az eleveniszap-felfúvódás szabályozása elsősorban a technológiai folyamatok figyelembevételével (az okok tisztázása alapján) az *50. ábrán* követhető (Gray nyomán, 1990).

8.6. A FONALAS BAKTÉRIUMOK ÉS GOMBÁK HOSSZÁNAK MÉRÉSE

Az iszapfelfúvódást, ill. iszapfelúszást okozó fonalas baktériumok és gombák hosszúságának mikroszkópi meghatározása nagyon időigényes, és nagyfokú jártasságot igényel. Ennél jóval egyszerűbb, rövidebb mérési időt igénylő és pontosabb módszer az, amely

– a színes video kamera,

– a színes monitor tv és

– a mikroszkóp

összekapcsolásán alapul (Matsui et al., 1984). A szóban forgó mikrobák hosszúságának mérése a tv-képernyőn lehetséges; a fonalak hossza hosszmérő eszközzel határozható meg.

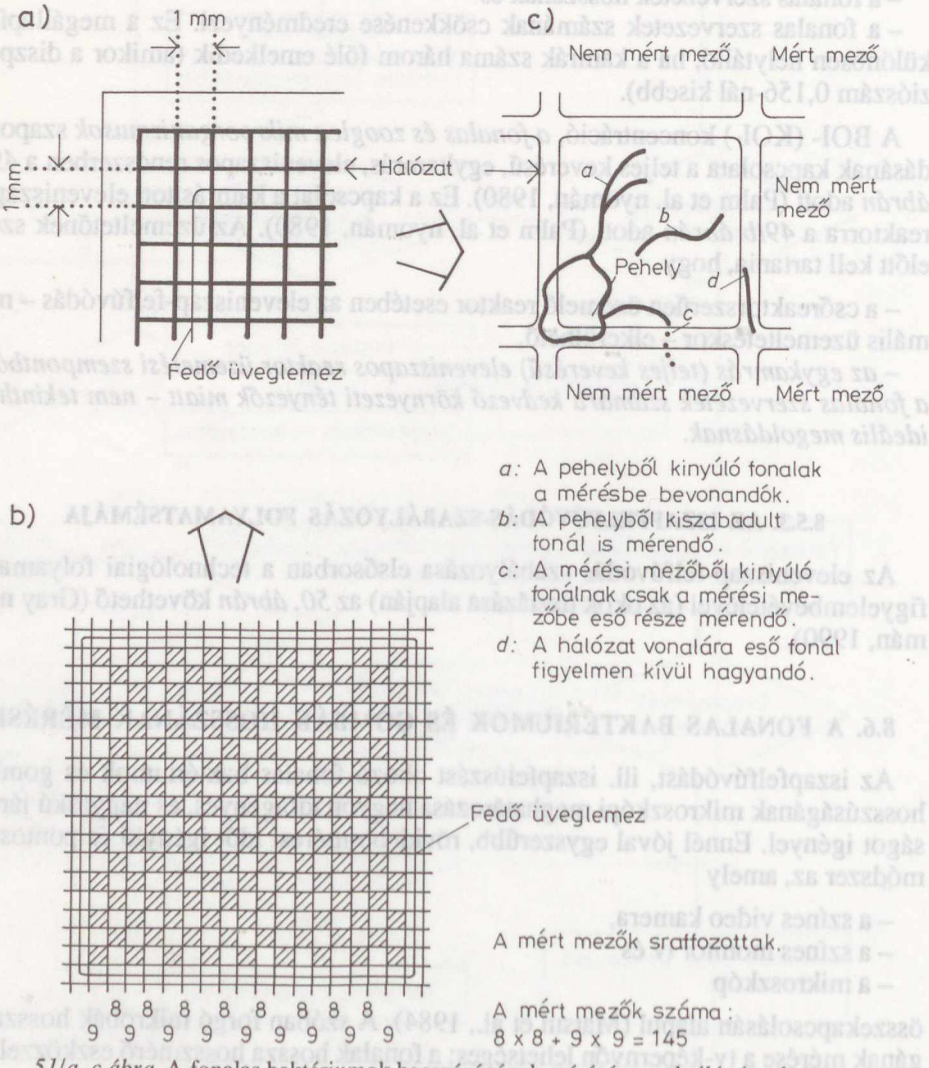
1. A fonalas baktériumok hosszúsága a következőképpen határozható meg:

1. A hígított mintából 1 ml mennyiséget kell venni – széles szájú (legalább 1,5 mm átmérőjű) pipettával. A széles száj azért kell, nehogy pipettázás közben az eleveniszap-pelyhek széttörjenek.

2. A mintából (a mintára jellemző) egy cseppet tárgylemezre kell jutatni.

3. Az üveg tárgylemez négyzethálózata 1 mm szélességű (*51/a ábra;* Matsui et al. nyomán, 1984).

4. A cseppre 18 mm×18 mm területű fedőlemez helyezendő, amely a tárgylemezen lévő csepp nagyobb részét lefedi.



51/a–c ábra. A fonalas baktériumok hosszúságának mérésére szolgáló tárgylemez és a mérés elve

5. Helyezzük a tárgylemezt a mikroszkóp tárgyasztalára, 10x objektívet használva. Állítsuk a tv-képernyőt optimális állapotba.

6. Így a hálózat egy eleme a tv-képernyőn láthatóvá válik.

7. A fedőlemez 17×17 négyzetmezőt takar le *(51/b ábra)*.

8. Minden más mező a mérés objektumává válik, ami 145 négyzetes mező mérését teszi lehetővé.

9. A rácshálózatvonalak a teljes mező 4,66%-át teszik ki, ami a teljes mérési mezőből levonandó. A tárgylemezen mért teljes terület e fedőlemezzel fedett terület 42,7%-a.

10. A pelyhekből kinyúló valamennyi fonalat a hosszmérő eszközzel nyomon kell követni *(51/c ábra)*. Ha a fonalas kinövés köteget alkot, a fonalak átlagos hosszát a fonalak számával kell megszorozni. Ha valamely fonalköteg nagyon nagy és a benne lévő fonalakat megszámolni nehéz, akkor a köteg szélességét kell meghatározni és ezt a fonalas baktériumok átlagos szélességével kell elosztani. Így a fonalak száma kiadódik. A köteg átlagos hosszúságának és a fonalak számának a szorzata adja meg a kötegben levő fonalak becsült összes hosszúságát. Ha a fonalak gömbszerű alakzatúak, azok a mérésekből elhagyandók, mert a pelyhek ülepíthetőségét a pelyhekből kinyúló fonalak befolyásolják hátrányosan, hiszen a pelyhesedést akadályozzák.

2. A gombák hosszúsága a fonalas baktériumok hosszúságának meghatározásától eltérő módszer szerint mérhető meg (Matsui et al. nyomán, 1984); a csepp térfogata elégtelen ahhoz, hogy nagyszámú baktériumokból és gombákból felépített pehely legyen vizsgálható. A mérési módszer alapja az a megfigyelés, hogy a gombákat a fonalas baktériumoktól könnyű megkülönböztetni, hiszen a fonalas gombák szélessége (5–10 µm) nagyobb a fonalas baktériumok szélességénél (0,5–2 µm) és a gombák fonalaiból számos fonal ágazik ki (*52/c ábra;* Matsui et al., 1984).

A fonalas gombák hosszúsága a következőképpen határozható meg:

1. 1 mm széles rácsfonalakkal ellátott tárgylemez használandó, ezen egy keret van *(52/a ábra)*. A keret térfogata: 50 mm hosszúság, 20 mm szélesség, 1 mm mélység. Így ml-nyi mintafolyadékot tartalmazhat.

2. Juttassuk a mintát a keretbe. A minta a gombák hosszúságától függően 1/200, vagy ennél is nagyobb hígítású. Helyezzük a fedő üveglemezt a keretre.

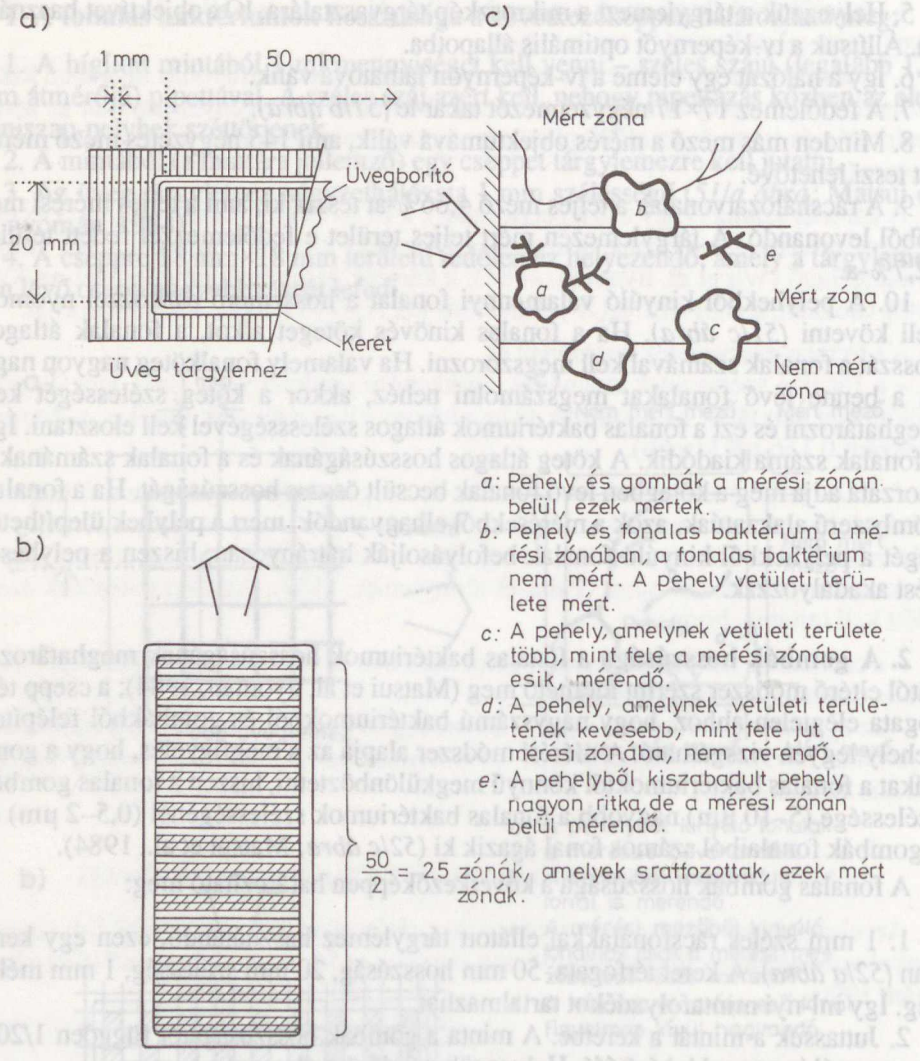
3. Helyezzük a tárgylemezt a mikroszkóp tárgyasztalára és dolgozzunk a 10x objektívvel. A tv-képernyőt állítsuk optimális állapotba.

4. A kereten belül 50 zóna látható. Ezek közül 25 lesz a mérési zóna. Két szomszédos zóna mérési zóna és a következő két zóna mérésen kívül eső zóna *(52/b ábra)*.

5. Tapogassunk le minden fonalat, amely a pelyhekből kinyúlik, a hosszmérő berendezéssel *(52/c ábra)*. Ha a gombák nagyon nagy mértékben szaporodnak, önmaguk alkotnak pelyheket, és nehezen mérhetők. Így mérésük céltalan.

6. Ha a pelyhek vetületi területeit meg kell határozni, kövessük a fonal nyomán a pelyhek külső kontúrvonalát átlátszó papíron át.

7. A pelyhek vetületi területei különböző módszerekkel számíthatók, mint például digitális számítógéppel, amely a vonalak x és y pozíciójának tárolására képes



52/a–c ábra. Keretes tárgylemez a gombák hosszának meghatározására. A pelyhek vetülete látható. A gombák és pelyhek meghatározási elve követhető

valamely memóriaegységben, amely elektromos kalkulátorral összekötött, és a területek előre elkészített program szerinti kiszámítására képes.

Az üzemeltetőnek a mérésekből adódó alábbi megállapítást kell szem előtt tartania: a fonalas szervezetek a pehelyképződést akkor gátolják, ha szaporodásuk során a keverék szennyvízben szuszpendált szilárd anyag (MLSS) a 10^3 cm/mg értéket meghaladja. Így *a kritikus szint, annak eldöntéséhez, hogy valamely iszap felfúvódik, ill. felúszik, a 10^3 cm/mg fonálhosszúsággal definiálható.*

Ez a fonalhossz-vizsgálati módszer a Magyarországon is használatos Buerker-kamrás számlálási módszerhez hasonló.

8.7. IRODALOM

Albertson, O. E. (1987): The Control of Bulking Sludges. From the Early Innovators to Current Practice. *J. WPCF*, Vol. 59. No. 5.

British Water Pollution Research Laboratory (1969). Ministry of Technology, H. M. S. O., London.

Berthouax, P. M., Hunter, W. G., Fan, R. (1985): Characterization of Treatment Plant Upsets. In: *Instrumentation and Control of Water and Waste-water Treatment and Transport Systems*. Pergamon Press, London, England.

Chiesa, S. C., Irvine, R. L. (1985): Growth and Control of Filamentous Microbes in Activated Sludge: an Integrated Hypothesis. *Water Res.*, Vol. 19, No. 4.

Chudoba, J. et al. (1973): Control of Activated Sludge Filamentous Bulking I. Effect of the Hydraulic Regime or Degree of Mixing in an Aeration Tank. *Water Res.*, 7.

Curtis, E. J. C. et al. (1971): Sewage Fungus: Studies of Sphaerotilus Slimes Using Labo.atory Recirculating Channels.

Docl, R. I., Vesilind, P. A. (1969): The Sludge Volume Index-What is it? *J. WPCF*, 41.

Drake, R. A. R. (1985): Instrumentation and Control of Water and Wastewater Treatment and Transport Systems. *IAW–PRC Conf.*, Pergamon Press, London, England.

Ekama, G. A., Marais, G. v. R. (1986): Sludge Settleability and Secondary Settling Tank Design. *Procedures. Water Pollution Control.*

Eikelboom, D. H. (1975): Filamentous Organisms Observed in Activated Sludge. *Water Research*, 9.

Fleit E., Gulyás T. (1993): Az iszapfelúszás problémája az eleveniszapos szennyvíztisztításban. *Hidrológiai Közlöny.*

Fitch, B., Kos, T. (1976): Towards a More Meaningful Index of Sludge Quality. *J. WPCF.*

Grall, B. R. A., Patry, G. G. (1989): Knowledge-Based System for the Diagnosis of an Activated Sludge Plant. In: *Dynamic Modeling and Expert Systems in Wastewater Engineering*. Levis Publishers, Inc., Chelsea, Printed in USA.

Gray, N. F. (1990): *Activated Sludge. Theory and Practice*. Oxford Science Publications.

Hegg, B. A., Rakness, K. L., Schultz, J. R. (1979): Evaluation of Operation and Maintenance Factors Limiting Municipal Wastewater Treatment Plant Performance. *EPA*-600/2-79-034. Cincinnati, Ohio, USA.

Hultman, B., Molina, L. (1987): Volatile Fraction Measurement. A Valuable Aid in Activated Sludge Process Optimization. Design and Operation of Large Wastewater Treatment Plants. *IAWPRC Conf.* Vol. 1, Budapest, 14–18. Sept.

Jenkins, S. D., Parker, D. S. (1978): A Unified Theory of Filamentous Activated Sludge Bulking. *J. WPCF*, February.

Jenkins, D., Richard, M. G., Daigger, G. T. (1987): *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*. Ridgeline Press, Lafayette, Calif.

Logan, R. P., Budd, W. E. (1956): Effect of BOI Loading on Activated Sludge Plant Operation. In: *Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes*. Vol. I. Aerobic Oxidation. (J. McCabe, Eckenfelder W. W. Jr. Eds.) Reinhold, Publ. Corp. New York.

Matsui, S., Yamamoto, R. (1984): The Use of a Color TV Technique for Measuring Filament Length and Investigating Sludge Bulking Causes. *Wat. Sci. Techn.*, Vol. 16, Vienna, IAWPRC.

Mueller, J. A. et al. (1966): Oxygen Diffusion Through a Pure Culture Floc of Zooglea Ramigera. Proc. *21st Purdue Industrial Waste Conf.*, Lafayette, Ind.

Mulder, E. G. (1969): Fresh Water Bacteria: Iron Bacteria. *J. Appl. Bact.*, 27.

Neethling, J. B., Jenkins, D., Johnson, K. M. (1985): Chemistry, Microbiology, and Modeling of Chlorination for Activated Sludge Bulking Control. *J. WPCF*, Vol. 57, No. 8, August.

Okun, D. A. (1949): System of Bio-Precipitation of Organic Matter from Sewage. *Sewage Works*, 21.

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

Patry, G. G., Ölsson, G. (1987): Dynamic Modelling and Expert Systems in Wastewater Engineering. In: *Wastewater Technology Center Newsletter*. Environment Canada, Nov.
Pipes, W. O. (1966): Ecological Study of Activated Sludge. *Adv. Appl. Microbiol.*, 8.
Pipes, W. O. (1974): Control Bulking with Chemicals. *Water and Wastes Engineering*, Nov.
Pipes, W. O. (1978): Actinomycete Scum Production in Activated Sludge Process. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 50, 4.
Pipes, W. O. (1979): Bulking Deflocculation and Pin-point Floc. *J. WPCF.*, Vol. 51, No. 1.
Rensink, J. H. (1974): New Approach to Preventing Bulking Sludge. *J. WPCF*, Vol. 46, No. 8, August.
Richard, M., Hao, O., Jenkins, D. (1985): Growth Kinetics of Sphaerotilus Species and their Significance in Activated Sludge Bulking. *J. WPCF*, Vol. 57, No. 1, January.
Rudolfs, W., Lacy, I. O. (1934): Settling and Compacting of Activated Sludge. *Serv. Works*, Jour. 6, July.
Sezgin, M. et al. (1978): A Unified Theory of Filamentous Activated Sludge Bulking. *J. WPCF*, 50.
Sezgin, M., Karr, P. R. (1986): Control of Actinomycete Scum on Aeration Basins and Clarifiers. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 58, 10.
Stobbe, G. (1969): Über den Schlammindex. *Städtehygiene*, 9.
Stokes, J. L. et al. (1954): Studies on the Filamentous Sheathed Iron Bacterium Sphaerotilus natans. *J. Bact.*, 67.
Van Fleet, G. L. (1984): Plant Performance – An Overview. In: *Proceedings Wastewater Treatment Pollution Control Association of Ontario and Ontario Ministry of the Environment*. November.
Wagner, F. (1984): Studies on the Causes and Prevention of Bulking Sludge in Germany. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 16, Vienna, IAWPRC.
Wheeler, M. L., Jenkins, D., Richard, M. G. (1984): The Use of "Selector" for Bulking Control at the Hamilton, Ohio U. S. A., Water Pollution Control Facility. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 16, Vienna, IAWPRC.
White, M. J. D. (1975): Settling of Activated Sludge. *WRC Technical Report TR11*, Water Research Centre. England.
White, M. J. D. (1976): Design and Control of Secondary Settlement Tanks. *Water Pollution Control*, 75.
Wu, Y. C., Hsieh, H. N., Corey, D. F., Ou, K. C. (1984): Control of Activated Sludge Bulking. *J. of Environmental Engineering*, Vol. 110, No. 2, April.

8.8. KÉRDÉSEK

1. Az utóülepítés szerepe az eleveniszapos szennyvíztisztítási eljárásban. (8.1. fejezet.)
2. Az utóülepítő hatásfokát befolyásoló fő tényezők. (8.1. fejezet.)
3. Az iszapfelfúvódás jelensége. (8.2. fejezet.)
4. Az iszaptérfogati index, értelmezése, alkalmazhatósága. (8.2. fejezet.)
5. Az iszaptömörödés fontossága az utóülepítőben. (8.2. fejezet.)
6. Az iszap ülepíthetőségét befolyásoló tényezők. (8.3. fejezet.)
7. Jellemző pehelyszerkezetek. (8.3.1. fejezet, 42/a–c ábra.)
8. A fonalas iszapfelfúvódás következményei az utóülepítésben. (8.3.2. fejezet.)
9. Sphaerotilus és zooglea mikroszervezetek egyensúlya, szerepe az utóülepítésben. (8.3.2.1. fejezet.)
10. Deflokkuláció és befolyása az utóülepítésre. (8.3.3.3. fejezet.)
11. Denitrifikáció és befolyása az utóülepítésre. (8.3.3.4. fejezet.)
12. Az iszaptérfogati indexet befolyásoló tényezők. (8.3.5. fejezet.)
13. Az SVI iszaptérfogati index jellemző tartományai. (8.3.5. fejezet.)

14. Különböző iszaptérfogati indexek és értelmezésük. (8.4. fejezet, *16. táblázat.*)
15. A fonalas iszapfelfúvódás szabályozási lehetőségei. (8.5. fejezet.)
16. A fonalas iszapfelfúvódás szabályozása kémiai úton. (8.5.1. fejezet.)
17. A kémiai szabályozáshoz alkalmazott klór adagjának meghatározása. (8.5.1.1. fejezet.)
18. Az eleveniszapos medence kialakításának szerepe az iszapfelfúvódás szabályozásában. (8.5.2. fejezet.)
19. A kamrákra osztott eleveniszapos medence szerepe az iszapfelfúvódás szabályozásában. (8.5.2.1. fejezet.)
20. A fonalas baktériumok és gombák hosszúságának mérési módszere. (8.6. fejezet, *51/a–c* és *52/a–c* ábra.)

9. HABKÉPZŐDÉS

9.1. JELENTKEZÉSI FORMÁK ÉS OKOK

A habképződést két fő tényező okozhatja:

1. a nyers szennyvízben lévő felületaktív anyagok jelenléte (például a sörgyári üvegmosásból, egyes élelmiszeripari létesítményekből, textiliparból),
2. a biológiai szennyvíztisztító rendszer szakszerűtlen üzemeltetése.

A következőkben elsősorban az utóbbi tényező hatásával foglalkozunk.

Az eleveniszapos rendszerben (az eleveniszapos medencében és utóülepítőben) megjelenő fonalas mikroorganizmusok az iszapfelúszás mellett habképződés révén is technológiai zavarokat okozhatnak. Az eleveniszapos medencebeli habképződés „logikai fáját" az *53. ábra* érzékelteti (Patry et al. nyomán, 1989).

A normális üzemű, hagyományos eleveniszapos medencében hullámos felszínű, fehér hab képződik, amely gyorsan eltűnik. *A folyamatos jelenlétű hab nagy tápanyag/mikroorganizmus arány esetében jelentkezik.* Ilyen környezeti tényezők mellett a mikroorganizmusok felületaktív metabolikus termékeket bocsátanak ki, amelyek habképződésre vezetnek. Nagy tápanyag/mikroorganizmus arány

– a rendszer üzembe helyezése után,
– a toxikus terhelés megszűnte után,
– nagy szervesanyag-terheléskor vagy
– túl sok iszapelvétel miatt jelentkezhet.

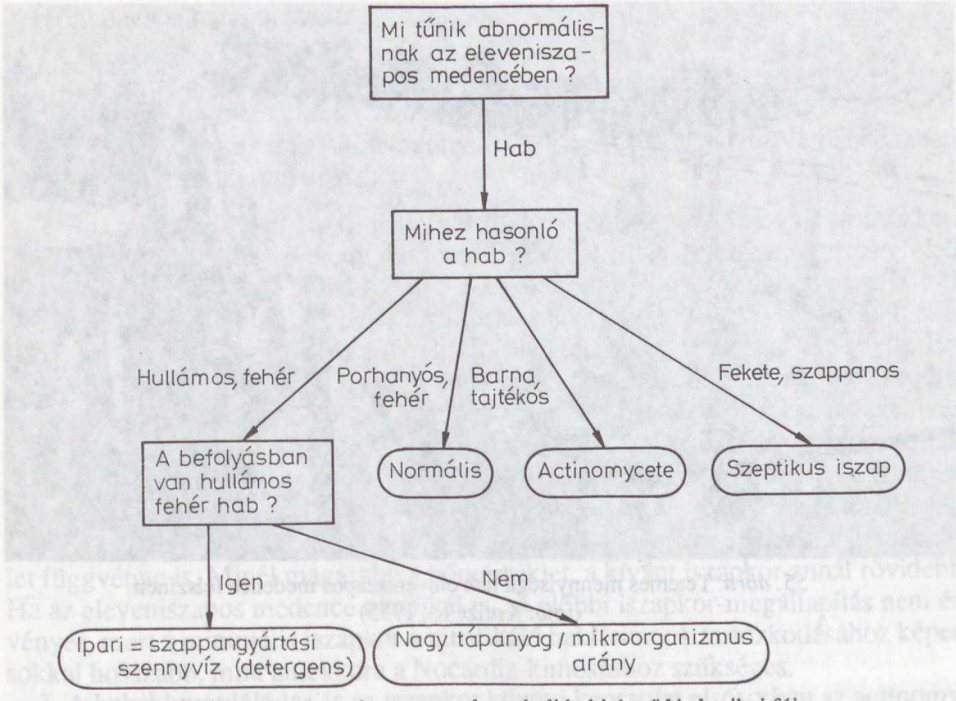
A hab a legtöbb esetben a lassan szaporodó actinomycetes csoportba tartozó, rendszerint Nocardia-faj túlzott szaporodása miatt jelentkezik *(54. ábra)*. Ez a hab sűrűbb, a csokoládémasszához hasonló textúrájú; az eleveniszapos medencén lévő levegőbuborékokat magába zárva, a felhajtóerő hatására a szennyvíz felszínére úszik. A fonalas mikroorganizmusok micéliumjai általában hidrofóbok, így a buborékokkal való aggregáció eleve hatékonyabb.

Az eleveniszap 30–50%-a is beépülhet a habba, így annak színe barnává válik. A beépülés miatt az eleveniszapos medencében elegendő eleveniszap-koncentráció nehezen tartható fenn. A hab sűrűsége kb. 0,7 g/ml. A Nocardia koncentrációja a habban 10^{12} mikrokolónia/ml-re is nőhet, szemben a szennyvízben lévő 10^6 mikrokolónia/ml koncentrációval.

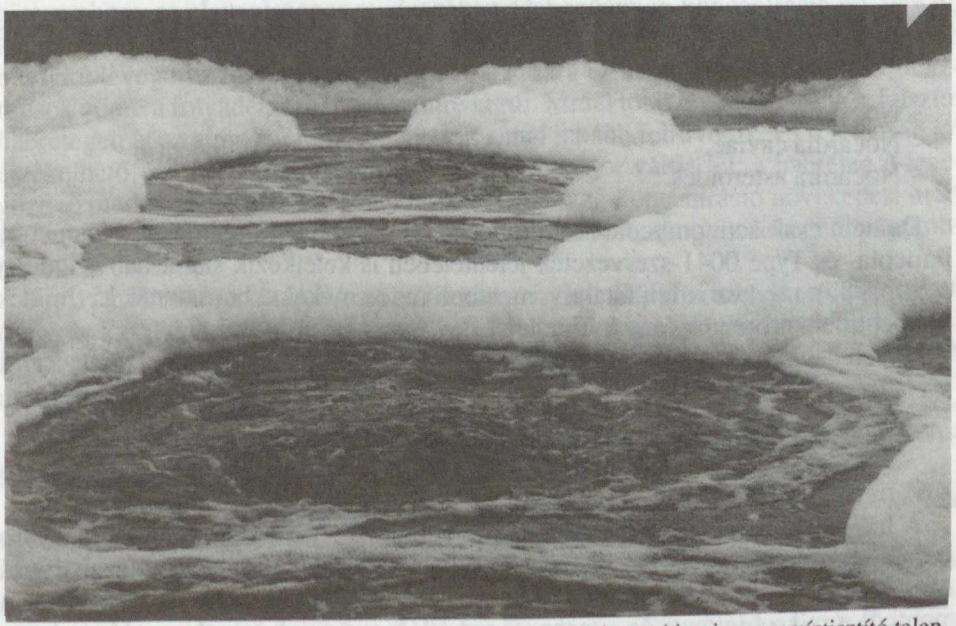
A viszkózus barna hab az eleveniszapos medence és az utóülepítő felszínét kisebb-nagyobb mértékben lefedi. Vastagsága néha tetemes lehet (*55. ábra;* Kruize, 1993), a járdákat, mechanikai berendezéseket teljesen lefedheti, az elfolyó bukón át távozhat, így az üzemeltetés veszélyes és nehéz lehet.

A habképző baktériumok nyáron szagemissziót is okozhatnak.

Nocardia-szervezetek a rothasztóban is habot eredményezhetnek.



53. ábra. Az eleveniszapos medencebeli habképződés logikai fája



54. ábra. Hab jelenléte szennyvíztisztító telepen (Metsä-Botnia papíripari szennyvíztisztító telep, Finnország, Soil and Water Ltd. Consulting Engineers)

55. ábra. Tetemes mennyiségű hab eleveniszapos medence felszínén (fotó: Kruize R., 1955)

9.2. BAKTÉRIUMOK

Az eleveniszapos rendszerekben képződő habban sokfajta actinomycetes szervezet fordul elő, például:

- Nocardia amarae,
- Nocardia caviae,
- Nocardia asteroides.

De nem csak actinomycetes baktériumok okoznak habproblémákat. Nosfocoida limicola- és Type 0041-szervezetek jelenlétében is keletkezik stabil hab (Goddard et al., 1987), mert azok felületaktív, metabolikus termékeket bocsátanak ki (lipidek, lipopeptidek, proteinek és szénhidrátok).

Egyéb habképző mikroszervezetek: *Gordona aurantiaca, Microthrix parvicella.*

9.3. ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK

A hab keletkezése a *lassú szaporodású,* actinomycetes csoportba tartozó mikroorganizmusoknak, általában a Nocardia-fajtáknak tulajdonított. A hab szabályozásához ismerni kell a szóban forgó mikroorganizmus-fajták „válaszát". Ilyen szempontból *a mikrobiológus és a technológus álláspontjainak összehangolása alapvetően fontos.*

Üzemeltetési tapasztalatok:

1. A habképződés

– a biztonságos üzemeltetést veszélyezteti,
– a biológiai rendszer tisztított szennyvízének minőségét kedvezőtlenebbé teheti,
– szagemissziót eredményezhet.

2. Hosszú iszapkor általában habproblémákat eredményez. Az iszapkor csökkentése a habszabályozás hatékony módja (Sezgin et al., 1948). Az iszapkor megfelelő mértékű csökkentésével az actinomycetes baktériumok a biológiai rendszerből kimoshatók. Az iszapkor, amelynél a kimosatás lejátszódik, jóval kisebb annál, amikor az actinomycetes baktériumok először megjelennek (Sezgin et al., 1986). Ennek valószínű magyarázata az, hogy ha a hab akkumulálódott, annak tartózkodási ideje *(scum age)* hosszabb az *iszap* tartózkodási idejénél *(sludge age)*. Téves következtetésekre vezet, ha a megfigyeléseket az iszapkor-kalkulációkra vonatkoztatják. A Nocardia-szabályozás legelterjedtebb módja az eleveniszapos szennyvíztisztításban az iszapkor csökkentése (Gray, 1990). Az iszapelvétel növelésével a Nocardia az eleveniszapos rendszerből kimosható. A hatékony iszapkor azonban a hőmérséklet függvénye is. Minél magasabb a hőmérséklet, a kívánt iszapkor annál rövidebb. Ha az eleveniszapos medence nitrifikál is, az előbbi iszapkor-megállapítás nem érvényes, mert a minimális iszapkor a nitrifikáló baktériumok tartózkodásához képest sokkal hosszabb, mint amekkora a Nocardia-kimosáshoz szükséges.

3. A habakkumulálódás és az iszapkor közötti kapcsolat elsősorban az actinomycetes baktériumok szaporodási sebességére vonatkoztatott, amely szaporodás biológiai folyamat. A kapcsolat azonban részben *fizikai* folyamatra is vonatkoztatható, hiszen ahogy az eleveniszapos medencében a lebegőanyag-koncentráció nő, úgy nő az actinomycetes koncentráció is. A nagyobb lebegőanyag-koncentráció nagyobb mértékű levegőbevitelt igényel, de ennek hatására az actinomycetes mikroorganizmusok zöme a folyadéktérből a felszínre kerül. Minél több levegő áramlik a felszíni habrétegen át az atmoszférába, a habréteg annál inkább felfúvódik. Ez a jelenség jól érzékelhető, ha a csőreaktort lépcsős táplálású reaktor váltja fel: a habréteg a levegőztető medence befolyási végénél nő a lebegőanyag-koncentráció növekedési mértékének megfelelően, és csökken az elfolyási oldalnál, ahogy a lebegőanyag-koncentráció csökken.

4. A recirkulációs iszap a befolyó szennyvízzel különálló szelektormedencében (vagy a kaszkádszerű eleveniszapos rendszer első kamrájában) keverhető össze. Így a nem kívánt nikroorganizmusok szelektív módon eltávolíthatók. Erre több módszer kínálkozik:

1. Nagy tápanyag/mikroorganizmus arányú környezet hozható létre, amelyben a lassú szaporodású mikroorganizmusok eltávolíthatók.

2. Az is megoldás lehet, amikor az elektronakceptor oldott oxigén helyett NO_3^-, így a nitrát hasznosítására képtelen mikroorganizmusok háttérbe szoríthatók.

3. További módszer a kis T/M arányú környezet létrehozása. Így a szelektorzónában az adszorpció és a fakultatív mikroorganizmusok révén a szubsztrátum zöme eltávolítható, miáltal a levegőztető rendszerben a nem kívánt mikroorganizmusok számára kevés tápanyag áll rendelkezésre. A szelektormedence lehet levegőztetett

vagy anélküli; elsősorban a hab és felúszó iszap kiküszöbölése céljából alkalmazható (Utoy Creek szennyvíztisztító telep; Daigger et al., 1985; Sezgin et al., 1986).

5. A nagy mennyiségű sűrített levegő a szennyvíz felszínén levő habot „felfújja" (Sezgin et al., 1986), így a szennyvíztérből több actinomycetes baktérium jut a habrétegbe. A levegőbevitel csökkentésekor a habréteg gyorsan összeesik (Sezgin et al., 1986). Így az eleveniszapos medencéből túlfolyó hab mennyisége órákon belül csökkenthető (csupán a levegőbevitel 40%-nyi csökkentésének hatására).

6. Az actinomycetes hab csökkentése céljából rövid ideig, kis oldott oxigén koncentrációjú üzemeltetés is szóba jöhet (Stanford, Conn., Semon, 1985).

7. A recirkulációs iszap klórozásának hasznossága ma még nem egyértelmű. Elegendő klóradag az actinomycetes populációt és a kívánt mikroorganizmusokat egyidejűleg befolyásolja. Ezt a pelyhek diszperziója és az elfolyó szennyvíz minőségének romlása jelzi. Sikeres az üzemeltetés, ha a klóradag kb. 10 mg/l és az adagolás időtartama 36–48 óra. Nagyobb klóradag – várhatóan – pehelydiszperziót eredményez.

8. Klóroldatot vagy por alakú kalcium-hipokloritot közvetlenül a hab felszínére adagolva, a hab mennyisége azonnal csökken.

9. Az actinomycetes mikroorganizmusok az alacsony pH-tartományban gyengén szaporodnak. A *Nocardia amarae* szaporodása pH = 6,5 esetében a pH = 7,0-hez képest kb. 66% (Hiraoka et al., 1984).

10. Hab a zárt rothasztókban is keletkezhet. A mikroszkópi vizsgálatok szerint a habrétegben actinomycetes baktériumok és gázbuborékok vannak jelen. Ilyen habképződés várható a rothasztó túlzott mértékű gáz-recirkulációs keverésekor és a rothasztás közbeni nagymértékű gázképződéskor (Sezgin et at., 1986).

11. Olyan habgátló módszerek, mint a vízpermetezés, a buborékokat szétpukkasztó módszerek, általában hatástalanok a nagyon stabil habok ellen, és csak a hígításukat segítik elő. De a hígítás és a habrétegvastagság csökkentése az utóülepítőben előnyös lehet, mert az úszóiszap-kaparó a habbal könnyebben megbirkózhat, azt hatékonyan visszatartja, sőt azt mechanikai úton el is távolítja (Gray, 1990).

12. A habzási hajlam szerepe alapvető a habképződés szempontjából, és a habréteg sok fonalas mikroorganizmust csupán magába zár, de *a habréteget a tényleges habképző mikroorganizmusok hozzák létre* (Wanner et al., 1989).

13. Magas iszapkor (SRT, sludge retention time) tartományában a Nocardia lebontó tevékenysége a tápanyagért folyó versenyben előnyös, ha a tápanyag/mikroorganizmus (T/M) arány kicsi. Ezért *a Nocardia-szaporodás ellen a legjobb módszer az iszapkor (SRT) tetemes csökkentése, ami a nitrifikáló mikroorganizmusok szempontjából azonban hátrányt jelent.* Ezért a Nocardia-visszaszorítás eme leghatékonyabb módja *a tápanyag-eltávolító telepeken nem alkalmazható, ahol a habproblémák pedig a leggyakoribbak.* A fonalas habképző mikroorganizmusok szubszubsztrátumot képesek hasznosítani (vagy egyszerűen képesek túlélni) anaerob és/vagy anoxikus környezetben, tehát a tápanyag-eltávolító telepeken is.

14. A habzás problémája üzemeltetési szinten még nem megoldott, de jelentősen mérsékelhető rendszeres mechanikai eltávolítás révén. Az üzemeltető számára általános, egyértelmű állásfoglalás nem létezik, hiszen a szennyvíz összetétele, a tervezés, az üzemeltetés módjai, a környezeti tényezők stb. *(53. ábra)* a hab keletkezési és eltávolítási folyamatait egyaránt befolyásolják.

9.4. IRODALOM

Daigger, G. T. et al. (1985): The Design of Selector to Control Low F/M Filamentous Bulking. *J. WPCF*, 57.

Dhaliwall, B. S. (1979): Nocardia amarae and Activated Sludge Foaming. *J. WPCF*, No. 2, Febr.

Eikelboom, D. H. (1975): Filamentous Organisms Observed in Activated Sludge. *Water Res.*, Vol. 9.

Goddard, A. J., Forster, C. F. (1987): A Further Examination into the Problem of Stable Foams in Activated Sludge Plants. *Microbiol.*, 50.

Gray, N. F. (1990): *Activated Sludge. Theory and Practice*. Oxford Science Publications.

Hiraoka, M., Tsumura, K. (1984): Suppression of Actinomycete Scum Production – A Case Study at Senboku Wastewater Treatment Plant, Japan. *Water Sci. Technol.* (G.B.), 16.

Kruize, R. (1993): 65 jaar rioolwaterzuivering in Amsterdam-West. H_2O (26), No. 6.

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

Patry, G. G., Chapman, D. (1989): *Dynamic Modeling and Expert Systems in Wastewater Engineering*. Lewis Publishers, Inc.

Semon, J. (1985): Personal Communication.

Sezgin, M., Karr, P. R. (1986): Control of Actinomycete Scum on Aeration Basins and Clarifiers. *J. WPCF*, No. 10, Oct.

Sezgin, M., Karr, P. R. (1984): Controlling Scum by Lowering Sludge Age. *Operativ Forum*, 1.

Wanner, J., Grau, P. (1989): Identification of Filamentous Microorganisms from Activated Sludge: a Compromise Between Wishes, Needs and Possibilities. *Water Res.*, Vol. 23, No. 7.

9.5. KÉRDÉSEK

1. A habképződés okai. (9.1. fejezet.)
2. A képződő hab jelentkezési helyei a biológiai szennyvíztisztító telepen. (9.1. és 9.3. fejezet.)
3. A habképződést elősegítő mikroorganizmusok. (9.2. fejezet.)
4. A képződő hab zavaró hatásai. (9.2. fejezet.)
5. A habszabályozás, ill. -mérséklés lehetséges módjai. (9.3. fejezet.)
6. A hab- és az iszapkor összehasonlításának fontossága a habképződés szempontjából. (9.3. fejezet.)

10. TAVAS SZENNYVÍZTISZTÍTÁS

10.1. ELŐNYEI, HÁTRÁNYAI

A szennyvíztisztító tavak a következő rendszerekben alkalmazhatók:

1. a csak tavakból álló tisztítórendszer a hagyományos (csepegtetőtestes vagy az eleveniszapos) biológiai tisztítórendszer és az utótisztítás szerepkörét is betöltheti *(56/a ábra);*
2. a hagyományos biológiai tisztítórendszer után kapcsolva az utótisztítás szerepét töltheti be *(56/b. ábra).*

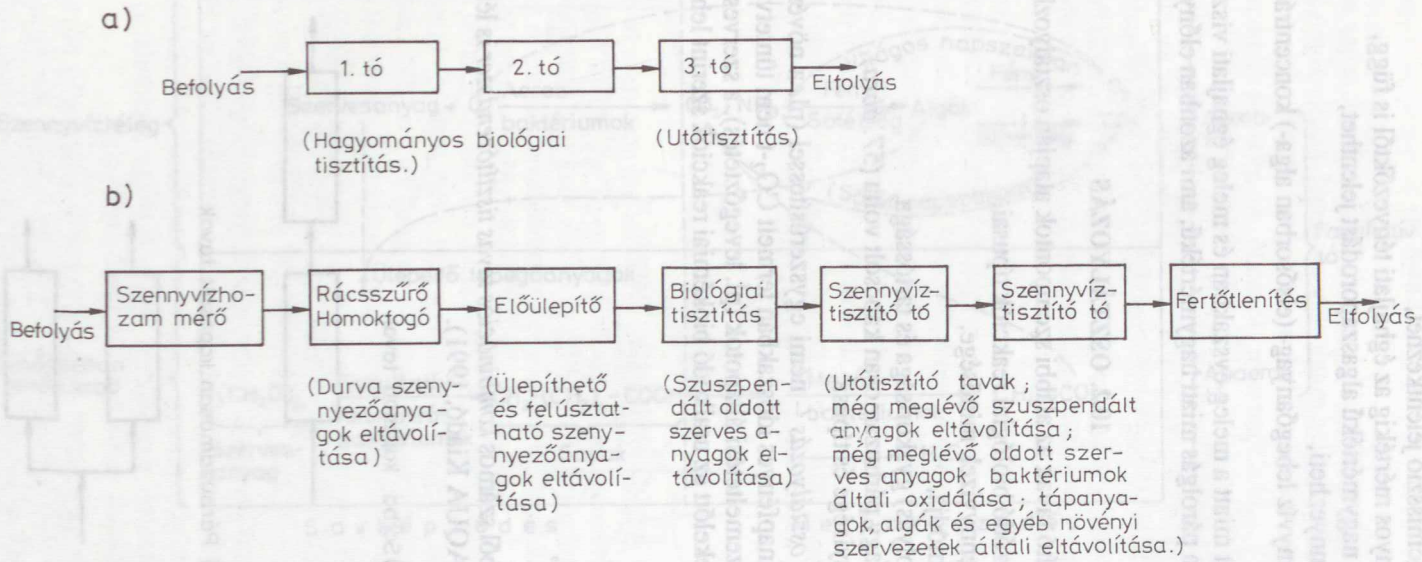
A tavas szennyvíztisztítás egyszerű és rugalmas eljárás. Az oldott, az ülepíthető szennyező anyagok és a pathogén szervezetek hatékony eltávolítására alkalmas.

Előnyei:

– a patogén szervezetek eltávolítása jó hatásfokú,
– beruházási, üzemeltetési, fenntartási költségei alacsonyak,
– külső energiára (kivéve a levegőztetett tavakat) nincs szükség, csupán napenergia szükséges, és ez nagyon vonzóvá teszi alkalmazását,
– idényszerű szennyvíztisztításra is alkalmas,
– hatékonysága általában azonos a hagyományos szennyvíztisztításával, vagy meghaladja azt,
– a jól tervezett tórendszer tág hidraulikai és nagy szervesanyag-terhelésű lehet anélkül, hogy ez az elfolyó tisztított szennyvíz minőségét számottevően befolyásolná,
– egyesített csatornarendszer esetében a záporvíztisztítás nem okoz gondot,
– a tavas tisztítás természetes folyamatokon alapszik, ezért folyamatszabályozások kevésbé szükségesek,
– költséges berendezések nem szükségesek,
– általában nem igényel magas képzettségű üzemeltetőket,
– az iszapkezelési és elhelyezési probléma csekély,
– ha a tervezés és az üzemeltetés megfelelő, valamennyi szennyvíztisztítási eljárás közül a leginkább zavarmentes (feltételezve, hogy magasfokú tisztított szennyvízminőségre állandóan nincs szükség).

Hátrányai:

– minden más szennyvíztisztítási eljárással szemben viszonylag nagy területet igényel, ami számos esetben korlátozó tényező lehet,



56/a–b ábra. Jellegzetes tavas szennyvíztisztító rendszerek

– időszakos szagemisszió jelentkezhet,
– a tisztítás bizonyos mértékig az éghajlati tényezőktől is függ,
– időszakonként nagymértékű algaszaporodást jelenthet,
– a talajvizet szennyezheti,
– a tisztított szennyvíz lebegőanyag- (elsősorban alga-) koncentrációja időszakosan nagy lehet,
– a nagy tófelület miatt a meleg évszakban és meleg éghajlati viszonyok között a folyadékveszteség a párolgás miatt nagymértékű, ami azonban előnyös is lehet.

10.2. OSZTÁLYOZÁS

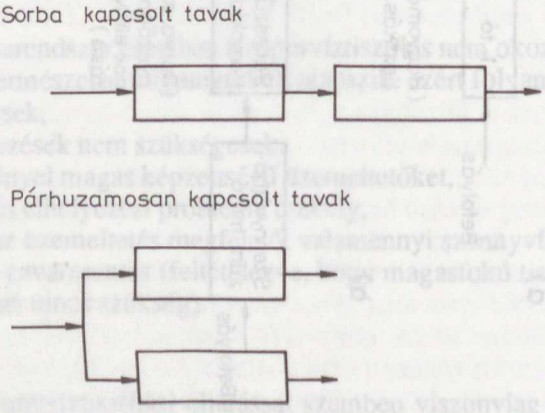
A szennyvíztisztító tavak az alábbi szempontok alapján osztályozhatók:

– a bennük lejátszódó biológiai reakciók típusai,
– a bevezetett szennyvizek minősége,
– a levegőztetés módja,
– a túlfolyás (elfolyás) gyakorisága és tartóssága,
– a tavak sorba vagy párhuzamosan kapcsolt volta *(57. ábra)*,
– a reakció mennyisége és típusa.

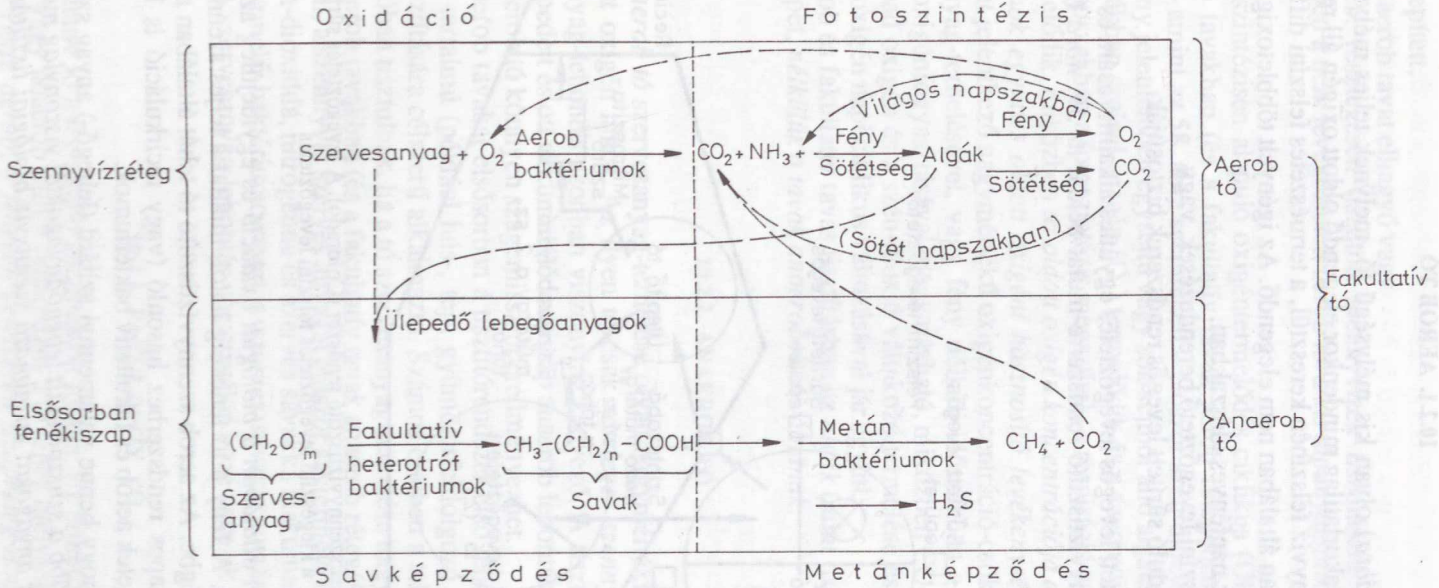
A legalapvetőbb osztályozás – némi egyszerűsítéssel (pl. a növényi tápanyagokat, az algák által a napfényes időszakban termelt CO_2-t nem tüntetve fel, *58. ábra*) a tó mélysége, az üzemeltetési állapotok (pl. levegőztetés), a szervesanyag-terhelés mértéke és mindenekelőtt az uralkodó biokémiai reakciók szerint lehetséges:

– aerob tó,
– anaerob tó,
– fakultatív tó,
– levegőztetett tó,
– utótisztító tó.

Ezen tóféleségekből számos *kombinációs tavas tisztítórendszer* is létesülhet (Öllős: Szennyvíztisztítás. AQUA Kiadó, 1991).



57/a–b ábra. Sorba és párhuzamosan kapcsolt szennyvíztisztító tavak



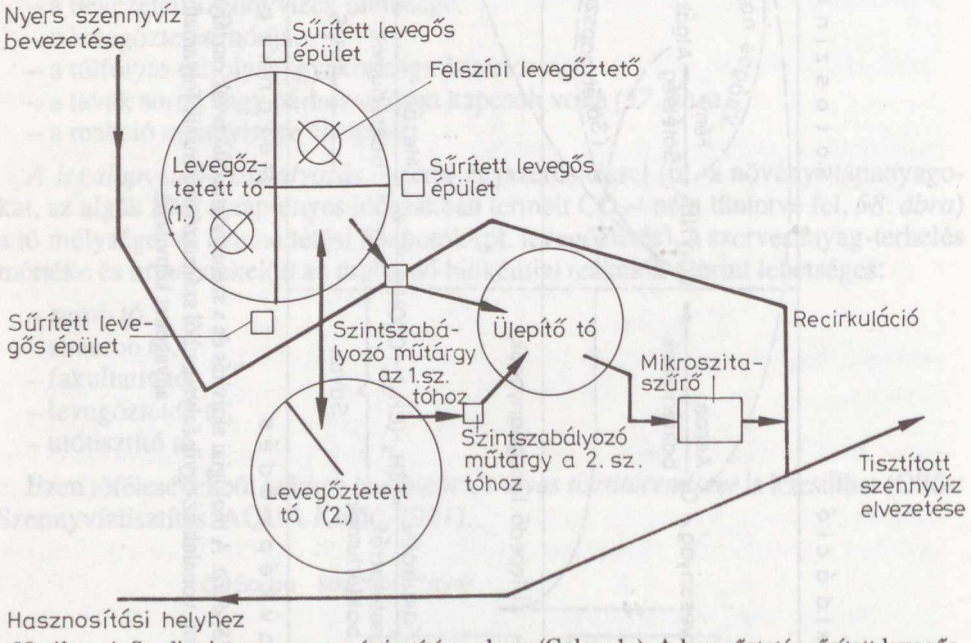
58. ábra. A biológiai aktivitás és a szennyvíztisztító tavak osztályozása.
A szaggatott vonalak az egyik folyamatból származó és a másik folyamatban használható anyagokat képviselik

10.2.1. AEROB TÓ

Az aerob tó *(58. ábra)* olyan kis mélységű tó, melynek teljes mélységében az aerob lebontáshoz gyakorlatilag mindenkor elegendő oldott oxigén áll rendelkezésre. Az oxigén a szennyvíz felszínén keresztül, a természetes felszíni diffúzió révén is pótlódik. Ez azonban általában nem elegendő. Az igényelt többletoxigént

– az algák termelik napfényes időszakban,
– a mechanikai felszíni levegőztető berendezések, vagy
– a tófenékből kiinduló sűrített levegős rendszerek biztosítják.

A felszíni és a sűrített levegős levegőztetés együttes alkalmazására és az így üzemeltetett aerob szennyvíztisztító rendszerre mutat példát az *59. ábra* (EPA, 1989 nyomán).



59. ábra. A Sterlingi-tavas szennyvíztisztító rendszer (Colorado). A levegőztetés sűrített levegős, a kiegészítő levegőztetés felszíni levegőztetés

Az *aerob tavakban általában a biológiai oxidáció* és egyidejűleg az alga-fotoszintézis az uralkodó. A fény a tó fenekéig hatol, miáltal a teljes szennyvíztérben fotoszintézis megy végbe. Az aerob szennyvíztisztító tó tehát általában a recirkuláció nélküli eleveniszapos rendszerhez hasonló (vagy recirkuláció is létezik). A lebontó mikroszervezetek aerob és fakultatív baktériumok.

Az *aerob tó*, minthogy benne valamennyi szilárd (lebegő-) anyag szuszpendált állapotú, *legmegfelelőbb a szuszpendált lebegőanyagoktól viszonylag mentes, elsősorban oldott szerves anyagokat tartalmazó szennyvíz biológiai tisztítására.* Ezért az aerob tavak főként

– az ülepített,
– az anaerob tavat elhagyó vagy
– egyéb, részlegesen tisztított szennyvizek tisztítására alkalmazhatók. Ennek megfelelően a nem levegőztetett *aerob tóra kis tápanyag/mikroorganizmus arányok jellemzők.*

A fotoszintézisen alapuló oxigéntermelődés ciklikus (Öllős, 1991; *214. ábra*). Az aerob tavakban (és a fakultatív tavak aerob rétegében) a szennyvíz szerves anyagai – amint az 58. ábra szemlélteti – először szén-dioxiddá és ammóniává, végül napfény jelenlétében egysejtű vagy sok sejtből álló algákká alakulnak át. A napfényes órákban szabad oxigén (O_2) termelődik és a szennyvíz túlszaturálttá válhat. A sötét napszakban a fotoszintézis megszűnik, a respiráció azonban folytatódik, így CO_2 termelődik, miközben *az oldott oxigén koncentrációja az algák és a heterotróf bakrétiumok együttes oldott oxigént hasznosító tevékenysége révén csökken.* Az esetenként jelentkező nagymértékű oxigénkoncentráció-csökkenés vagy a tó túlzott szervesanyag-terhelésével, vagy fény nélküli időszakban a baktériumok és algák együttes oxigénfogyasztásával magyarázható, miközben CO_2 termelődik.

A szabad oxigén és a szén-dioxid váltakozó termelése és felhasználása a pH és az oldott oxigén napi ciklikus változásával jár együtt.

Az aerob és fakultatív tavas tisztításban az *algák* (mint oxigéntermelők) játsszák a fő szerepet, *nélkülük a tavak anaerobokká válnának.*

10.2.2. ANAEROB TÓ

Az *anaerob tó* szervesanyag-terhelése olyan nagymértékű, hogy a tó mélységében oldott oxigén nincs. Az ilyen tó csak *részleges szennyvíztisztítást biztosít,* a szervesanyag-lebontás azonban viszonylag kedvező. A tisztítás elsősorban a tófenékre ülepedett és ott akkumulálódott iszap anaerob lebontásától függ *(58. ábra).*

Az anaerob tó könnyen szagemissziót eredményezhet.

Az anaerob tavakat elsősorban a tisztítórendszer első lépcsőjeként, a nagy szervesanyag-tartalmú (például hús-, tej-, gyümölcsfeldolgozó üzemek) szennyvizeinek előtisztítására célszerű alkalmazni. Számos esetben a települési szennyvizek is anaerob tóban tisztulnak, ha a tó szervesanyag-terhelése nagy lesz.

Az anaerob tavakban (és a fakultatív tavak anaerob rétegében), amint az *58. ábra* szemlélteti, a szennyvíz szerves anyagai először savtermelő baktériumok közvetítésével szén-dioxiddá, nitrogénné és szerves savakká alakulnak át. Ezzel egyidejűleg a metántermelő baktériumcsoport a szerves savakat metángázzá és alkalinitássá alakítja. A szervesanyag-lebontás végtermékei közé tartozik a víz (H_2O) is.

10.2.3. FAKULTATÍV TÓ

A fakultatív tó a leginkább alkalmazott tófajta. Ez érthető, hiszen szinte lehetetlen aerob vagy anaerob miliőt fenntartani a tó teljes mélységében, minden időben. *A tó felső része aerob, a fenekén keletkezett iszapréteg anaerob tisztítást biztosít (58. ábra).* Az algák az aerob réteget táplálják oxigénnel.

A *három napnál rövidebb* hidraulikai tartózkodási idejű tó tisztítási hatékonysága az ülepítőmedencével azonos jellegű és mértékű. Bizonyos mennyiségű alga ez esetben is jelen van a tóban, ezek azonban a tisztítást alig befolyásolják.

A *három–húsz* napos tartózkodási idő esetében erőteljes algaszaporodás jellemző. Ez esetben az elfolyó szennyvízben nagy mennyiségű alga található. Hátrány az is, hogy az elfolyó szennyvíz szervesanyag-tartalma a befolyó szennyvíz szervesanyag-tartalmánál gyakran nagyobb lehet. A tisztítás korlátait ilyenkor a következő teljeítménytartományok érzékeltetik: az elfolyó szennyvíz BOI_5-koncentrációja 20–60 mg/l, lebegőanyag-koncentrációja 30–150 mg/l lehet.

Húsznapi tartózkodási idő nagyságrend felett a fakultatív tóban az idő elegendő az algák fenékre ülepedéséhez is. Általában ez a helyzet olyan fakultatív tavakra jellemző, amelyek felső részében aerob, a feneken pedig anaerob állapot az uralkodó. Az ilyen *hosszú tartózkodási idejű fakultatív aerob–anaerob tisztítás a szennyvíz hatékony lebontását biztosítja.*

A szabályozott elfolyású fakultatív tavak 180 nap vagy ennél is hosszabb tartózkodási idejűek. A tisztított szennyvizet az ilyen tavakból évente *egyszer* (ősszel) vagy *kétszer* (ősszel és tavasszal) vezetik el. Arid zónában a szennyvizet a tóból sok esetben beszivárogtatják vagy elpárologtatják, amikor is nincs tisztított szennyvízelfolyás a befogadóba.

A tavak leürítése ne legyen gyors. Rendszerint két hét vagy ennél kisebb időtartam megfelelő, a leürítendő szennyvízmennyiségtől függően. Kb. 30 cm szennyvízmennyiség maradjon a tóban. A leürítés előtt és után a tóból és a befogadóba vezetés pontja feletti és alatti befogadószakaszból szennyvízmintákat kell venni analízis céljából. A minták alapján az oldott oxigén, a BOI, a pH, az összes lebegőanyag és a coliform-csoport baktérium határozandó meg.

10.3. A TAVAS TISZTÍTÁS HATÁSFOKA

A tavas tisztítás hatásfokát a következő tényezők befolyásolják:

a) fizikai tényezők: tófelület, mélység, napfény, szélhatás, hőmérséklet, hidraulikai rövidzárlat, be- és elfolyási viszonyok,

b) kémiai tényezők: szerves anyagok, pH, lebegőanyagok, toxikus anyagok,

c) baktériumok és algák, típusaik és koncentrációjuk, mikroorganizmusok aktivitása, tápanyag mennyisége.

A szennyvíztisztító tavas rendszer hatásfokának mértéke a tervezéstől és a környezetvédelmi követelményektől függően a következőképpen jelentkezhet:

1. A teljes tisztítás hatásfoka az előülepítéssel azonos nagyságrendű, ami azt jelenti, hogy a tisztítást csak a lebegőanyagok tófenékre ülepedése eredményezi. Ily módon a lebegőanyagok kb. 90%-a távolítható el. Ilyen mértékű tisztítás kb. háromnapos hidraulikai tartózkodási idő esetében jellemző.

2. A tisztítás mértéke a hagyományos (csepegtetőtestes vagy eleveniszapos) biológiai szennyvíztisztító telepével lehet azonos nagyságrendű.

Ezen a csoporton belül az üzemeltetési tapasztalatok alapján bebizonyosodott:

a) a tervezéstől és üzemeltetéstől függően a tavas rendszer a BOI 50–95%-át képes eltávolítani,

b) a biológiai folyamatok révén tíznapi hidraulikai tartózkodási idő alatt az oldott szerves anyagok kb. 80%-a távolítható el,

c) megfelelő vitalitású baktérium–alga-populáció esetében a *bioflokkuláció* révén a finom, diszperz, szerves szuszpendált részecskék a baktérium- és algatevékenység hatására összekapcsolódnak, ami a szennyvíz szerves lebegőanyagainak gyorsabb és hatákonyabb fenékre ülepedését segíti elő. Így a szuszpendált és oldott szerves anyagok kb. 85%-a órákon belül szeparálható el szennyvízből. Ezt a folyamatot a magasabb hőmérséklet, a nagyobb oldott oxigén tartalom és a szélhatás gyorsíthatja,

d) a fakultatív tavak, 50–60 napos hidraulikai tartózkodási idő alatt, a BOI 70–80%-át és a coliform-baktériumok kb. 90–95%-át távolítják el,

e) a szabályozott elfolyású tavak 180 nap hidraulikai tartózkodási idő esetében a BOI 85–95%-át, az összes lebegőanyag 85–95%-át, és a fekál coliform-baktériumok 99%-át is képesek eltávolítani.

3. A szennyvíz utótisztítását is biztosító tavas rendszer jellemző hatásfok-adatai (például: Saint Helena-tórendszer, California; Oswald et al., 1970): BOI_5-eltávolítás 97,2%-os, KOI-eltávolítás 92,8%-os, nitrogéneltávolítás 91,6%-os, foszfát–P-eltávolítás 64,3%-os. Ez utóbbi adat jól érzékelteti, hogy *a végső utótisztító tóból a hatékonyabb algaeltávolítás környezetvédelmi követelmény marad,* vagyis az elfolyó tisztított szennyvíz foszfáttartalmát tovább kell csökkenteni. Tavas rendszerek esetében *az üzemeltetés feladata nehéz, de annak megoldása számos esetben egyre kevésbé lesz nélkülözhető.*

10.3.1. A LEVEGŐZTETETT TAVAK HATÁSFOKÁNAK MEGHATÁROZÁSA MINTAVÉTELEK ALAPJÁN

A tavas tisztítórendszer *hatásfokát* számos tényező befolyásolja. A hatások azonban csak kisebb-nagyobb közelítéssel vehetők figyelembe. Ez a tény a tervezés, az üzemeltetés, az üzemeltetést jellemző mérési adatok észlelése és értékelése tekintetében egyaránt jellemző. A tavas tisztítórendszer is valójában bonyolult folyamatok eredménye. Hiszen például

– a tavas tisztítást általában több tóból álló rendszer biztosítja,

– a tavak négyzet, négyszögletes és egyéb, a helyi terepviszonyokhoz alkalmazkodó változatos alaprajzúak lehetnek, például (*60/a–b ábra;* Fuchs et al. nyomán, 1987),

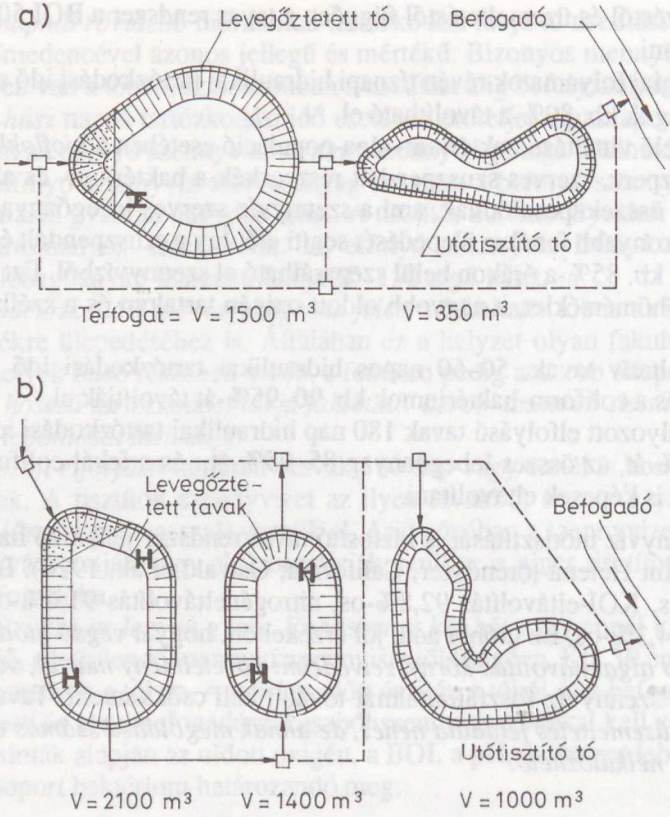
– a tavas rendszer recirkulációs vagy anélküli lehet,

– a rendszerre az állandósult hidraulikai és szervesanyag-terhelési állapot nagyon ritkán jellemző,

– a rendszer levegőztetett vagy levegőztetés nélküli lehet,

– a rendszer inputja, időszakosan vagy folyamatosan, toxikus anyagokat is tartalmazhat,

– szennyező anyag input időbeli változásának jellege és mértéke nehezen vehető figyelembe,



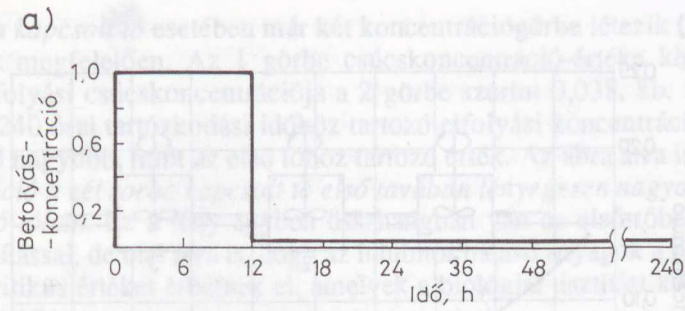
60/a–b ábra. Különböző helyszínrajzú tavas szennyvíztisztító telepek (*a:* 500 leé; *b:* 1750 leé)

– a mérési adatok, így az elfolyás valamely szennyező anyagra vonatkoztatott koncentrációja, a mintavétel időpontjának és helyének megválasztása gondot, bizonytalanságot jelenthet.

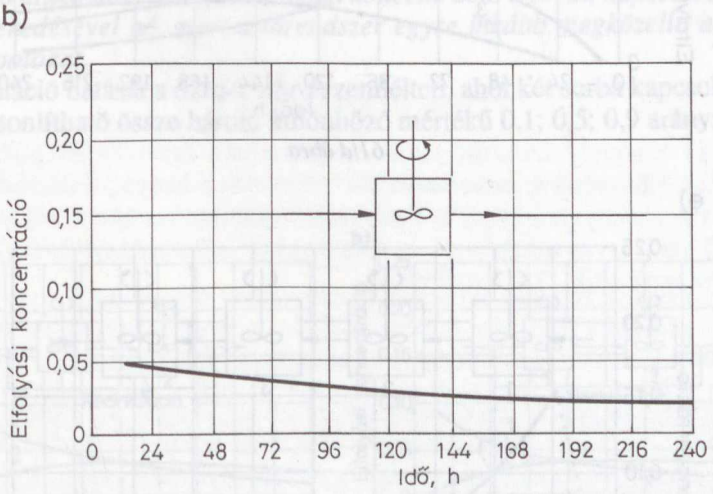
A következőkben (példaként) *a mintavétellel és a minták értékelésével kapcsolatos üzemeltetői szemlélet fejlesztése* érdekében

1. a lökésszerű szennyezőanyag-terhelést *(61/a–e ábra)* és
2. a recirkuláció befolyását vizsgáljuk levegőztetett tavas rendszer esetében *(62/a–c ábra;* Eischen és Keenan nyomán 1985).

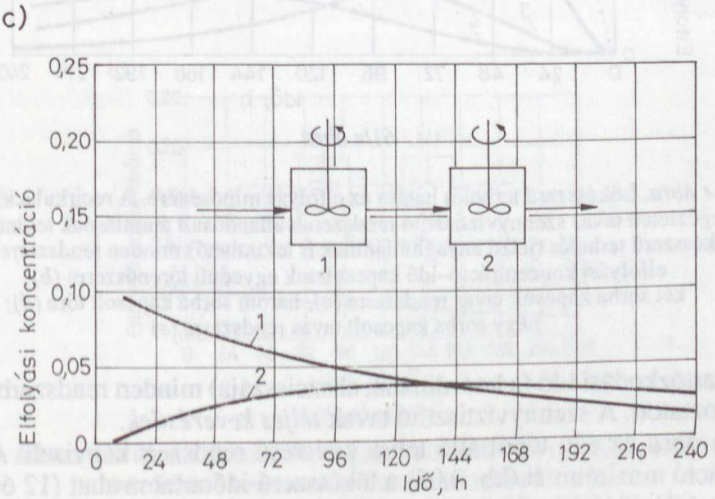
Az elfolyó szennyvíz minőségének változását valamennyi vizsgált rendszerben a befolyó szennyvíz minőségének a *61/a ábra* szerinti lökésszerű koncentrációváltozása idézi elő. A rendszer hidraulikai terhelése a *61/b–e* ábrára nézve állandó. A *62/a–c ábra* esetében az elfolyó szennyvíz koncentrációját már a recirkuláció is befolyásolja. A relatív koncentrációk (a koordináták ordinátája) számításának alapjául



61/a ábra

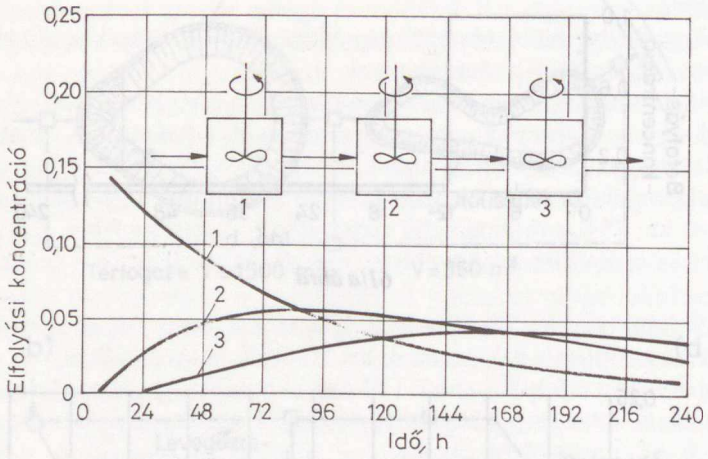


61/b ábra



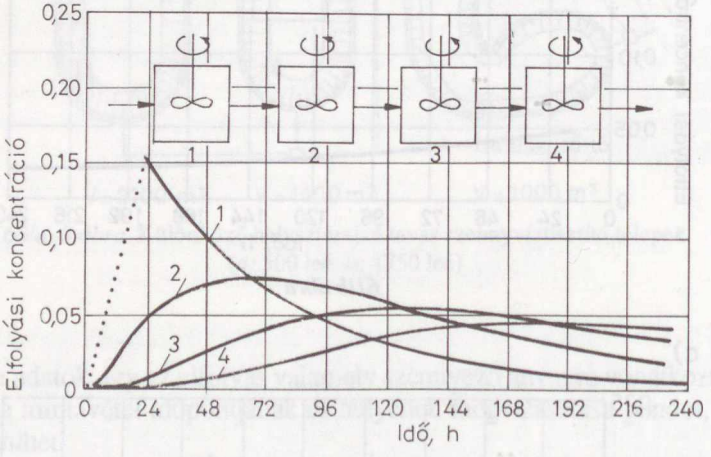
61/c ábra

d)



61/d ábra

e)



61/e ábra

61/a–e ábra. Lökésszerű terhelés hatása az elfolyás minőségére. A recirkuláció nélküli levegőztetett tavas szennyvíztisztító rendszerek állandósult áramlásnak tekinthetők. *a:* lökésszerű terhelés (jelző anyaghullámnak is tekinthető) minden rendszerre nézve; elfolyási koncentráció–idő kapcsolatok egyedüli tórendszerre *(b);* két sorba kapcsolt tavas rendszerre *(c);* három sorba kapcsolt tóra *(d);* négy sorba kapcsolt tavas rendszerre *(e)*

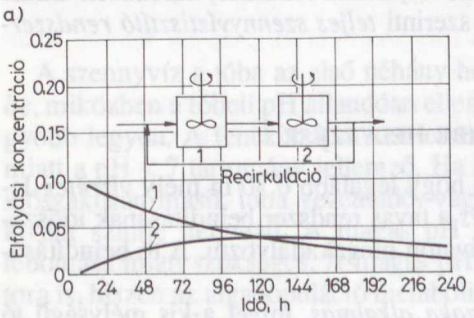
szolgáló tartózkodási idő (a koordináták abszcisszája) minden rendszerben 240 órára vonatkoztatott. A szennyvíztisztító tavak *teljes keverésűek.*

A *61/b ábra* az egy tóból álló teljes keverésű rendszert képviseli. Az elfolyási koncentráció maximumát (kb. 0,05) a lökésszerű időtartama alatt (12 óra) eléri. Ez a koncentráció a tartózkodási idő alatt (240 óra) kb. 0,02 értékre csökken.

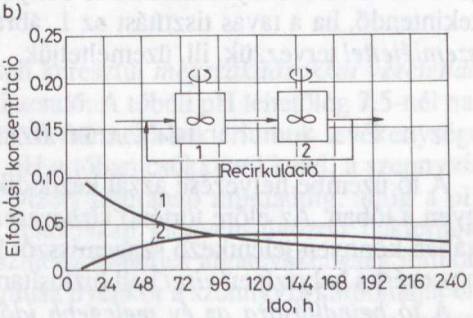
Két sorba kapcsolt tó esetében már két koncentrációgörbe létezik *(61/c ábra)*, a két tónak megfelelően. Az 1 görbe csúcskoncentráció-értéke kb. 0,095. A rendszer elfolyási csúcskoncentrációja a 2 görbe szerint 0,038, kb. 155 órához tartozik. A 240 órai tartózkodási időhöz tartozó elfolyási koncentráció közelítőleg 50%-kal nagyobb, mint az első tóhoz tartozó érték. Az ábra arra is utal, hogy *a koncentráció a két sorba kapcsolt tó első tavában lényegesen nagyobb, mint az egyedül álló tóban.* Ez a tény egyben összhangban van az első tóbeli hatékony BOI-eltávolítással, de utal arra is, hogy az inhibitor hatású anyagok a rendszer *elején* olyan kritikus értéket érhetnek el, amelyek a biológiai tisztítást kedvezőtlenül befolyásolhatják.

A *61/d–e ábra* esetében a levonható következtetések, a *61/c ábrá*ból kiindulva, trendszerűen alakulnak. *A végső elfolyási koncentráció a sorba kapcsolt tavak számának növekedésével nő, mert a tórendszer egyre inkább megközelíti a csőreaktorbeli állapotokat.*

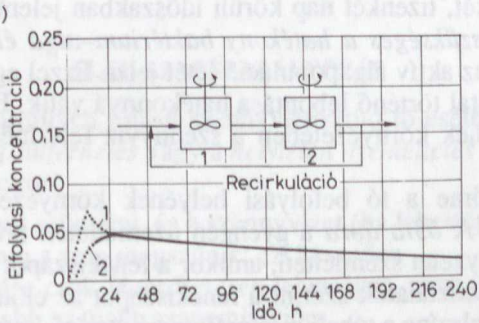
A recirkuláció hatását a *62/a–c ábra* szemlélteti, ahol két sorba kapcsolt reaktorrendszer hasonlítható össze három különböző mértékű 0,1; 0,5; 0,9 arányszámú re-



62/a ábra



62/b ábra



62/c ábra

62/a–c ábra. Állandósult áramlású, két sorba kapcsolt tóból álló, levegőztetett, recirkulációval rendelkező tavas szennyvíztisztító rendszerek.
a: recirkulációs arányszám 0,1; *b:* recirkulációs arányszám 0,5; *c:* recirkulációs arányszám 0,9

cirkuláció esetében. A *61/c* ábra két, sorba kapcsolt, recirkuláció nélküli tisztítórendszernek is tekinthető. Amint a recirkuláció arány nő, a két tó az egyetlen tavas rendszerhez közelít, azaz *a recirkulációs arányt növelve, az elfolyás csúcskoncentrációjához tartozó időtartam a lökésszerű terhelés időtartamához (61/a ábra) közelít.* A *62/c ábra* tanúsága szerint a két, sorba kapcsolt, recirkuláció nélküli, ill. 0,9 arányszámú rendszer maximális elfolyási koncentrációi, azaz az elfolyási görbék közötti eltérés már nagyon kicsi. Ez azt is jelenti, hogy *a recirkulációt 0,1-nél lényegesen nagyobbra kell választani.*

A példaként idézett kutatási eredmények (Eischen et al., 1985) világosan érzékeltetik, hogy *a mintavétel, az adatok elemzése a szóban forgó levegőztetett tórendszerbeli reaktorokban jelentkező tényleges keveredési viszonyok figyelembevételét igényli.* Ilyen irányú ismereteink azonban jelenleg még sem a tervezéshez, sem az üzemeltetéshez nem elegendők.

10.4. ÜZEMELTETÉS

Minthogy a szennyvíztisztító tavak meglehetősen *egyszerű felépítésűek és látszólag egyszerű üzeműek,* az üzemeltetők sok esetben hanyagul üzemeltetik. Valójában a tavas szennyvíztisztítás is bonyolult folyamatú rendszer, különösen annak tekintendő, ha a tavas tisztítást az 1. ábra szerinti *teljes szennyvíztisztító rendszerszemlélettel* tervezzük, ill. üzemeltetjük.

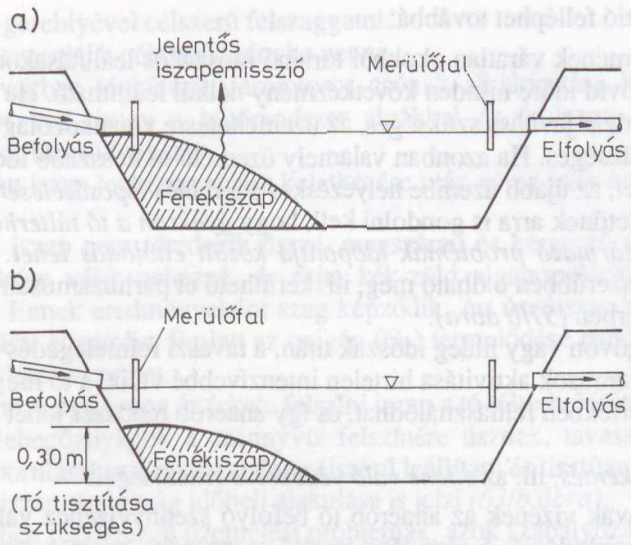
10.4.1. A TÓ ÜZEMBE HELYEZÉSE

A tó üzembe helyezése azzal kezdődik, hogy legalább 0,30 m mély *vízréteg* legyen a tóban. Az előre történő *vízbevezetés* a tavas rendszer beindításának időszakában könnyen jelentkező szagemisszót hivatott megakadályozni. A tó beindításához ezért a helyszínen *vizet* kell biztosítani.

A tó beindítására az év melegebb időszaka alkalmas, mivel a kis mélységű tó szennyvíztartalma a hideg éjszakák alatt gyorsan lehűl, tehát a tisztítás mértéke csökken.

Algavirágzás a két, tizenkét nap körüli időszakban jelentkezik. *Általában legalább hatvan nap szükséges a hatékony baktérium–alga életközösség létrejöttéhez.* A zöldes szín az aktív algapopuláció létét jelzi. Ezzel egyidejűleg a fenéküledék baktériumok által történő lebontása hatékonnyá válik. Ezt a szennyvíz fakultatív tóba vezetésének környezetében a szennyvíz felszínére felúszó buborékok jelzik.

A fenékiszap zöme a tó befolyási helyének környezetében akkumulálódik (Bucksteeg, 1987). A *63/a ábra* a gyengén üzemeltetett tavat, a *63/b ábra* azt a fakultatív tóbeli helyzetet szemlélteti, amikor a fenékiszapot már el kell távolítani. Az üzemeltetési tapasztalatok szerint a fenékiszapot az előtt kell eltávolítani, mielőtt az iszapréteg felszíne a tóbeli minimális szennyvízfelszínt eléri. A fenékiszapfelszín felett legalább 30 cm szennyvízréteg-borítás biztosítandó. Erre azért van szükség, mert a fenékiszap anaerob lebontódása miatt felúszó gázbuborékok szagemissziója, a fakultatív tóbeli felső aerob réteg jelenlétében, az oxidálódási folyamatok következtében általában elmarad.



63/a–b ábra. Fenékiszap szennyvíztisztító tóban. *a:* gyengén üzemeltetett tó; *b:* a fenékiszap a tóból eltávolítandó

A szennyvíz a tóba az első néhány héten keresztül *megszakításokkal vezetendő be*, miközben a tóbeli pH állandóan ellenőrzendő. A tóbeli pH lehetőleg 7,5-nél nagyobb legyen. A fenékiszapra kezdetben a savtermelő baktériumok tevékenysége miatt a pH < 7 tartomány jellemző. Ha a pH a tóban csökkenni kezd, a szennyvíz időszakosan másik tóba vezetendő, vagy vízzel hígítandó mindaddig, amíg a pH kívánt szintje helyreáll. A magas pH a fenékiszap kiegyensúlyozott bakteriális lebontása miatt szükséges. A magas pH-szint az erőteljes algatevékenység indikátora is, hiszen az algapopuláció metabolizmusa ilyenkor a szennyvíz karbonátját eltávolítja, így a pH-szintet magasan tartja. *A folyamatosan alacsony pH-szint savtermelésre utal, amely szagemissziót fog eredményezni.* Ilyenkor a pH növelése céljából a bevezetett szennyvízhez kalcinált szóda (Na_2CO_3) adagolható.

10.4.2. SZAGSZABÁLYOZÁS

A szagprobléma bármilyen típusú szennyvíztisztító tó esetében felléphet, elsősorban a *szervesanyag-túlterhelés* vagy a *helytelen üzemeltetés következményeként.* Szaghatás jelentkezésekor

– a terhelést meg kell szüntetni, és a szennyvizet (ha lehetséges) másik tóba kell juttatni mindaddig, amíg a szag megszűnik; ezt követően

– a tó újbóli terhelése csak *lépcsőzetesen* lehetséges, mert a már szagemissziót előidézett tó hajlamosabb az újabb szagemisszióra.

Sorba kapcsolt tavak esetében *(57/a ábra)* először az első tó hajlamos a túlterhelődésre *(61/c–e ábra)*, majd pedig a következő tó. Párhuzamosan kapcsolt tavak esetében *(57/b ábra)* a rendszert érő terhelés a tavak között megoszlik. *A tavak sorba vagy párhuzamos kapcsolását a terhelési sajátosságok alapvetően befolyásolják.*

Szagemisszió felléphet továbbá:

1. A tó üzemének váratlan okokból történő időszakos leállításakor. A tavak üzeme azonban rövid időre minden következmény nélkül leállítható. Ha például csővezeték vagy tolózár javítása szükséges, az üzemeltetésre vonatkozólag előzetes intézkedés nem szükséges. Ha azonban valamely üzemelő tó hosszabb ideig nem fogadhat szennyvizet, az újabb üzembe helyezéskor a terhelés *lépcsőzetesen* növelendő.

Az üzemeltetőnek arra is gondolni kell, hogy *gyakran a tó túlterhelési időpontja és a belőle származó problémák időpontja között eltolódás lehet.* A túlterhelési probléma egyszerűbben oldható meg, ill. kerülhető el párhuzamosan kapcsolt tavas tisztítórendszerben *(57/b ábra).*

2. Hideg égövön vagy hideg időszak után, a tavaszi felmelegedés idején, amikor a mikroorganizmusok aktivitása hirtelen intenzívebbé válik, a tó meglévő O_2-készlete túlzott mértékben felhasználódhat, és így anaerob rendszer jöhet létre.

A *szagcsökkentés,* ill. az *ellene való védekezés* lehetőségei:

1. Aerob tavak vizének az anaerob tó befolyó szennyvizéhez való recirkuláltatása (1 rész recirkuláció, 6 rész tóba kerülő szennyvíz), aminek eredményeként a szagemisszió rendszerint megszűnik.

A nagyobb mértékű klórozás a recirkulációs ágban ugyan a szaghatás kiküszöbölését segíti, de a klór a tóbeli biológiai folyamatokat az oxidatív hatásai miatt kedvezőtlenül befolyásolja.

A mintegy 25–100%-nyi recirkuláció az aerob tóban is nagyon hasznos lehet, hiszen ezáltal a recirkulációs ágbeli algák, az aerob baktériumok és az oldott oxigén a tóba jutó szennyvízzel hatékonyan keverednek.

2. Felületi levegőztetés. (Drága megoldás a berendezések készenlétben tartási igénye miatt.)

3. Klórozás. (Ez is drága megoldás a berendezések készenlétben tartási igénye miatt.)

4. A szagmaszkírozó vegyszer adagolása ígéretes eljárás, koncentrált szagkeletkezés esetében.

5. Az előző védekezési eljárásokon túlmenően a helyi viszonyok ismeretében egyéb, általában gazdaságosabb módok kifejlesztésére is kell törekedni.

6. Nátriumnitrát ($NaNO_3$), kalciumnitrát [$Ca(NO_3)_2$] vagy káliumnitrát (KNO_3) alkalmazása is szóba jöhet oxigénforrásként (inkább mint a szennyvízben levő szulfátvegyületek). A nátriumnitrát a tóban teljesen elkeveredve gyorsan hat, mert sokfajta fakultatív baktérium az oldott oxigén helyett szívesebben hasznosítja a nitrátban lévő oxigént.

7. A nátriumhipoklorit és a klóroldat is gyorsan ható vegyületek. Hátrányuk, hogy a biológiai folyamatokat is befolyásolják.

10.4.3. A FELÚSZOTT ISZAP ELTÁVOLÍTÁSA

Tavasszal, a tóban lévő szennyvíz melegedésekor, ill. a biológiai aktivitás élénkülésekor különösen nagy mértékű iszapfelúszás jelentkezhet.

A szél a felúszott felszíni iszapot szétoszlatja, miáltal az a fenékre ülepszik. Szél hiányában vagy széltől védett tófelület esetében egyéb megoldások keresendők:

1. A partról gereblyével célszerű felszaggatni.
2. Vízsugár energiáját célszerű igénybe venni.
3. Nagy tavakban léghűtésű, farmotoros csónak alkalmazása lehet indokolt. Léghűtés azért kell, hogy a hűtőrendszer algákkal és felúszott iszappal való eltömődése elkerülhető legyen.
4. A felúszott iszap legkönnyebben keletkezése után *rövid időn belül* szaggatható fel.

Ha az úszó iszap nem töredezik össze, megszárad és kérgessé válik. Ilyenkor nemcsak feltörése válik nehézzé, de rajta kék-zöld algapopulációk hajlamosak megtelepedni. Ennek eredményeként szag képződik. Az úszóiszap a fény szennyvíztérbe hatolását is gátolja. Emiatt az oxigén (O_2) termelődése gátlódik, ami szintén szagképződésre vezethet.

A nagy mennyiségű barna és fekete felszíni iszap a tó túlterhelését jelzi.

Amikor a lebegőanyagok a szennyvíz felszínére úsznak, tavasszal vagy a tó üzemének felborulásakor a tavat esetleg célszerű leállítani és tisztítani. A tótisztítási igényt a fenékiszap-vastagság időbeli alakulása is jelzi *(63/b ábra)*.

Az előzőekben részletezett üzemelési problémák, azok szabályozási igényei arra utalnak, hogy *a szennyvízminőség fő paramétereit gyakran, szabályos időközönként meg kell határozni. Ezáltal a folyamatok irányáról, az üzemeltetés módosításáról (ha szükséges) kellő időben, szakszerűen tájékozódhatunk.*

10.4.4. A MAKRONÖVÉNYZET SZABÁLYOZÁSA

A makronövényzet a tó kerülete mentén nagyon kifogásolt, mert az szúnyogok megtelepedési helye lehet, szélcsendes terület létrejöttét és a felúszott iszap akkumulálódást segíti, továbbá a tóbeli áramlásokat akadályozza.

A békalencse (*Lemna* sp.) rendszerint nem szaporodik el, ha a tó felületét szél fújja.

Növényzetszabályozási szempontok:

a) *A szennyvíz felszínéből kiemelkedő növényzetre nézve:*

– a vízmélység legalább 1 m legyen,
– a kinövő növényzetet kézzel rögtön ki kell húzni,
– a növényzetet el kell árasztani a vízszint emelése révén,
– a vízszint süllyesztése után a növényzet levágandó vagy leégetendő, majd a tó szennyvízszintjének emelése következzék,
– herbicidek csak végső esetben alkalmazandók.

b) *Szuszpendált vegetációra nézve:*

– a tófelületen a szél hatása érvényesüljön,
– néhány kacsa lehet a tóban, amelyek a békalencsét elfogyasztják,
– kis tavakhoz gereblyék és pallók is használhatók a felszín tisztítása céljából,
– az intenzív szaporodás mechanikai úton is eltávolítható,
– herbicidek csak végső esetben használandók.

c) *A töltésvegetációra nézve:*

– a növényi vegetáció növekedési időszakában a kaszálás rendszeresen végzendő,
– a lejtős felületek füvesítése vagy az újrafüvesítése szükségszerű olyan fűmaggal, amelyik sűrű, áthatolhatatlan borítást biztosít,
– herbicidek használata csak végső esetben ajánlott.

10.4.5. RÉZSŰFELÜLETEK FENNTARTÁSA

A tavat határoló rézsűfelületek

– hullámverés vagy
– a csapadékvízlefolyás miatti eróziója az egyik legnehezebb fenntartási probléma. Hiszen ha a töltéskorona az erózió miatt keskenyebbé válik, rajta az üzemeltető-fenntartó gépek, berendezések közlekedése nehezebb.

A rézsűs felületek eróziója zúzott kővel, kőgörgeteggel vagy egyéb anyagokkal, ill. módszerekkel akadályozható meg.

A hullámveréstől mentes, de csapadékeróziónak kitett felső rézsűfelületre alacsony, sűrű növésű füvet célszerű telepíteni.

A rézsűs felületeken állatok legelését nem szabad megengedni, mert azok a rézsűk sérülését okoznák. Az állatok távol tartása közegészségügyi szempontból sem engedhető meg.

Hosszú gyökerű vegetáció telepítése a rézsűs felületekre nem kívánatos.

10.4.6. A TAVAS RENDSZERBŐL ELFOLYÓ SZENNYVÍZ TOVÁBBI TISZTÍTÁSA (UTÓTISZTÍTÁS)

A tavas szennyvíztisztító rendszerből elfolyó szennyvíz minőségével kapcsolatban számos esetben probléma az algatartalom, ami azt jelenti, hogy a szennyvíz tisztasága a befogadó szempontjából még nem megfelelő. Ez az állapot számszerűsíthető az algákat is magában foglaló, viszonylag nagy, 100 mg/l értéket is meghaladó lebegőanyag-koncentráció és a BOI-meghatározás alapján.

Az üzemeltető azonban a tisztítórendszer üzemét aligha tudja hatékonyan változtatni az algaeltávolítási hatásfok növelése érdekében. Amit *elvileg* tehet:

1. a tavakat sorba kapcsolva üzemelteti,
2. az üzemeltetés elfolyásszabályozott (időszakos),
3. az elfolyás hidraulikai körülményeit megfelelő mélységű merülőfallal befolyásolja,
4. ha a tavas rendszer folyamatos elfolyású, vegyszeradagolás segíthet,
5. az elfolyó szennyvíz kavicsszűrőn halad át,
6. mikroszita-szűrés alkalmazása,
7. a hatásfokot fázisszétválasztó centrifugálással növeli,
8. szemcsés szűrés alkalmazása,

9. talajfelszíni folyamat (csörgedeztetés) fázisszétválasztó és oxidáló hatását veszi igénybe,
10. derítés,
11. oxidáltatás vagy
12. vízinövény-kultúra alkalmazása.

Ezen utótisztító eljárások közül azonban egyik sem terjedt el általánosan. Az ok elsősorban *gazdasági*. Míg a tavas tisztítás beruházási és üzemeltetési költsége viszonylag kicsi, az említett utótisztítások költségei viszonylag nagyobbak.

A szóba jöhető alternatív algaeltávolító rendszerek becsült hatékonysága a *19. táblázat* alapján ítélhető meg.

19. táblázat. A szóba jöhető alternatív algaeltávolító rendszerek becsült hatékonysága

Eljárás	Átlagos elfolyási lebegőanyag-koncentráció, mg/l
Mikroszita-szűrő	> 60
Direkt szűrés, vegyszeradagolás nélkül	> 60
Tóbeli eltávolítás, sorba kapcsolás, folyamatos elfolyás	> 30
Tóbeli eltávolítás klórozással	> 30
Elárasztott kavicsszűrő	< 30
Centrifuga	< 30
Szakaszos elfolyású tavak*	< 30
Vízinövény-kultúra (10.4.6.1. fejezet)	< 30
Felszíni csörgedeztetés	< 30
Derítés	10–30
Koaguláció/flotáció	10–30
Szakaszos homokszűrő	~ 20
Tóbeli vegyszeradagolás szakaszos elfolyású tavakból*	< 10
Derítés + gyorsszűrés	< 10

Megjegyzés: * hideg éghajlatra lehet jellemző. A tóból elfolyó szennyvíz a feltételezés szerint 150 mg/l szuszpendált lebegőanyagot tartalmaz.

Az algák utótisztításos eltávolítását, amint az üzemeltetési tapasztalatok bizonyítják, maguk az algafajták is befolyásolják.

A *zöld algák* (Chlorella és Scenedesmus) kisméretűek (< 20 µm). Kis méretük és kis sűrűségük miatt még a lassú folyadékmozgás esetében is hajlamosak a szuszpenzióban maradásra. Negatív felületű töltésük a tókörnyezetben természetes pelyhesedésüket eleve akadályozza. Kis méretük és negatív felületi töltésük miatt a homokszűrés és a mikroszitaszűrés velük szemben gyakorlatilag hatástalan. Kis méretük és kis sűrűségük miatt nem is ülepíthetők.

A szagproblémát okozó *kék-zöld* algák hosszúsága 200–300 µm, átmérőjük kb. 5 µm. Mozgásuk kígyómozgásszerű, amit a sejten belüli ritmikus összehúzódási hullámok terjedésével magyaráznak. Ezen tulajdonságuk segíti át őket a gyorsszűrőkön. Ha pelyhes rendszerben vannak jelen, mikroszita-szűrővel eltávolíthatók.

A *diatomák* viszonylag nagy méretük miatt a szemcsés szűrőket eltömik.

A pigmenttel rendelkező flagelláták, az *Euglena* és a *Chlamydomonas* önálló mozgásuk, úszásuk révén a fényviszonyok változását képesek kompenzálni. Az Euglenát flexibilis sejtfala a gyorsszűrőkön könnyebben átsegíti. Ülepítéssel és flotálással nem távolíthatók el. A tóból elfolyó szennyvízzel együtt képesek transzportálódni.

A következőkben a *19. táblázat*ban felsorolt utótisztítási alternatívák közül a vízinövény-kultúrával foglalkozunk.

10.4.6.1. VÍZINÖVÉNY-KULTÚRA

A folyamatos elfolyású szennyvíztisztító tavak tisztított szennyvizében lévő algatömeg a befogadókra kellemetlen hatású lehet:

1. a befogadó esztétikus voltát csökkentik,
2. a befogadóban a vízfolyás zavarossága nő; ezzel összefüggésben
3. a lebegőanyag-tartalom nő,
4. a BOI nő.

Ezen hatások elkerülésére, tehát az algák *szaporodásának szabályozása (csökkentése) céljából* leggyakrabban vízinövényeket alkalmaznak. Ilyen irányú *kedvező hatásuk napfényblokkoló képességükön alapul.* A

– vízijácint és
– az amerikai békalencse (*Lemna* sp.) egyaránt hatékony szabályozást biztosít (Reed et al., 1980; Ngo et al., 1987; Zirschsky et al., 1988).

A vízijácint-kultúra biológiai tisztítási folyamata jelentős mértékű algatömeg, BOI, lebegőanyag, fémionok, nitrogén és biológiailag nehezen lebontható szennyező anyag eltávolítását segíti. A foszforeltávolítás hatásfoka 50–75%-os. Jelentősebb mértékű foszforeltávolítás csak jácint-aratásokkal érhető el.

A vízijácint és a békalencse a sekély tó felszínét gyorsan befedik, *ha a miliő számukra kedvező.*

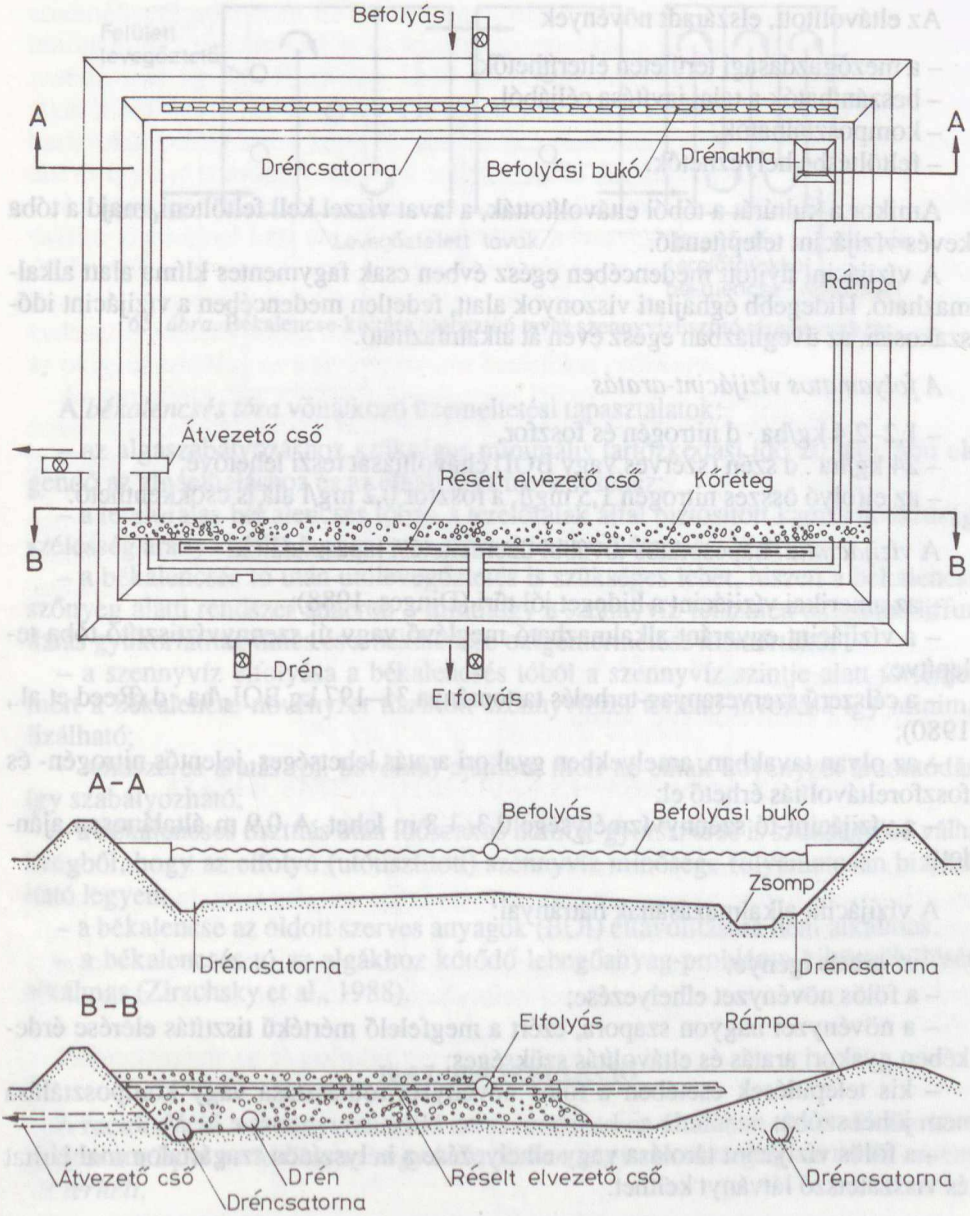
Az algaeltávolítást azáltal biztosítják, hogy

– az elfolyó szennyvízből a tápanyagokat felveszik és
– a tó felszínét letakarják, ezáltal a napfény kedvező hatását nem engedik érvényre jutni. Az algák *tápanyag és energia nélkül* inaktívakká válnak és a vízinövény-tó fenekére ülepszenek.

a) A *vízijácint-kultúra* kedvező éghajlati viszonyokat igényel. Órákon belül elhal, ha a tó szennyvízének hőmérséklete a fagyáspontot megközelíti, de újra gyors fejlődésnek indul 10 °C körül.

A vízijácint-kultúra időszakos alkalmazása is lehetséges időszakos elfolyású tisztító tó esetében.

Legalább két vízijácint-kultúrás tó rendszerbe állítása szükséges. A tavak kialakítási módja a *64. ábrán* követhető (Hiatt és Kerri nyomán, 1989). Nem szabad megengedni, hogy a vízijácint az elfolyással együtt távozzon a tóból. Mindegyik folyamatos üzemű kultúra-tó évenként egyszer leürítendő és tisztítandó.



64. ábra. Vízijácintkultúra-tó kialakítási és üzemeltetési elve

Az eltávolított, elszáradt növények

– a mezőgazdasági területen elteríthetők,
– beszánthatók a talaj javítása céljából,
– komposztálhatók,
– feltöltésbe helyezhetők.

Amikor a kultúrát a tóból eltávolították, a tavat vízzel kell feltölteni, majd a tóba kevés vízijácint telepítendő.

A vízijácint nyitott medencében egész évben csak fagymentes klíma alatt alkalmazható. Hidegebb éghajlati viszonyok alatt, fedetlen medencében a vízijácint időszakosan, az üvegházban egész éven át alkalmazható.

A folyamatos vízijácint-aratás

– 1,2–2,4 kg/ha · d nitrogén és foszfor,
– 24 kg/ha . d szén (szerves vagy BOI) eltávolítását teszi lehetővé;
– az elfolyó összes nitrogén 1,5 mg/l, a foszfor 0,2 mg/l alá is csökkenthető.

A *vízijácinttal* kapcsolatos további üzemeltetési tapasztalatok:

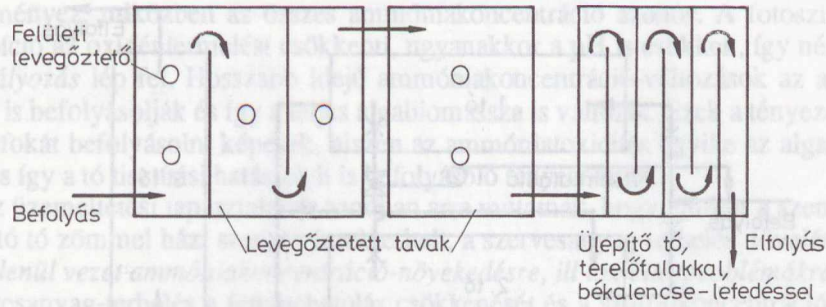
– az amerikai vízijácint a hideget jól tűri (Dinges, 1988);
– a vízijácint egyaránt alkalmazható meglévő vagy új szennyvíztisztító tóba telepítve;
– a célszerű szervesanyag-terhelés tartománya 31–197 kg BOI_5/ha · d (Reed et al., 1980);
– az olyan tavakban, amelyekben gyakori aratás lehetséges, jelentős nitrogén- és foszforeltávolítás érhető el;
– a vízijácint-tó szennyvízmélysége 0,3–1,8 m lehet. A 0,9 m általánosan ajánlott.

A vízijácint alkalmazásának hátrányai:

– az aratás igénye;
– a fölös növényzet elhelyezése;
– a növényzet nagyon szapora, ezért a megfelelő mértékű tisztítás elérése érdekében gyakori aratás és eltávolítás szükséges;
– kis települések esetében a fölös növényzet rothasztása vagy komposztálása nem jöhet szóba;
– a fölös vízijácint tárolása vagy elhelyezése a helyszínen szagártalommal járhat és visszatetsző látványt kelthet.

b) A *békalencse* kicsi, zöld édesvízi növény, pár milliméter kiterjedésű levele és 1 centiméternél rövidebb gyökere van. Kb. 17 °C-os szennyvíz felszínén szaporodva, lombszámát négynaponként megkétszerezi. A békalencse a vízijácintnál jóval nagyobb mértékben tűri a hideget. Gyakorlatilag azonban 7 °C alatt nem célszerű alkalmazni szennyvíz-utótisztításhoz. Nagy protein- és zsírtartalma miatt a részlegesen szárított növényzet vonzó állati tápanyag (Zirschsky et al., 1988).

Békalencse-kultúrás utótisztító tavat is alkalmazó tavas szennyvíztisztító rendszert szemléltet a *65. ábra.*



65. ábra. Békalencse-kultúra utótisztító tavas szennyvíztisztító tórendszerként

A *békalencsés tóra* vonatkozó üzemeltetési tapasztalatok:

– az algaszabályozáshoz szükséges minimális tartózkodási idő 20 nap, ami elegendő az algaelhaláshoz és az elhalt alga ülepedéséhez;

– a terelőfalas békalencsés tóban a terelőfalak által biztosított kamra hosszúság–szélesség aránya ≧10/1 legyen, ami csőreaktorszerű áramlást biztosít;

– a békalencsés tó után utólevegőztetés is szükséges lehet, hiszen a békalencseszőnyeg alatti rendszer anaerob – minthogy a szennyvíz-felszínen oxigénbediffundálás gyakorlatilag nincs és a békalencse oxigéntermelése kismértékű;

– a szennyvíz elfolyása a békalencsés tóból a szennyvíz szintje alatt történjék, mert a békalencse-növényzet tisztított szennyvízzel történő távozása így minimalizálható;

– rendszeres aratás (pl. havonta) ajánlott, mert az elhalt növényzet lebontódása így szabályozható;

– a békalencsés tisztítás után időszakos homok-gyorsszűrés is szükségessé válhat avégből, hogy az elfolyó (utótisztított) szennyvíz minősége folyamatosan biztosítható legyen;

– a békalencse az oldott szerves anyagok (BOI) eltávolítására nem alkalmas,

– a békalencsés tó az algákhoz kötődő lebegőanyag-probléma kiküszöbölésére alkalmas (Zirschsky et al., 1988).

10.4.7. RECIRKULÁCIÓ

A recirkuláció a szennyvíztisztító tavas rendszerben általában akkor alkalmazott, amikor *a telepet periodikusan vagy időszakosan nagy szervesanyag-tartalmú szennyvíz terheli.*

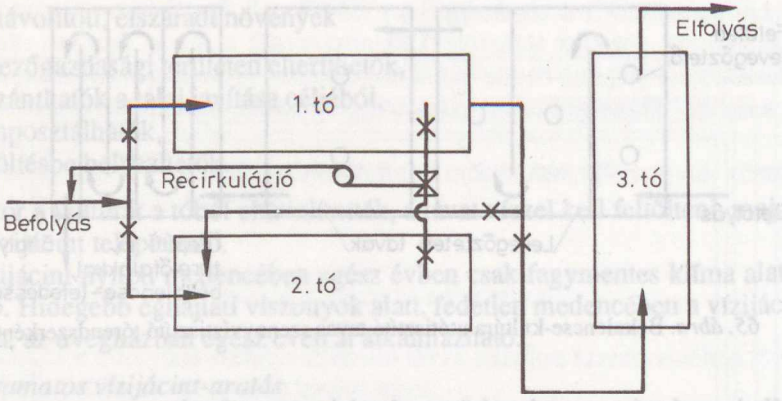
A recirkuláció előnyei:

1. a befolyó szennyvíz szervesanyag-koncentrációját hígítja,

2. az aktív algatömeg visszavezetése az első tóba a fotoszintézises oxigéntermelést *folyamatosan* biztosítja,

3. az első tóban a szennyvíz fokozottabb keveredése biztosított, ezáltal a rétegződött állapot és annak zavaró hatásai csökkenthetők.

Valamely rugalmas üzemű recirkulációs rendszerre a *66. ábrán* találunk példát (EPA 625/6–89/020 July, 1989 nyomán). Az 1. és 2. tó sorba vagy párhuzamosan



66. ábra. Rugalmas recirkulációjú tavas szennyvíztisztító rendszer

kapcsolva üzemeltethető, a recirkuláció pedig vagy az 1. vagy a 2. tóból, vagy mindkettőből egyidejűleg valósítható meg.

A tavas recirkuláció *hátránya* az energiaköltség-igény. Az üzemeltetőnek ezért a recirkuláció lehetőségének mérlegelésével egyidejűleg

– a levegőztetés,
– a keverés és
– a tótérfogat-növelés

alternatíváit is szem előtt kell tartani.

10.5. AZ AMMÓNIA- ÉS SZULFIDTOXICITÁS HATÁSA AZ ALGASZAPORODÁSRA

Az algák a tavas szennyvíztisztításban, amint az *58. ábra* érzékelteti, kulcsszerepet játszanak, hiszen az aerob és fakultatív tavakban oxigént termelnek. Nélkülük ezek a tavak anaerob tavakká válnának.

A tavak tisztítási hatásfokát azonban az ammónia, a szulfid stb. vízi növényekre és állatokra gyakorolt toxikus hatása is befolyásolja (Natarojan, 1970; Konig et al., 1987 és Pearson et al., 1987).

A tavakba jutó és a tavakban lévő szennyvíz minőségét az üzemeltetőnek a toxikus komponensek szempontjából is ellenőrizni kell.

Az ammónia elsősorban a pH-tól és a hőmérséklettől függ. Az ammónia- (NH_3-) koncentráció a pH és a hőmérséklet emelkedésével nő. A mikroalga-populációt érő ammóniatoxicitás

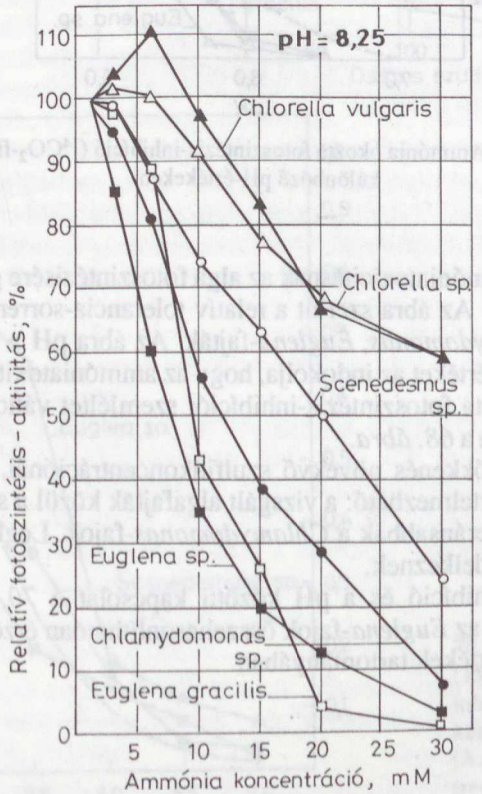
– a szennyvíztisztító tó hatásfokát csökkentheti,
– az algapopuláció kimosódását és
– oxigénhiányt eredményezhet, még kis BOI_5-terhelés esetében is (Abeliovich et al., 1976).

A toxikus hatást a különböző fajta algákra és a tó hatásfokára a jelenlegi üzemeltetési ismeretek birtokában még nehéz pontosan meghatározni. A hatás bonyolult voltát a következő példa érzékelteti. A tó különböző mélységében a fotoszintézis eltérő mértéke napi és mélységi pH-változást és így NH_3-koncentráció változást

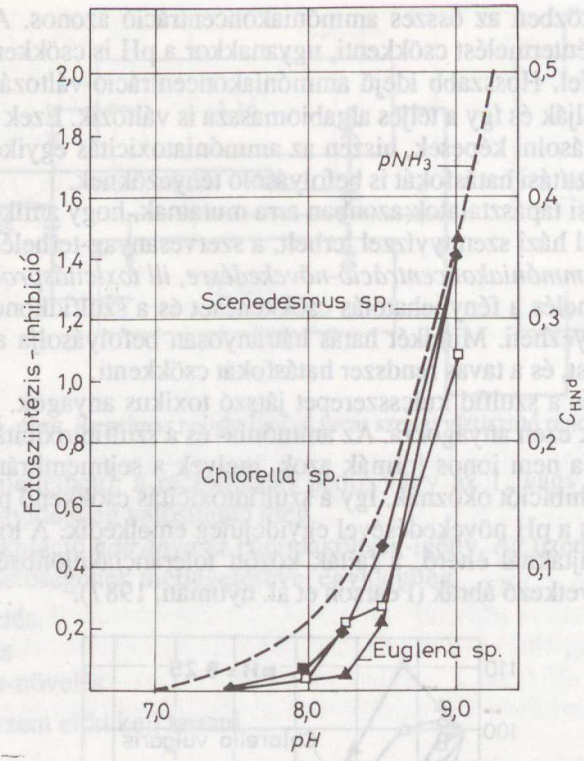
eredményez, miközben az összes ammóniakoncentráció azonos. A fotoszintézis-inhibíció az oxigéntermelést csökkenti, ugyanakkor a pH is csökken, így némi *önszabályozás* lép fel. Hosszabb idejű ammóniakoncentráció-változások az algafajtákat is befolyásolják és így a teljes algabiomassza is változik. Ezek a tényezők a tó hatásfokát befolyásolni képesek, hiszen az ammóniatoxicitás egyike az algaaktivitást és így a tó tisztítási hatásfokát is befolyásoló tényezőknek.

Az üzemeltetési tapasztalatok azonban arra mutatnak, hogy amikor a szennyvíztisztító tó zömmel házi szennyvízzel terhelt, a szervesanyag-terhelés növelése *nem feltétlenül vezet ammóniakoncentráció-növekedésre, ill toxicitásproblémákra.* De a szervesanyag-terhelés a fénybehatolás csökkenését és a szulfidkoncentráció növekedését eredményezheti. Mindkét hatás hátrányosan befolyásolja a fotoszintézist, az oxigéntermelést, és a tavas rendszer hatásfokát csökkenti.

Az ammónia és a szulfid kulcsszerepet játszó toxikus anyagok. Az algák különösen érzékenyek ezen anyagokra. Az ammónia- és a szulfidtoxicitás pH-függő, és mindkét esetben a nem ionos formák azok, melyek a sejtmembránokon könnyen átjutnak és így inhibíciót okoznak. Így a szulfidtoxicitás csökkenő pH-val nő, és az ammóniatoxicitás a pH növekedésével egyidejűleg emelkedik. A toxicitás hatása a különböző algafajtáknál eltérő, a fajták között toleranciakülönbség létezik. Erre mutatnak rá a következő ábrák (Pearson et al. nyomán, 1987).



67. ábra. A fotoszintézis csökkenése ($^{14}CO_2$-fixálás) az ammóniakoncentráció növelésével (1 m M NH_3 érték százalékban kifejezve), pH = 8,25 értéken



68. ábra. Ammónia okozta fotoszintézis-inhibíció ($^{14}CO_2$-fixálás) különböző pH-értékeken

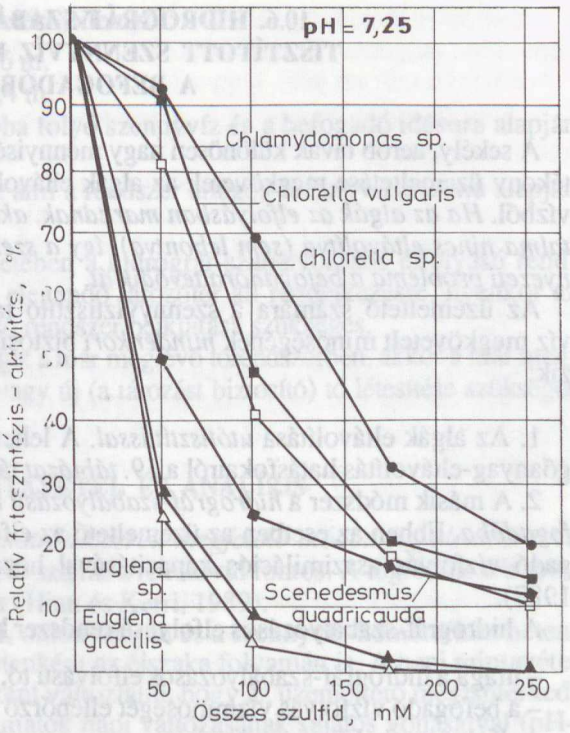
A *67. ábrán* az ammóniatoxicitásnak az alga fotoszintézisére gyakorolt hatása látható, hat algafajtánál. Az ábra szerint a relatív tolerancia-sorrend: *Chlorella*-fajták, *Scenedesmus, Chlamydomonas, Euglena*-fajták. Az ábra pH > 8 értékére vonatkozik. A magasabb pH-értéket az indokolja, hogy az ammóniatoxititás a pH-val nő.

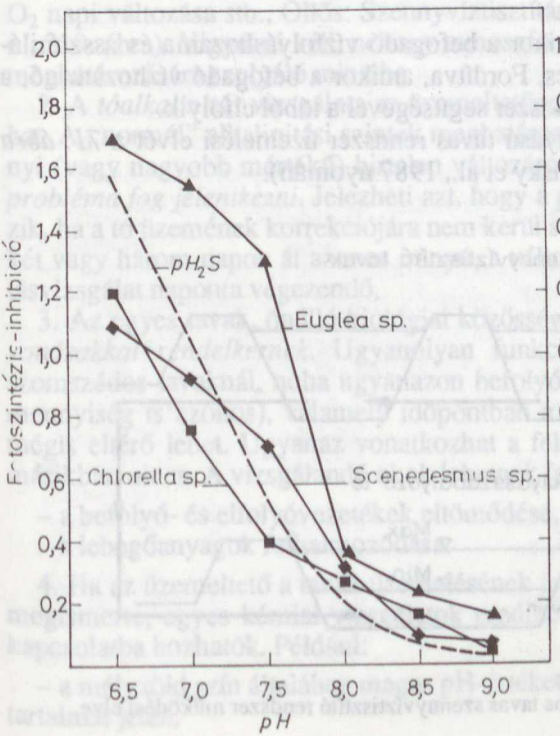
Az ammónia okozta fotoszintézis-inhibíciót szemléltet változó külső pH esetében három algafajtára a *68. ábra.*

A fotoszintézis-csökkenés növekvő szulfidkoncentrációnál, pH = 7,25 feltétel mellett a *69. ábrán* értelmezhető: a vizsgált algafajták közül a szulfidkoncentrációval szemben a legtoleránsabbak a *Chlamydomonas*-fajok. Legkisebb toleranciával az *Euglena*-fajok rendelkeznek.

A fotoszintézis-inhibíció és a pH közötti kapcsolat a *70. ábrán* látható. Az ábráról kitűnik, hogy az *Euglena*-fajok összehasonlíthatóan érzékenyek a szulfidra, különösen a kis pH-értékek tartományában.

69. ábra. A fotoszintézis csökkenése ($^{14}CO_2$-fixálás) a szulfidkoncentráció növelésével, pH = 7,25 értéken (a szabad szulfid %-ában kifejezve)





70. ábra. Szulfid okozta (150 μM) fotoszintézis-inhibíció ($^{14}CO_2$-fixálás) különböző pH-értékeken. [Az inhibíció mint $\log_{10}$ (reciprok %-os aktivitás) ábrázolt]

10.6. HIDROGRÁF-SZABÁLYOZÁSÚ TISZTÍTOTT SZENNYVÍZ ELVEZETÉSE A BEFOGADÓBA

A sekély, aerob tavak különösen nagy mennyiségű algát tartalmaznak. E tavak hatékony üzemeltetése megköveteli az algák eltávolítását az elfolyó, tisztított szennyvízből. *Ha az algák az elfolyásban maradnak, akkor a szennyvíz szervesanyag-tartalma nincs eltávolítva (sem lebontva), így a szerves algatömegből származó környezeti probléma a befogadóra tevődik át.*

Az üzemeltető számára a szennyvíztisztító tavas rendszerből elfolyó szennyvíz megkövetelt minőségének *mindenkori* biztosítására két út (alternatíva) kínálkozik:

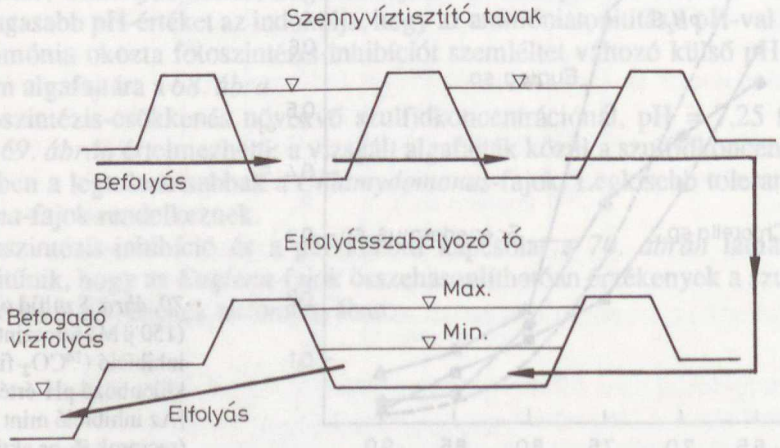
1. Az algák eltávolítása *utótisztítással.* A lehetséges alternatívák nyújtotta lebegőanyag-eltávolítás hatásfokairól a *19. táblázat* tájékoztat.
2. A másik módszer a *hidrográf-szabályozású tisztított szennyvíz elvezetése a befogadóba.* Ebben az esetben az üzemeltető az elfolyó szennyvíz minőségét a befogadó vízfolyás asszimilációs kapacitásával hozza összhangba (Zirschsky et al., 1987).

A hidrográf-szabályozásos elfolyású rendszer komponensei:

– maga a hidrográf-szabályozásos elfolyású tó,
– a befogadó vízfolyás vízminőségét ellenőrző rendszer,
– elfolyásszabályozó rendszer.

Az ilyen tisztítórendszerből, amikor a befogadó vízfolyáshozama és asszimilációs kapacitása kicsi, elfolyás nincs. Fordítva, amikor a befogadó vízhozam nő, a tisztított szennyvíz a szabályozórendszer segítségével a tóból elfolyik.

A hidrográf-szabályozásos elfolyású tavas rendszer üzemelési elvét a *71. ábra* mutatja (EPA 625/6–89/020; Zirschsky et al., 1987 nyomán).



71. ábra. Hidrográf-szabályozásos tavas szennyvíztisztító rendszer működési elve

Az *elfolyásszabályozó tó* üzemelési jellemzői:

– minimális szennyvízréteg: 0,6 m,
– maximális szennyvízréteg: 2,4 m,
– a tó méretei és térfogata a tóba folyó szennyvíz és a befogadó idősora alapján vehetők fel,
– tartózkodási idő 30–120 nap, ami a rendszer átlagos szennyvízhozama alapján választandó meg (EPA 1984).

Meglévő tisztító tórendszer esetében a hidrográf-szabályozásos elfolyású rendszerre könnyen át lehet térni, ha elegendő tározótér áll rendelkezésre, ilyenkor az elfolyás helyén elfolyásszabályozó rendszer beiktatása szükséges.

Ha nincs megfelelő tározótérfogat a már meglévő tórendszerben, akkor a már meglévő tavak térfogatának növelése vagy új (a tározást biztosító) tó létesítése szükséges *(71. ábra)*.

10.7. MINTAVÉTEL ÉS ANALÍZIS

A tavas tisztítás sajátos folyamatrendszereit megfelelő módon figyelembe vevő mintavétel és analízis az üzemeltető számára rendkívül fontos. A legfontosabb mintavételi szempontok a következők (Hiatt és Kerri, 1989):

1. A *pH* és *oldott oxigén*. A pH, oldott oxigén és a szennyvíz-hőmérséklet hetente többször határozandó meg, esetenként az éjszaka folyamán is. A napi mintavételek időpontját célszerű alkalmanként változtatni, hogy az üzemeltető megismerkedhessen a tóban végbemenő folyamatok napi változásának sajátos vonásaival (pH–O_2 napi változása stb., Öllős: Szennyvíztisztítás. 1991, 362. o., 214. ábra, ill. 368. o., 219. ábra). Vigyázni kell, nehogy atmoszferikus oxigén jusson az oldott oxigén meghatározására szolgáló mintába.

2. A *tóalkalinitás* vizsgálata az üzemeltetőnek nagyon fontos információt nyújthat. A „normál" alkalinitási szintek meghatározása után az alkalinitás 10–20 mg/l-nyi (vagy nagyobb mértékű) hirtelen változása azt jelzi, hogy *valamely üzemelési probléma fog jelentkezni*. Jelezheti azt, hogy a pH egy vagy két napon belül változik, ha a tó üzemének korrekciójára nem kerül sor. Ha az alkalinitásváltozás trendje két vagy három napon át azonos irányú, a változás okát tisztázni kell. Az alkalinitásvizsgálat naponta végezendő.

3. Az egyes tavak, önálló biológiai közösségük lévén, *önálló, sajátos folyamatvonásokkal rendelkeznek*. Ugyanolyan funkciójú (pl. párhuzamos kapcsolású) szomszédos tavaknál, noha ugyanazon befolyó szennyvízterhelésűek (minőség és mennyiség is azonos), valamely időpontban a pH- és oldott oxigén koncentráció mégis eltérő lehet. Ugyanaz vonatkozhat a felúszott iszapra is, egyikben létezik, másikban nincs. A vizsgálandó okok lehetnek (például):

– a befolyó- és elfolyóvezetékek eltömődése,
– a lebegőanyagok felhalmozódása.

4. Ha az üzemeltető a tavak üzemelésének jellemző vonásait az analízisek révén megismerte, egyes kémiai vizsgálatok eredményei a *vizuális megfigyelésekkel* is kapcsolatba hozhatók. Például:

– a mélyzöld szín általában magas pH-értéket és kielégítő mértékű oldott oxigéntartalmat jelez,

– tompa-zöld szín vagy a szín hiánya, rendszerint csökkenő pH-értéket és csökkent oldott oxigéntartalmat jelez,
– a szürke szín azt jelzi, hogy a tó túlterhelt és üzeme nem megfelelő.

5. A *BOI* hetente mérendő a napi kis, közepes és nagy szennyvízbefolyás időszakában. Ha az a gyanú, hogy a BOI egy napon belül vagy napról napra tetemesen változik, ill. ha szokatlan körülmények jelentkeznek (pl. toxikus hatások), akkor gyakrabban kell mintát venni. Ha a tó oldott oxigén koncentrációja túlszaturált állapotot képvisel, akkor a mintát a BOI-analízis előtt ki kell levegőztetni.

6. *Egyszeri minta* a pH, oldott oxigén, a szennyvíz-hőmérséklet és a maradék klór méréséhez használt. Az ilyen mintákat vételük után *azonnal analizálni kell.*

7. *Átlagminta* például a tó befolyásából és elfolyásából szabályos időközökben vett minták szennyvízhozammal arányos mennyiségeinek összekeveréséből adódik; másik példa: a tó négy sarkából egyenlő mennyiségben vett minták összekeverése. Az átlagminták a mintavétel után azonnal hűtőkamrába (vagy jégszekrénybe) helyezendők.

Az átlagmintákkal
– a BOI- és
– a lebegőanyag-koncentráció határozható meg.

Az átlagminták alapján kiderül, hogy a szennyvíztisztító tó jó kiegyenlítő sajátosságokkal rendelkezik, de csak akkor, ha nem túlterhelt.

10.8. A MINTAVÉTEL GYAKORISÁGA ÉS HELYE

A vizsgálatok gyakorisága, az analíziseredmények tartományai az egyes tavakra eltérők lehetnek, *de minden egyes tóra általában jellemző paraméter-értéktartomány* állapítható meg (*20. táblázat;* Hiatt, Kerri, 1989).

20. táblázat. A mintavétel gyakorisága, helye, jellemző paraméter-értéktartományok

Vizsgált paraméter	Gyakoriság	Mintavétel helye	Jellemző tartomány
pH	Hetente	Tó	7,5
Oldott oxigén	Hetente	Tó	4–12 mg/l
		Elfolyás	4–12 mg/l
Hőmérséklet	Hetente	Tó	
BOI_5	Hetente	Befolyás	100–300 mg/l
		Elfolyás	20–50 mg/l
Coliform-baktérium-csoport	Hetente	Elfolyás	24 000/100 ml (klórozatlan)
Klórmaradék	Naponta	Elfolyás	0,5–2,0 mg/l
Lebegőanyag	Hetente	Befolyás	100–350 mg/l
		Elfolyás	40–80 mg/l
Oldott anyagok (tápanyagokat is beleértve)	Hetente	Befolyás	250–800 mg/l

10.9. A TAVAS RENDSZERBŐL ELFOLYÓ TISZTÍTOTT SZENNYVÍZ HATÁSA A BEFOGADÓRA

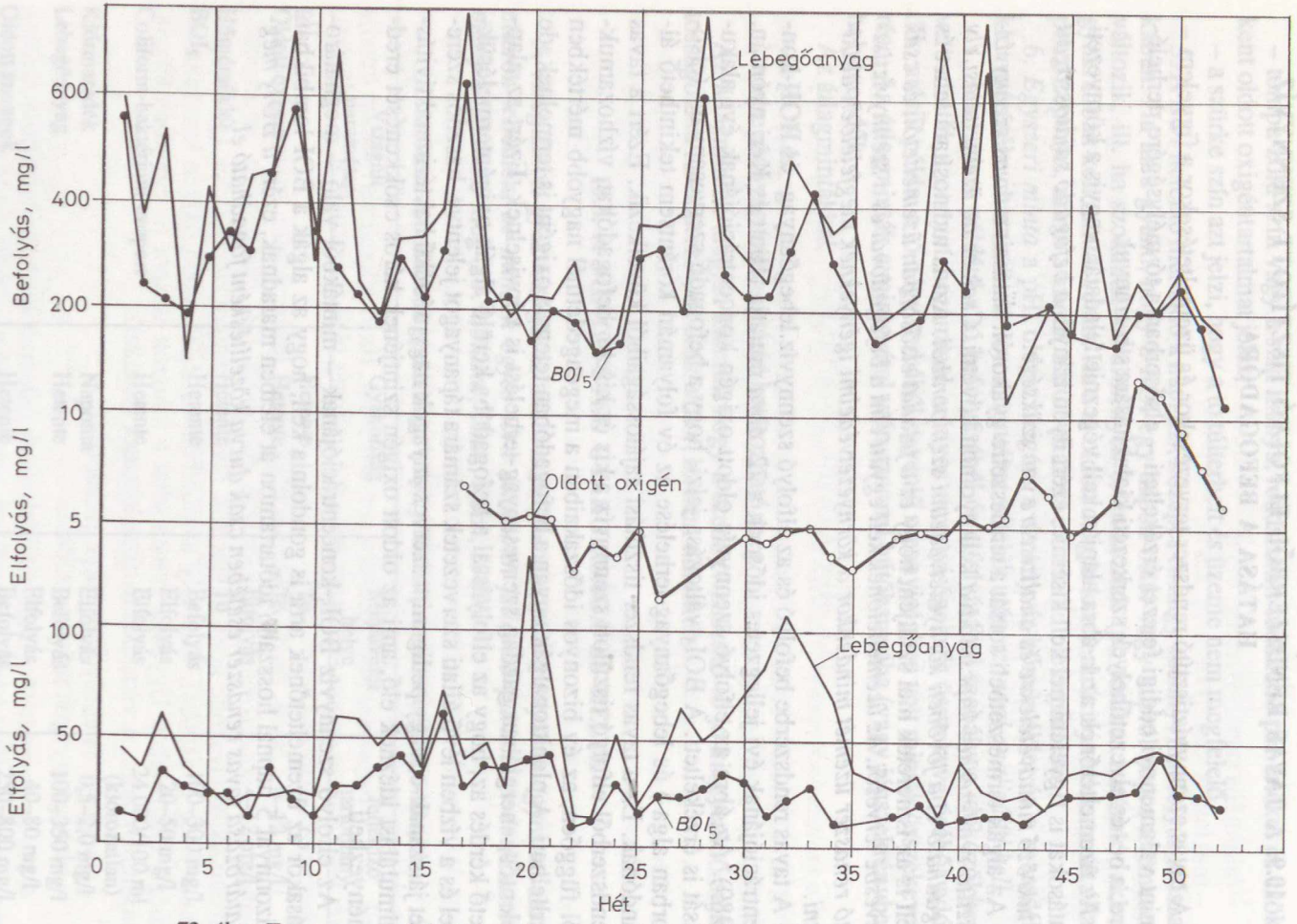
A tavas szennyvíztisztító rendszer tervezésekor és üzemeltetésekor a figyelem – amint valamennyi eddigi fejezet érzékelteti – elsősorban a tó mélységére, terhelésére, a be- és elvezetőhelyek szerkezeti kialakítására stb. irányul.

Az üzemeltetőnek az 1. ábra alapján kell végeznie feladatát, vagyis a környezeti hatásokat is figyelemmel kell kísérnie, ezért ilyen irányú, *a befogadó sajátosságait is tükröző mintavételekre és analízisekre van szüksége.*

Az algák természetbeli sorsát a természetre gyakorolt hatásait a *tavas szennyvíztisztító rendszerhez kapcsolódva* kell nyomon követni. *Csak ez az üzemeltetési elv fogadható el a jövőben környezetvédelmi szempontból.* Azt is tudatosítani lehet és kell is az ismeretek mai szintjén, hogy *ez a feladat elsősorban üzemeltetői, és csak kevésbé tervezői. Az üzemeltetőnek kell együtt élni a befogadóval és a szennyvíztisztító rendszer üzemét mindenkor a környezetvédelmi igényeknek megfelelően alakítani.*

A tavas rendszerbe befolyó és az elfolyó szennyvíz lebegőanyag- és BOI_5-koncentrációjának évi jellegzetes idősorát a *72. ábra* mutatja (Hiatt és Keri nyomán, 1989). Az ábra az elfolyó szennyvíz oldott oxigén koncentrációjának évi alakulását is érzékelteti. A BOI_5 változása jelzi, hogy a befogadó szervesanyag- (elsősorban alga-) és lebegőanyag-terhelése az év folyamán korántsem tekinthető állandónak. Ez a tavas rendszer tisztítási sajátosságaiból következik. Ezért a tavas rendszerből elfolyó tisztított szennyvíz a kis és kisebb befogadókat, vízhozamuktól függően, az év bizonyos időszakaiban a megengedettnél nagyobb mértékben terhelheti. A planktonalgák ugyan a befogadóban tetemes oxigént is termelnek, de jelentős, energiában gazdag szervesanyag-terhelést is képviselnek. Ezért az alapvető kérdés az, hogy az elfolyással a befogadóba kerülő algák oxigéntermelésükkel és a vízben lévő állati szervezetek számára tápanyagot jelentve, hasznos szerepet játszanak-e, vagy pedig mint szerves anyagok nagymértékű baktériumaktivitás-stimulálást idéznek elő, ami az oldott oxigén szintjének káros csökkenését eredményezheti.

Az elfolyó szennyvíz BOI_5-koncentrációjának – mintákból való – meghatározásakor az üzemeltetőnek arra is gondolnia kell, hogy az algák a BOI-lombikban bizonnyal 5 napnál hosszabb időtartamon át életben maradnak, ezért *a BOI_5 meghatározása tavas rendszer esetében csak durva közelítésként fogadható el.*



72. ábra. Tavas szennyvíztisztító rendszer-befolyás és -elfolyás BOI_5- és lebegőanyag-koncentrációi

10.10. SZENNYVÍZBEVEZETŐ ÉS -ELVEZETŐ BERENDEZÉSEK

A berendezések egyszerű, el nem rothadó, üzembiztos, könnyen cserélhető elemekből épüljenek fel.

A bevezetés és elvezetés helyén *merülőfal* (merülőhenger) vagy *süllyesztett elvezetőcső* legyen.

Ezáltal

– a felúszó anyagok mennyisége visszaszorítható,

– a tó szennyvizének hőmérséklete könnyebben megőrizhető, hiszen a melegben a szennyvíz mélyebb szinten áramlik be a tóba, ahol az a már tóban lévő hidegebb szennyvízzel keveredik;

– az elfolyásnál a merülőfal vagy a süllyesztett szintű elvezetőcső megakadályozza a felszíni felúszott anyagok és a hab távozását a tóból *(73. ábra)*.

Így a túlfolyó cső eldugulásának veszélye minimalizálható. Az elvezető oldalon szintszabályozó berendezés is beiktatható az elvezető berendezéssel együtt.

A tisztított szennyvizet a befogadó vízfelszíne alatt *(73. ábra)* célszerű bevezetni.

73. ábra. Süllyesztett szintű elvezetőcső és a befogadó vízfelszíne alatti kifolyás

10.11. KERÍTÉS ÉS JELZŐTÁBLÁK

A tó (vagy tavak) körül kerítés létesítendő avégből, hogy

– az állatok a tótól távol tarthatók legyenek és

– a birtokháborítástól az arra járókat elriassza.

Az üzemeltető- és fenntartógépek átjárását a kerítésen át biztosítani kell. Ehhez széles kapu szükséges; minden kapu zárható legyen.

A kerítés köré jelzőtáblák telepítendők. Ezek célja a telep rendeltetésének jelzése és a birtokháborítás tiltása.

10.12. A TAVAS TISZTÍTÁS ÜZEMZAVARAI ÉS AZOK KIKÜSZÖBÖLÉSI MÓDJAI

A tavas tisztítás jellemző üzemzavarait, azok valószínű okait, az okok ellenőrzését, a lehetséges megoldásokat a *21. táblázat* tartalmazza (Culp et. al. nyomán, 1978).

21. táblázat. A tavas szennyvíztisztítás üzemelési problémái, azok okai, az okok ellenőrzése, a problémák kiküszöbölésének módjai

Üzemzavart jelző megfigyelés	Valószínű ok	Ok ellenőrzése	Megoldás
1. Gyenge tisztított szennyvízminőség (elfolyás)	1a Szervesanyag-túlterhelés		1a A tóba nátriumnitrát adagolandó az oxigéntartalom növelése céljából, vagy az elfolyó szennyvíz recirkuláltatása
	1b Alacsony hőmérséklet	1b Levegő hőmérséklete, a tó barnás színű	1b Ha két vagy több tó létezik, sorba kapcsolt üzeműek legyenek
	1c A befolyó szennyvíz toxikus anyagokat tartalmaz	1c A tó barnás színű	1c Azonosítás és szabályozás a keletkezés helyén
	1d A tó térfogatcsökkenése az iszapakkumuláció miatt		1d Az iszap gyakrabban távolítandó el
	1e A levegőztetőberendezések üzeme hibás	1e Levegőztetőberendezések ellenőrzése	1e A meghibásodott, elkopott alkatrészek cseréje vagy javítása
	1f Keverőberendezések hibásan üzemelnek	1f Keverőberendezések ellenőrzése	1f A meghibásodott, elkopott alkatrészek cseréje vagy javítása
	1g Nagymértékű zavarosság a felúszott iszap és felszíni algaréteg miatt	1g Zavarosság	1g A felúszott iszap feltörése; a szállító csővezetékek 50%-os teltségűek legyenek, hogy a tavak és a vezetékek között zavartalan vízfelszín legyen
	1h A fény leárnyékolása a töltéseken kifejlődött növényzet által	1h Vizuális megfigyelés	1h A növényzet szabályos időközökben eltávolítandó

21. tábl. folyt.

Üzemzavart jelző megfigyelés	Valószínű ok	Ok ellenőrzése	Megoldás
2. Megfelelő folyadékszint nem tartható fenn	2a Elszivárgás	2a Gátak környezetében szivárgás	2a A tó szennyvizéhez bentonit adagolandó vízzárás céljából
	2b Túlzott mértékű párolgás vagy elszivárgás	2b A tartózkodási idő valószínűleg hosszú	2b A felszíni lefolyás vagy élővízfolyás tóba vezetése (részlegesen)
3. Szagemisszió	3a Anaerob állapot	3a Oldott oxigén, összes és oldott szulfidok	3a A szeptikus iszapot és a felúszott iszapot fel kell törni reszuszpenzálás céljából; ha lehetséges, másik tó használandó; a szagot kibocsátó tó pihentetendő; nátrium-nitrát adagolandó a tóba; a befolyó szennyvíz előklórozandó; a tóelfolyás recirkuláltatandó
	3b Algavirágzás	3b Kék-zöld alga szaporodásának ellenőrzése	3b $CuSO_4$ adagolandó havonként 10 lb/MG a > 50 mg/l alkalinitásért 5 lb/MG a < 50 mg/l alkalinitásért
4. Habzás és permetképződés levegőztetett tóban	4. Szeles viszonyok	4. Vizuális megfigyelés	4. A tó körül szélvédő létesítendő (általában magas növésű vegetációval)
5. Rovar jelentkezése	5a Felúszott iszap és növények túlzott mértékű elszaporodása a tó szélvédett területén	5a Vizuális megfigyelés	5a Növényzet és felúszott iszap eltávolítása Rovarirtó szer alkalmazása
	5b Tó melletti sekély víztócsa	5b Vizuális megfigyelés	5b Növényzet levágása a tó környezetében, mélyedések feltöltése
6. Talajvízszennyeződés	6a Elszivárgás a tó fenekén és oldalain	6a Szivárgás a tó gátja körül	6a Bentonit alkalmazása vízzárás céljából
7. Állatjáratok a tó gátjában		7. Vizuális megfigyelés	7. A tó szennyvízszintje sokszor változtatandó, gyors egymásután-ban

21. tábl. folyt.

Üzemzavart jelző megfigyelés	Valószínű ok	Ok ellenőrzése	Megoldás
8. Növényzet túlzott mértékű elszaporodása	8a A tó túl sekély	8a A szúnyogok vizuális megfigyelése a területen	8a Legalább 1 m tómélység előállítása
	8b Elégtelen fenntartási program a növényzet szabályozásához	8b Fenntartási program	8b A programhiányosságok korrigálása
	8c Gyenge áramlás a tóban	8c Az áramlásviszonyok vizuális megfigyelése	8c Fluktuáló szennyvízfelszín a tóban
9. A tó oldott oxigén tartalma kevés	9a Kismértékű algaszaporodás	9a Tó szürke színű	9a Úszó növényzet és egyéb törmelékanyagok eltávolítandók a tó felszínéről a fénybehatolás növelése céljából
	9b A tóba befolyó szennyvízben hidrogénszulfid van	9b Hidrogén-szulfid-szag	9b Befolyás klórozása Szeptikus befolyás eliminálása
	9c Tartózkodási idő	9c Tartózkodási idő rövid	9c Tartózkodási idő hosszabbítandó

10.13. IRODALOM

Abeliovich, A., Azov, Y. (1976): Toxicity of Ammonia to Algae in Sewage Oxidation Ponds. *Appl. and Environ. Microbiol.*, 31.

Bucksteeg, K. (1987): German Experiences with Sewage Treatment Ponds. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 19, No. 12, Printed in Great Britain.

Culp, G. L., Heim, N. F. (1978): Field Manual for Performance Evaluation and Troubleshooting at Municipal Wastewater Treatment Facilities. *EPA–430/9–78–001., EPA Contract,* No. 68–01–4418.

Dinges, R. (1988): Cold-Tolerant Plant has Agriculture Treatment Potential. *Water Engineering Management,* 135, 10, November.

Eischen, G. W., Keenan, J. D. (1985): Monitoring Aerated Lagoon Performance. *J. WPCF,* Vol. 57. No. 8.

EPA (1984): A Practical Technology-Hydrograph Controlled Release Lagoons. Prepared by Environmental Resources Management. Inc., U.S. EPA, Cincinnati, OH.

EPA (1989): Handbook Retrofitting, POTWs . EPA–625/6–89/020 July.

Hiatt, A., Kerri, K. D. (1989): Waste Treatment Ponds. In: *Operation of Waste-water Treatment Plants.* Vol. 1. U.S. EPA. Second Edition, Grant No. T 900690010. Sacramento, California State University.

Konig, A., Pearson, H. W., Silva, S. A. (1987): Ammonia Toxicity to Algal Growth in Waste Stabilization Ponds. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 19, No. 12.

Natarajan, K. V. (1970.): Toxicity of Ammonia to Marine Diatoms. *J. WPCF*, 42.
Ngo, V., Poole, W. (1987): Boosting Treatment Pond Performance. *Pollution Engineering* 62, Sept.
Oswald W. J., Meron A., Zalat, M. D. (1970): Designing Waste Ponds to Water Quality Criteria. *Proc. of the Second Int. Symposium on Waste Treatment Lagoons*, Kansas City, Mo.,
Öllős G. (1991): *Szennyvíztisztítás*. AQUA Kiadó, Budapest.
Pearson, H. W., Mara, D. D., Mills, S. W., Smallman, D. J. (1987): Factors Determining Alga Populations in Waste Stabilization Ponds and the Influence of Alga on Pond Performance. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 19, No. 12.
Reed, S. C., Bastian, R. K. (1980): Aquaculture Systems for Westewater Treatment: An Engineering Assessment. *EPA* 430/9–80–007, U.S. EPA, Cincinnati, OH.
Thomas, P. R., Phelps, H. O. (1987): Aeration and Water Hyacinths in Waste Stabilization Ponds. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 19, No. 12.
Zirschsky, J., Reed, S. C. (1988): The Use of Duckweed for Wastewater Treatment. *J. WPCF*, 60, 1253.
Zirschsky, J., Thomas, R. E. (1987): State of the Art Hydrograph Controlled Realease HCR Lagoons. *J. WPCF*.

10.14. KÉRDÉSEK

1. A tavas szennyvíztisztítás előnyei. (10.1. fejezet.)
2. A tavas szennyvíztisztítás hátrányai. (10.1. fejezet.)
3. A szennyvíztisztító tavak osztályozása és az osztályozás szempontjai. (10.2. fejezet; *56/a–b* és *57/a–b* ábra.)
4. Aerob szennyvíztisztító tó működésének jellemzői. (10.2.1. fejezet.)
5. Mi a különbség az „aerob", „anaerob" és „fakultatív" folyamatok között? *(56/a–b ábra.)*
6. Az anaerob szennyvíztisztító tó működésének jellemzői. (10.2.2. fejezet.)
7. A fakultatív szennyvíztisztító tó működésének jellemzői. (10.2.3. fejezet.)
8. Hogyan befolyásolja a hidraulikai tartózkodási idő a tavas szennyvíztisztítást? (10.2.3. fejezet.)
9. Mi a fotoszintézis, mi a szerepe a tavas szennyvíztisztításban? (10.2.1. fejezet; *58. ábra.*)
10. Milyen tényezők befolyásolják a tavas tisztítás hatásfokát? (10.3. fejezet.)
11. Mekkora tisztítási hatásfok-nagyságrendek várhatók a különböző módokon tervezett tavas rendszerektől? (10.3. fejezet.)
12. Mi a bioflokkuláció a biológiai szennyvíztisztító tavas rendszerekben? (10.3. fejezet.)
13. Miért kell a szennyvíztisztító tóba legalább 30 cm-nyi vizet vezetni a szennyvízbevezetés megindítása előtt? (10.4.1. fejezet.)
14. Miért kell a szennyvíztisztító tavat lehetőleg az év melegebb időszakába üzembe helyezni? (10.4.1. fejezet.)
15. Mit jelez a szennyvíztisztító tóban megjelenő zöld szín? (10.4.1. fejezet.)
16. Minek következtében jelennek meg a gázbuborékok a szennyvíz felszínén a szennyvízbevezetési hely környezetében? (10.4.1. fejezet.)
17. Mikor kell a fenékiszapot eltávolítani a tóból? (10.4.1. fejezet; *63/a–b ábra.*)
18. Miért kell a szennyvíztisztító tó pH-értékét szabályozni a tó üzembe helyezésének kezdő időszakában? (10.4.1. fejezet.)
19. Milyen szabályozási, ill. megelőző módszerek léteznek? (10.4.2. fejezet.)
20. Milyen felúszott iszapeltávolítási módszerek ismertek? (10.4.3. fejezet.)
21. Miért szükséges a tó felszínére felúszott iszapot eltávolítani? (10.4.3. fejezet.)
22. Hogyan kell a makrovegetációt a tóban és a tó kerületén szabályozni, ill. eltávolítani? (10.4.4. fejezet.)

23. Miként kell a rézsűfelület fenntartásáról gondoskodni? (10.4.5. fejezet.)
24. Milyen algaeltávolító utótisztító eljárások léteznek? (10.4.6. fejezet, *19. táblázat.*)
25. Milyen vízinövény-kultúrák ismertek, azok hatásai. (10.4.6.1. fejezet.)
26. Mi a szerepe a recirkulációnak tavas rendszerben? (10.4.7. fejezet.)
27. Az ammónia- és a szulfidtoxicitás hatása az algákra, ennek következményei. (10.5. fejezet.)
28. A tisztított szennyvíz hidrográf-szabályozásos elvezetésének célja, megoldási módjai. (10.6. fejezet.)
29. A tavas szennyvíztisztítással kapcsolatos jellemző mintavételezés, analízis, a mintavételezés gyakorisága. (10.7. és 10.8. fejezet.)
30. A tavas tisztítórendszer és a befogadó közötti kapcsolat. (10.9. fejezet.)
31. Milyen szennyvízbevezető és -elvezető berendezések szükségesek? (10.10. fejezet.)
32. Miért kell a tavak köré kerítést és jelzőtáblákat elhelyezni? (10.11. fejezet.)
33. A tavas tisztítás fő üzemzavarai és azok kiküszöbölésének módjai. (10.12. fejezet, *21. táblázat.*)

11. CSEPEGTETŐTESTES SZENNYVÍZTISZTÍTÁS

11.1. A TISZTÍTÁS ELVE

A csepegtetőtestes biológiai szennyvíztisztítást megelőző előtisztítás jellemző vonásai:

– a rácsok a nagyobb méretű úszó- és lebegőanyagokat távolítják el,
– az előülepítők a víznél nehezebb, ill. a víznél könnyebb ülepíthető lebegőanyagokat szeparálják.

Noha az előülepítő a lebegőanyagokat hatékonyan távolítja el,

– a kisebb méretű, szuszpendált, kolloidális méretű lebegőanyagok és
– az oldott szerves anyagok

eltávolítására alkalmatlan. Pedig ez utóbbi szennyező anyagok (BOI-anyagok) általában jelentős oldott oxigén igényűek.

Ezért az oldott szerves és a nagyon kis méretű, kolloidális, szerves lebegőanyagokat biológiai úton, hatékonyabban és gazdaságosan szeparálható formájúakra (biomasszára, vagyis sejtanyaggá) kell átalakítani. Ez az átalakítási folyamat a tavas (10. fejezet), a csepegtetőstestes vagy az eleveniszapos biológiai tisztítási rendszerben valósítható meg. A keletkezett biomassza a szennyvíztől a biológiai lépcsőt követő *utóülepítőben szeparálható el*, kb. 90%-os, vagy ennél is kedvezőbb hatásfokkal.

A fejezet a csepegtetőtestes biológiai szennyvíztisztítással foglalkozik.

Háromféle csepegtetőtestes eljárás létezik:

1. a hagyományos kőtöltetű és egyéb töltőanyagú,
2. a műanyag töltetű és
3. a forgó merülőtárcsás.

A tisztítás elve mindegyik eljárás esetében azonos: a szennyvízben levő szerves anyagokat a baktériumok oxidálják (stabilizálják), miközben az oxidáció során felszabaduló energia egy részét energianyerésre hasznosítják. Ezáltal fenntartásuk és szaporodásuk lehetővé válik. *A csepegtetőtest a biológiai tisztítási eljárások közül az egyik legmegbízhatóbb üzemű.*

A csepegtetőtestes tisztítás alapvetően aerob, azonban a biológiai hártya túlzott szaporodásakor a hártya belső részében anaerob folyamatok is jelentkezhetnek. A jó hatásfokú biológiai tisztítás érdekében a következő üzemeltetési feltételek biztosítása szükséges:

1. a csepegtetőtestre vezetett szennyvíz ne legyen szeptikus, ennek érdekében,
2. a csatornahálózatban olyan mértékű átlagos áramlási sebességeket kell fenntartani, hogy a csatornahálózatban az ülepedés révén anaerob állapotú fenékiszapréteg ne képződhessen,
3. az előülepítők előtti szennyvízelosztó műtágyban és az előülepítőkben túlzottan hosszú tartózkodási idő ne legyen,
4. az iszapot a szennyvízelosztó műtárgyból és az előülepítőből gyakran (a tényleges igényeknek megfelelően) kell eltávolítani,
5. bizonyos lebontható szerves anyagokat tartalmazó ipari szennyvizek a csepegtetőtestre vezethetők.

A csepegtetőtestes tisztítás elsősorban a széntartalmú szerves anyagokat oxidálja, de megfelelő üzemelési feltételek kielégítése révén a nitrifikációt és a denitrifikációt is biztosíthatja. A széntartalmú szerves anyagok oxidációja, a nitrifikáció és a denitrifikáció sorrendje, egymástól való függősége a következő biokémiai reakciósorból követhető:

1. Széntartalmú szerves anyagok oxidációja
   BOI + NH_4^+ + szilárdanyag-tartalom
   { O_2
   { Heterotróf aerob baktériumok
2. Nitrifikáció
   $CO_2 + H_2O + NH_4^+$ + szilárd anyagok produkciója +kisebb mennyiségű maradék BOI
   { O_2
   { Autotróf baktériumok
3. Denitrifikáció
   NO_3^- + kisebb mennyiségű szilárdanyag-produkció
   { Szerves szénforrás (maradék BOI)
   { Fakultatív baktériumok
   $CO_2 + N_2$ + kisebb mennyiségű szilárdanyag-produkció

Az 1. pont alatti tisztítási folyamat közben csak a széntartalmú szerves anyagok oxidálódnak, a nyers szennyvízben rendszerint NH_4^+-ion formában jelen lévő nitrogén azonban változatlan marad. Az ilyen tisztítási folyamat a nagy felületi hidraulikai terhelésű, ill. a nagy térfogati szervesanyag-terhelésű *(nagy terhelésű vagy szuperterhelésű)* csepegtetőtestes rendszerre jellemző. Ilyen rendszerben a nagy széntartalmú szervesanyag-tartalom oxidálásához a biológiai hártya oldott oxigén készletének zöme felhasználódik, így az NH_4^+-ion (ammónium-ion) oxidálása (nitrifikáció) nem játszódhat le.

Ha a széntartalmú oldott szerves anyagok oxidációján túlmenően az NH_4^+-ion oxidációja, tehát a nitrifikáció is cél, akkor a csepegtetőtest térfogati szervesanyag-terhelése csak kismértékű lehet, ami a *kis terhelésű csepegtetőtestes* rendszerre jellemző. Ez esetben a csepegtetőtesten belüli biológiai hártya oldott oxigén készlete elegendő mind a széntartalmú szerves anyagok, mind az NH_4^+-ion oxidálására. Ezáltal kiküszöbölhető a befogadó szerves nitrogénvegyületek nitrifikálásához szükséges oldott oxigén igénye. De a szervetlen nitrát (NO_3^-) mint növényi tápanyag jelenléte sem kívánatos a befogadóban, hiszen az az eutrofizálódást segíti. *A nagy szennyvíztisztító telepeken a nitrifikálás rendszerint többlépcsős biológiai csepegte-*

tőtestes rendszerrel biztosítható. Az első csepegtetőtest nagy terhelésű, vagy biológiai résztisztításra képes műanyag töltetű rendszer lehet, amellyel a széntartalmú anyagok aerob oxidációjához szükséges oldott oxigén igény zöme megszüntethető. A második, a hagyományos töltetű, kis terhelésű csepegtetőtestes lépcső a nitrifikációt biztosítja.

A 3. pont alatti, bizonyos mértékű denitrifikációs nitráteltávolítás oldott oxigén hiányában valósul meg a biológiai hártya belső részében. A jó hatásfokú denitrifikálásra azonban a csepegtetőtest önmagában nem alkalmas.

A csepegtetőtestes szennyvíztisztító telepen a foszfortápanyag eltávolítása a vas- és alumíniumsók előülepítőbe vagy utóülepítőbe adagolásával érhető el. A sók közvetlen adagolása a csepegtetőtestre gyenge eredményre vezetne. Az elő- és utóülepítőbe mész is adagolható, ami szintén kedvező eltávolítást nyújt. De ha a mésszel kezelt utóülepítő elfolyó szennyvizét recirkuláltatjuk a csepegtetőtestre, ott pH- és iszaplerakódási problémák jelentkezhetnek.

11.2. A KŐTÖLTETŰ CSEPEGTETŐTEST

A kőtöltetű csepegtetőtest három fő részből áll:

1. A kőtöltetből, ami a biológiai hártya hordozóanyaga.
2. A csepegtetőtesten átjutó szennyvíz elvezetését, egyben a réteg levegőzését a kőtöltetet alátámasztó drénrendszer biztosítja.
3. A szennyvizet a töltőrétegre vízszintes, síkban forgó vagy fix, perforált lyukakkal rendelkező elosztócsövek vezetik rá.

A kőtöltetű csepegtetőtestet durva, 5–10 cm átmérőjű szemcsék alkotják. Anyaguk ellenálló és tartós: kő, salak, tégla stb.

A legtöbb csepegtetőtest nagy átmérőjű hengeres műtárgy, kőtöltetének rétegvastagsága viszonylag kicsi.

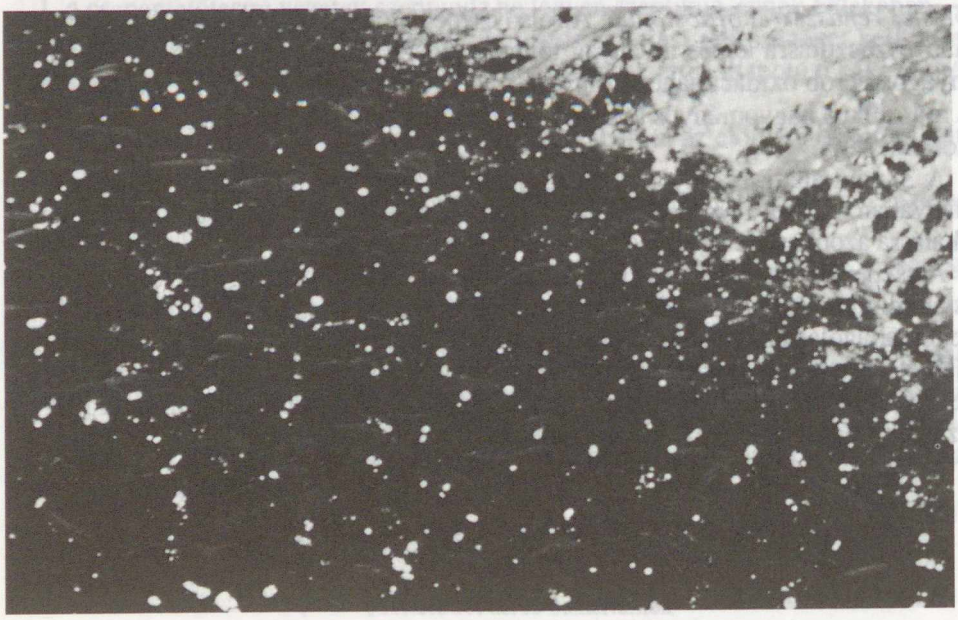
A kőtöltet szemcséinek felületén *biológiai hártya* fejlődik ki *(74. ábra)*, amely elsősorban a szervezetek komplex populációjából áll. Ez a populáció bontja le a szennyvízben lévő szerves anyagokat, és ezt az teszi lehetővé, hogy a töltőtestben lefelé „szűrődő" szennyvíz a hártyás rendszerrel kontaktusba kerül. Az ilyen rendszerben *a biológiai hártya a fix mozdulatlan alátámasztó kőtöltetrészecskék felületéhez rögzül.*

A csepegtetőtest üzembe helyezését követően, amint az előülepített szennyvíz a csepegtetőtestre kerül, a töltőanyag-részecskék felületén zselészerű, nyálkás biológiai hártya képződése indul meg, ami baktériumokat és egyéb biotákat tartalmaz.

Az oxigén az aerob baktériumok számára a természetes levegőzésből és a hártyába bediffundáló szennyvízből származik. A hártya vastagodását követően a töltet felső zónájában lévő hártya belső részében a hártyavastagságtól stb. függően bizonyos mértékű anaerob lebontás is létrejön.

A hártyában élő szervezetek, elhalt szervezetek, kolloidális anyagok és egyéb törmelékanyagok vannak.

A töltőanyag a felületén kifejlődött biológiai hártyával olyan szerkezetet képvisel, amelynek hézagrendszerében a természetes levegőzés és ezáltal a biológiai hár-



74. ábra. Biológiai hártya a kőtöltet szemcséinek felületén

tya oxigénnel való ellátottsága biztosított. A töltet szemcséinek mérete nem túl kritikus paraméter, inkább az a lényeges, hogy a szemcsék *az egész töltőtestben viszonylag egyforma méretűek legyenek (75/a ábra).* A töltőtest egyforma levegőztetése csak ezáltal biztosítható. A töltőtestréteg vastagsága 2–3,5 m.

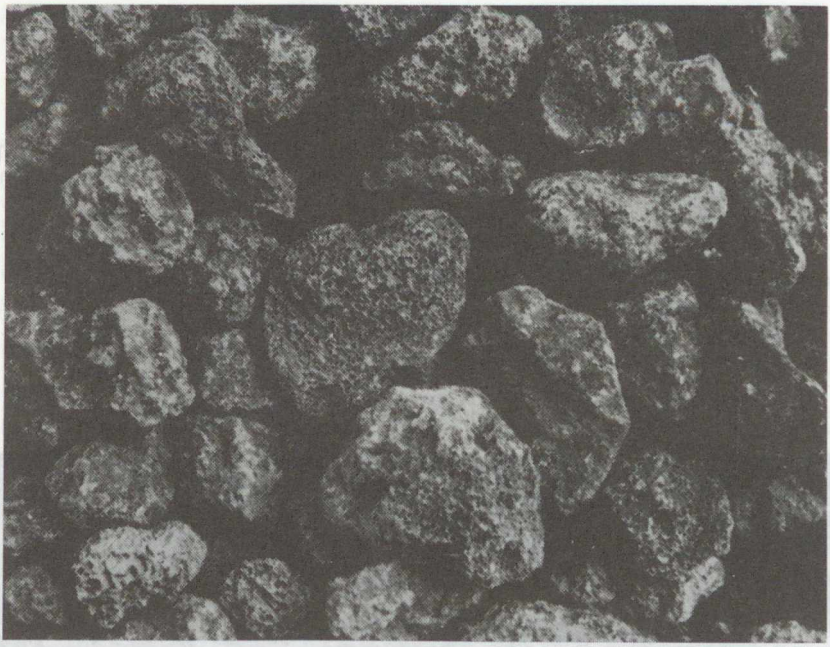
A szennyvízelvezető *drénrendszer* lejtős fenekű, így a szennyvíz gyűjtőcsatornába folyik össze. A drénrendszert egymás mellé helyezett, egymástól nyílással elválasztott vörösfenyő gerendák, előregyártott betonblokkok *(75/b ábra)*, égetett agyagblokkok alkothatják.

A *szennyvízelosztó rendszert* az esetek zömében két vagy több vízszintes, a töltőtest felett elhelyezett, körbeforgó cső alkotja *(76/a–b ábra).* A szennyvíz rendszerint alulról felfelé áramolva, a szennyvízbevezető csőben (*77. ábra;* Kerri nyomán, 1989) a töltőtest feletti, központi hengeres tározóba kerül, amihez a körbeforgó elosztócsövek csatlakoznak.

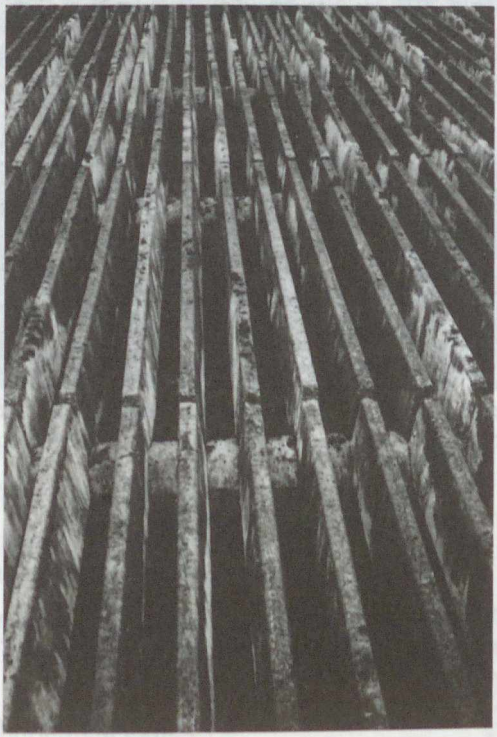
A csövek a Segner-kerék elve alapján mozognak.

A szennyvíz rávezetése a töltőanyagra folyamatos vagy időszakos lehet.

a)

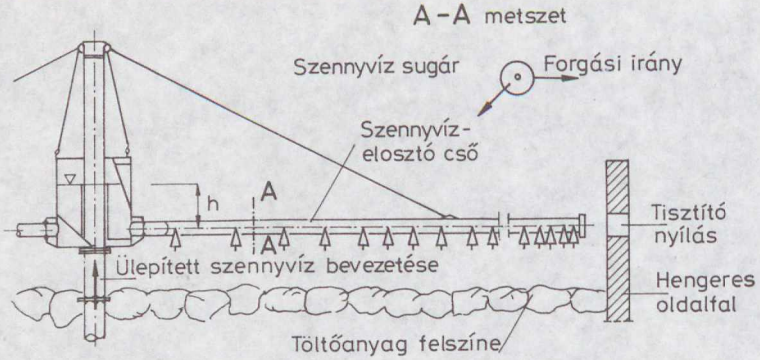


b)

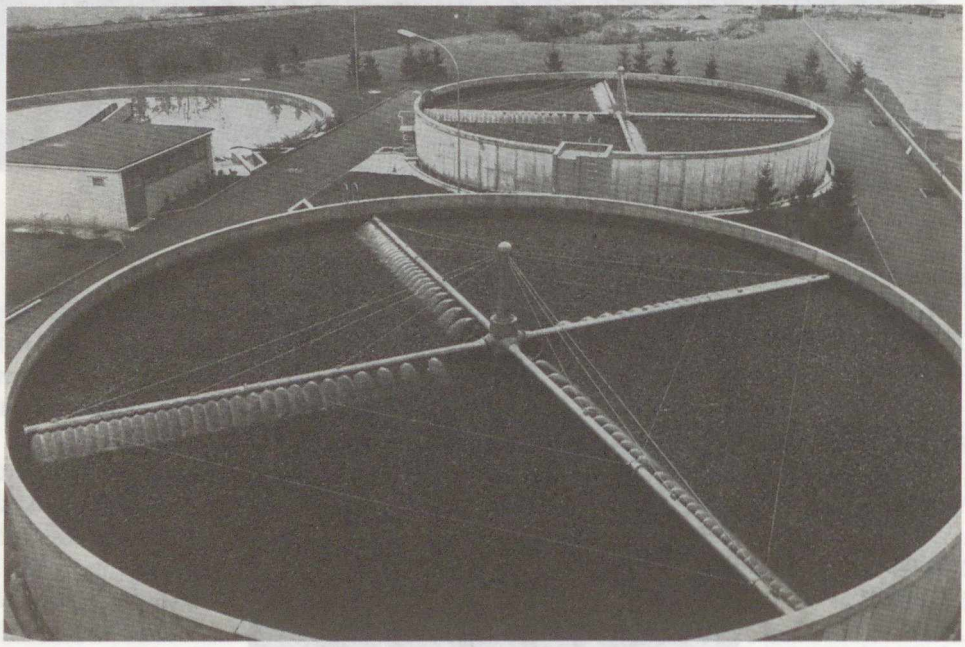


75/a–b ábra. A csepegtetőtestes töltőanyag szemcséi *(a)* és a töltet alatti alátámasztó drénrendszer *(b)* (fotó: dr. Dulovics Dezső)

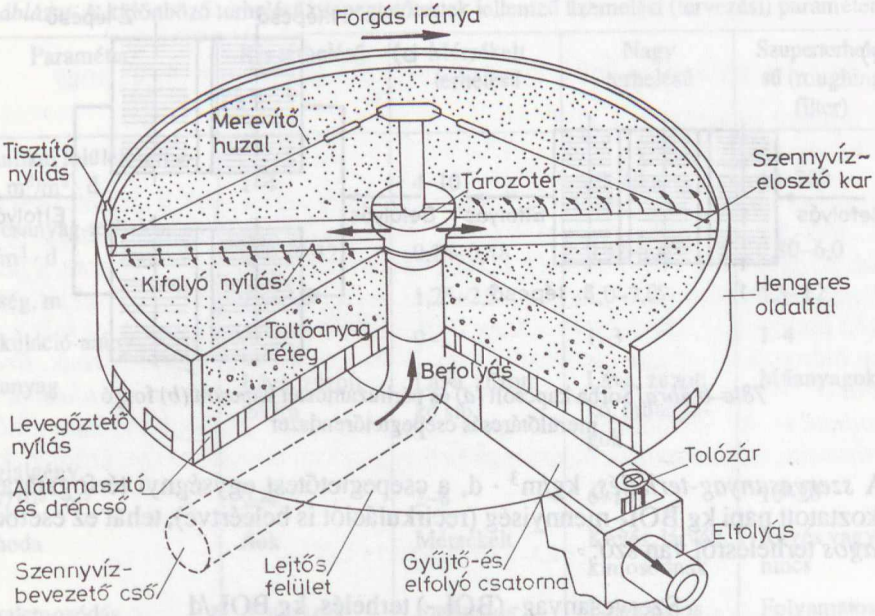
a)



b)



76/a–b ábra. A szennyvizet a csepegtetőtestre elosztó forgó csőrendszer



77. ábra. Hagyományos csepegtetőtest szerkezete és működési elve

11.2.1. A CSEPEGTETŐTESTEK OSZTÁLYOZÁSA

A csepegtetőtestek a töltőtest hidraulikai és szervesanyag-terhelése alapján

- kis terhelésűek,
- mérsékelt terhelésűek,
- nagy terhelésűek és
- szuperterhelésűek lehetnek.

Az alkalmazott csepegtetőtest-lépcsők szerint

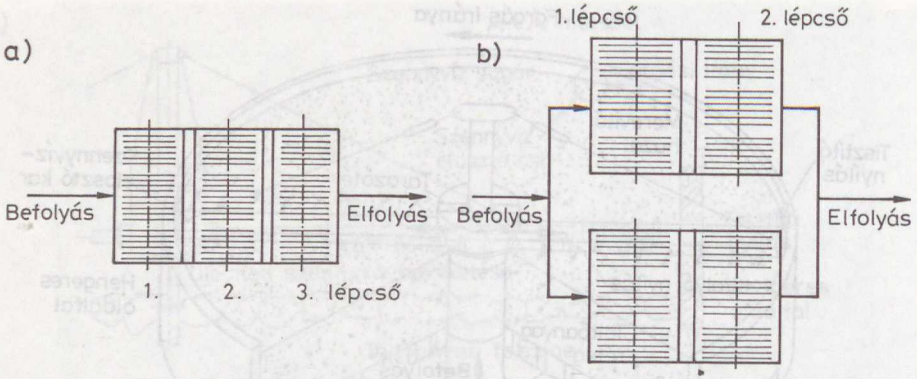
- egylépcsős (l. *81/a–h ábra*),
- kétlépcsős (l. *81/i–n ábra*), ill.
- vegyes (csepegtetőtest + eleveniszapos medence) rendszerek léteznek.

Lehetnek továbbá – például – merülőtárcsás rendszerben

- sorba kapcsoltak *(78/a ábra)* vagy
- párhuzamosan kapcsoltak *(78/b ábra)*.

A *hidraulikai terhelés*, $m^3/m^2 \cdot d$ a csepegtetőtest egységnyi felületére vezetett napi szennyvíz térfogata (a recirkulációt is beleértve), tehát *fajlagos* terhelés:

$$\text{Hidraulikai terhelés} = \frac{\text{Szennyvízhozam, } m^3/d}{\text{Töltőtestfelület, } m^2}. \qquad (11)$$



78/a–b ábra. Sorba kapcsolt *(a)* és párhuzamosan kapcsolt *(b)* forgó merülőtárcsás csepegtetőrendszer

A *szervesanyag-terhelés*, kg/m^3 · d, a csepegtetőtest egységnyi térfogatára vonatkoztatott napi kg BOI_5-mennyiség (recirkulációt is beleértve), tehát ez esetben is *fajlagos* terhelésről van szó:

$$\frac{\text{Szervesanyag- (BOI}_5\text{-) terhelés, kg BOI}_5\text{/d}}{\text{Töltőtest-térfogat, m}^3} =$$

$$= \frac{\text{Alkalmazott kg BOI}_5\text{/d}}{\text{Töltőtest-térfogat, m}^3} .$$

A különböző terhelésű csepegtetőtestek jellemző paramétereit, azok tartományait, fontosabb üzemelési sajátosságait a *22. táblázat* érzékelteti.

1. *A kis terhelésű csepegtetőtestek* közül sok recirkulációs lehetőséggel is rendelkezik, a kis szennyvízhozamok időszakára.

A biológiai hártya, amely elsősorban a baktériumokból és a protozoákból áll, gyakran tetemes.

A hártya időszakonként mosódik le.

Az elfolyás BOI_5-koncentrációja települési szennyvíz esetében *általában stabil*, 20–25 mg/l.

2. *A nagy terhelésű csepegtetőtestek* létrehozásának céljai:

– a beruházási és üzemelési költségek csökkentése (a kis terhelésű rendszerre vonatkoztatva),

– ugyanazon rendszerben nagyobb lehessen a szervesanyag-terhelés. Az üzemeltetési tapasztalatok szerint azonos mértékű BOI_5-eltávolítás érhető el nagyobb szervesanyag-terhelések esetében is.

A rendszer kőtöltetű és műanyag töltetű lehet. Recirkulációra szükség van.

A biológiai hártya lemosódása a nagy hidraulikai terhelés következtében a kis terhelésű rendszerénél jóval egyenletesebb. A csepegtetőtestet elhagyó, lemosódott hártyaanyag a kis terhelésű rendszerénél kisebb sűrűségű, ezért ülepítése nehezebb. Az elfolyó szennyvíz BOI_5-koncentrációja 20–50 mg/l.

22. táblázat. A különböző terhelésű csepegtetőtestek jellemző üzemelési (tervezési) paraméterei

Paraméter	Kis terhelésű	Mérsékelt terhelésű	Nagy terhelésű	Szuperterhelésű (roughing filter)
Hidraulikai felületi terhelés, $m^3/m^2 \cdot d$	1–4	4–10	10–40	40–200
Szervesanyag-terhelés, $kg/m^3 \cdot d$	0,08–0,32	0,24–0,48	0,32–1,0	0,80–6,0
Mélység, m	1,5–3,0	1,25–2,5	1,0–2,0	4,5–12
Recirkuláció-arány	0	0–1	1–3	1–4
Töltőanyag	Láva, zúzott kő stb.	Láva, zúzott kő stb.	Láva, zúzott kő, műanyagok	Műanyagok
Energiaigény, $kW/10^3 \cdot m^3$	2–4	2–8	6–10	10–20
Psychoda	Sok	Mérsékelt	Kevés, lárvák kimosódnak	Kevés vagy nincs
Hártyalemosódás	Szakaszos	Szakaszos	Folyamatos	Folyamatos
Szennyvízadagolások közötti időtartam	5 min-nál nem hosszabb (szakaszos)	(Folyamatos)	15 s-nál nem hosszabb (folyamatos)	Folyamatos
Elfolyó szennyvíz	Általában tökéletesen nitrifikált	Részlegesen nitrifikált	Nitrifikált kis terhelések esetében	Nitrifikált kis terhelések esetében

A nagyobb szervesanyag-terhelés miatt nitrifikáló baktériumok jelenléte a töltőtestben eleve kizárt.

3. *A szuperterhelésű csepegtetőtestek* a különböző műanyag töltőtestek kifejlesztésével keletkeztek. Általában a nagyon nagy szervesanyag-tartalmú szennyvizek részleges biológiai tisztítóberendezéseként alkalmazzák. Nagy fajlagos felületük miatt kisebb terheléssel működő nagy terhelésű rendszerként is üzemeltethetők. A szuperterhelésű csepegtetőtestek után további, második (csepegtetőtest, vagy eleveniszapos) rendszer alkalmazható. Sokszor nagy szervesanyag-tartalmú ipari szennyvizek biológiai tisztításához lésesülnek. Akkor is alkalmazhatók, ha csak 50–70 százalékos BOI_5-eltávolítás szükséges.

Tisztítási hatásfokára jellemző, hogy

– a BOI_5-csökkentő hatásfoka a nagy terhelésű berendezéshez képest lényegesen alacsonyabb, de

– a töltőtest egységnyi térfogatára vonatkoztatott BOI_5-eltávolító hatásfoka nagyobb.

11.2.2. A TÖLTŐTEST HATÁSA A TISZTÍTÁSI FOLYAMATOKRA

A hagyományos, kőtöltetű csepegtetőtestek töltetszerkezete olyan, hogy

– fajlagos felületük és
– hézagtérfogatuk

viszonylag kicsi *(23. táblázat)*. A fajlagos felület növelése csak a „töltőtestrészecskék" méretének csökkentésével, vagy a töltet fajtájának megváltoztatásával *(23. táblázat)* érhető el. A töltőtestrészecskék méretének csökkentése viszont a hézagtérfogat csökkenésével, ezáltal az eltömődés veszélyének növekedésével jár együtt, hiszen gondolni kell arra, hogy a nagy BOI_5-koncentrációjú *szennyvizek* már kis felületi hidraulikai terhelés esetében is nagy BOI_5 térfogati terhelést okoznak. *Ezért a kőtöltetű csepegtetőtest alternatívájaként a műanyag töltetű csepegtetőtestek szaporodnak el.* Az üzemeltető számára fontos érdek, hogy a különböző fajta töltőtestek tisztítási folyamatainak hatásfokait befolyásoló tulajdonságai tisztázódjanak.

11.2.3. TÖLTŐTESTFAJTÁK

A jelenleg alkalmazott töltőtestfajták fajlagos felülete és hézagtérfogata a *23. táblázat* alapján hasonlítható össze (Harrison et al. nyomán, 1987).

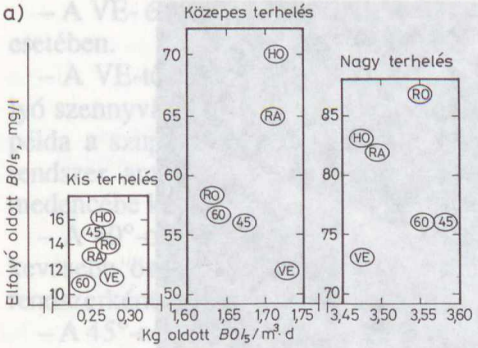
11.2.4. HATÁSFOK-ÖSSZEHASONLÍTÁS

A *23. táblázat*ban szereplő *töltőtestfajták* relatív hatásfoka és üzemelési jellemzői közepes és nagy szervesanyag-terhelés esetében, félüzemi (tehát bizonyos mértékig közelítő) vizsgálatok alapján (Aryan et al., 1987) a következők (Harrison et al., 1987; Richards et al., 1986; Parker et al., 1984).

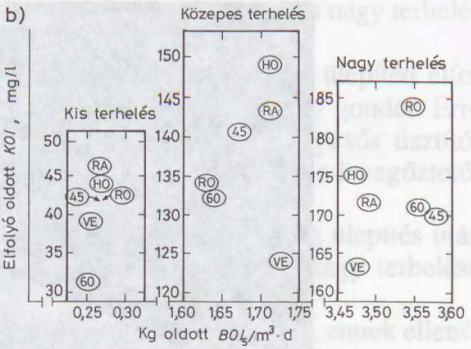
23. táblázat. Töltőtestfajták, fajlagos felületük és hézagtérfogatuk

Töltőtestfajta	Fajlagos felület, m^2/m^3	Hézagtérfogat, %
Kőtöltet (RO)	50	35
Szabálytalan (kis műanyag modulok) (RA)	105	92
Vízszintes elemekből összeállított (HO)	46	94
Függőleges elemekből összeállított (VE)	88	97
Keresztáramlású (60°)	98	95
Keresztáramlású (45°)	98	95

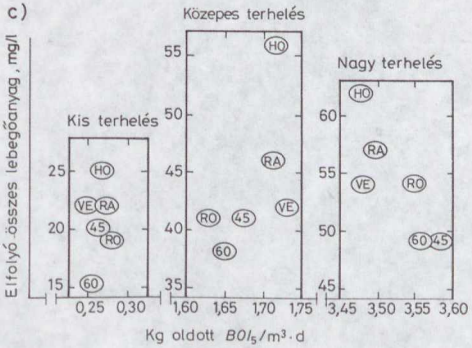
1. A *szerves anyag eltávolítása (79/a ábra)* közepes és nagy terheléskor a legkedvezőbb a VE típusú töltet esetében, ezt követi a 45°-os és a 60°-os keresztáramlású rendszer.



79/a ábra



79/b ábra



79/c ábra

79/a–c ábra. A különböző fajta csepegtetőtestekről elfolyó szennyvíz minősége (*a:* oldott BOI_5; *b:* oldott KOI; *c:* összes lebegőanyag) kis, közepes és nagy oldott szervesanyag-terhelés függvényében (jelmagyarázat a *23. táblázat*ban)

2. A különböző terhelésekhez és töltettípusokhoz tartozó *átlagos oldott KOI-eltávolítás* a *79/b ábrán* adott. A legkedvezőbb eltávolítást közepes és nagy terheléskor a VE-töltet biztosítja.

3. Az *összes lebegőanyag-eltávolítás (79/c ábra)* mindhárom terhelés esetében legkedvezőbb a 60°-os keresztáramlású rendszerben.

4. *Nedvesedés.* A szennyvíz egyenletes elosztódása a töltőanyag felületén a legkedvezőbb a HO-töltetben. A leggyengébb elosztódás (száraz felületrészek jelentkezése) az RA-töltetre jellemző. A száraz felületek a 45°-os keresztáramlású töltet vízszintes elemi felületein is jellemzők.

5. *Biológiai hártya.* A biológiai hártya a nedvesedéssel szoros kapcsolatban van: *a jó nedvesedés egyenletes biológiai hártyaképződéssel jár együtt.* Egyenletes, jól kifejlődött hártyaképződés a VE-töltethez tartozik. A hártyaképződés szabálytalan modulokból felépülő töltet (RA) esetében gyenge értékű.

6. *Psychoda.* Viszonylag nagy Psychoda-populáció jelentkezik a 45°-os keresztáramlású és az RA-töltetben, amelyekben száraz felületrészek találhatók. A jól nedvesedő VE és a 60°-os keresztáramlású rendszerben a populáció mennyisége korlátozott. *A*

80. ábra. A szennyvíz rávezetése a kőtöltetű csepegtetőtest felszínére (szerző felvétele)

legtöbb légy a kőtöltetű rendszerben (RO) található, amelyben a vastag biológiai hártya a legyek számára kedvező miliőt biztosít, ha a szennyvízelosztás hidraulikája kedvezőtlen. A *80. ábra* hidraulikai szempontból kedvezőtlen szennyvízrávezetést mutat be, mert a sugarak a töltőtestben *sugárirányban* egyenlőtlen hidraulikai terhelést hoznak létre. A Psychoda szempontjából kedvező hidraulikájú szennyvízrávezetés a *76/b ábrán* értelmezhető, ahol a hidraulikai terhelés sugárirányban összefüggő, így a töltőtestben a legyeket ciklikusan minden ponton lefelé mozgó szennyvíz „öntözi".

7. *Eltömődés. Az eltömődés valószínűsége a kőtöltetű rendszerben* (RO) *a legnagyobb,* mert a hézagtérfogat ez esetben viszonylag kicsi, és a biológiai hártya tömege viszonylag nagy. *Az eltömődés lehetősége a nagy terhelésű rendszerben a töltet geometriai komplexitásával is korrelációban van.* Például *a szilárd anyagok akkumulálódása, boltozódása a 45°-os keresztáramlású rendszerben, annak különösen a vízszintes elemeiben eleve könnyen jelentkezik.*

További üzemeltetési tapasztalatok:

– A 60°-os keresztáramlású rendszerek különösen előnyösek a kis terhelésű csepegtetőtest vagy a csepegtetőtest–kontakt eleveniszapos, kétlépcsős tisztítórendszerben.

– A VE- és a 60°-os keresztáramlású töltetek előnyösek közepes és nagy terhelés esetében.

– A VE-töltetű csepegtetőtest alkalmazása előnyt jelenthet, ha az ülepített elfolyó szennyvíz összes lebegőanyag-tartalmának ingadozása nem okoz gondot. Erre példa a szuperterhelésű csepegtetőtest–kontakt eleveniszapos kétlépcsős tisztítórendszer, amelyben a csepegtetőtest elfolyó szennyvize közvetlenül a levegőztetőmedencébe kerül.

– A 60°-os keresztáramlású, csepegtetőtestből kikerülő szennyvíz ülepítés után kevesebb összes lebegőanyagot tartalmaz. Emiatt az ilyen töltet nagy terhelésű rendszerként jól alkalmazható.

– A 45°-os keresztáramlású csepegtetőtest hatásfoka viszonylag jó, ennek ellenére az üzemelési problémák (gyenge nedvesedés, legyek, eltömődés veszélye) korlátozhatják alkalmazását.

Az ilyen üzemeltetési tapasztalatok, adott szennyvízhez, a megfelelő töltőanyagfajta megválasztását segítik. Üzemeltetési tapasztalatok nélkül ez a feladat optimális módon nem oldható meg. Az üzemeltetési tapasztalatok azt is jól érzékeltetik, hogy *a töltőtestek hézagtérfogatának, geometriai sajátosságainak, valamint az üzemelési feltételeknek a megválasztására, ill. összehangolására nagy gondot kell fordítani.*

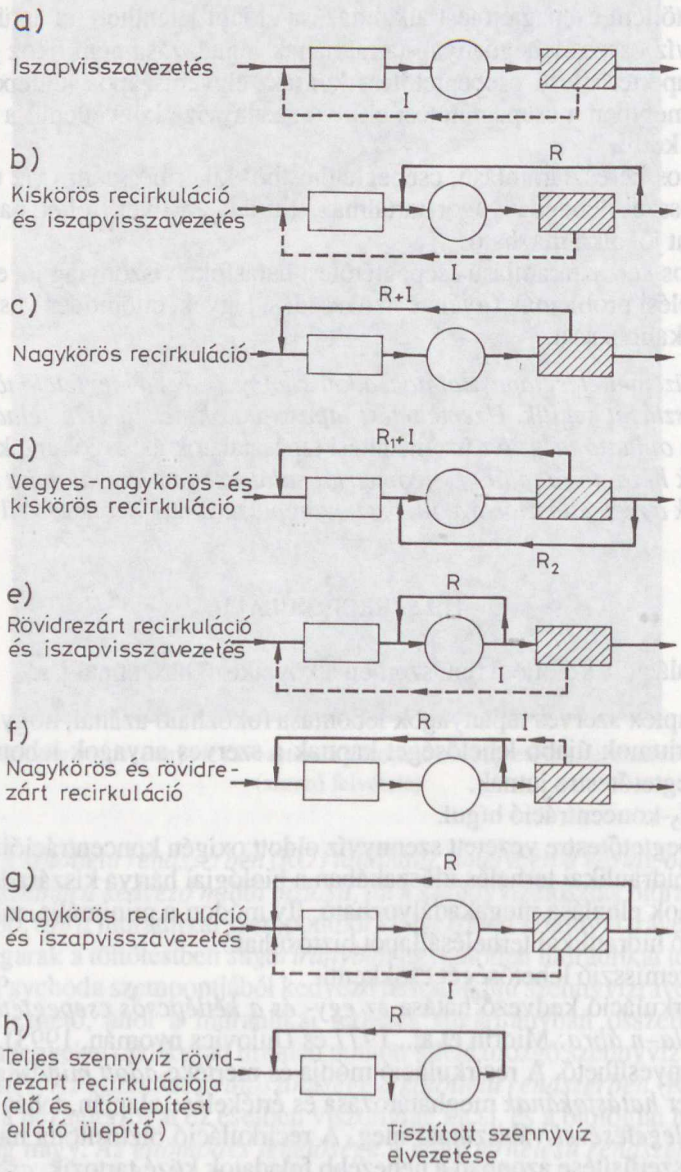
11.2.5. RECIRKULÁCIÓ

A recirkuláció a kőtöltetű rendszerben a következő haszonnal jár:

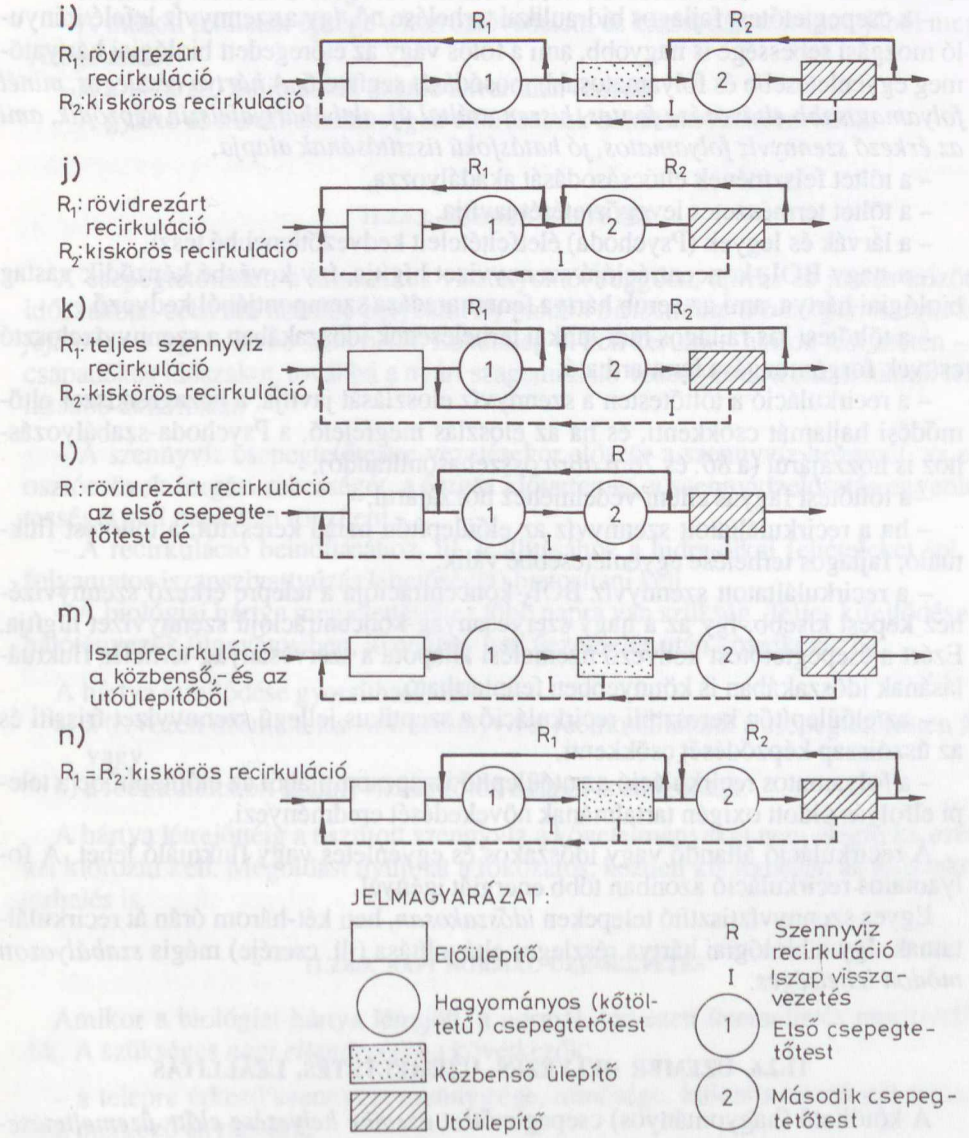
1. A komplex szerves tápanyagok lebontása fokozható azáltal, hogy a recirkuláltatott baktériumok újabb lehetőséget kapnak a szerves anyagok lebontására, amelyek a csepegtetőtestre jutnak.
2. A BOI_5-koncentráció hígul.
3. A csepegtetőtestre vezetett szennyvíz oldott oxigén koncentrációja nő.
4. A kis hidraulikai terhelés időszakában a biológiai hártya kiszáradása és emiatt a baktériumok elhalása megakadályozható. Ily módon a minimális, mindenképpen fenntartandó hidraulikai terhelésállapot biztosítható.
5. A szagemisszió lehetőségét csökkenti.
6. A recirkuláció kedvező hatása az *egy- és a kétlépcsős csepegtetőtestes rendszerben* (*81/a–n ábra;* Miorin et al., 1977 és Dulovics nyomán, 1993) többféle formában érvényesíthető. A recirkuláció módja és mértéke *adott minőségű szennyvízre* a rendszer *hatásfokának* meghatározása és értékelése alapján, tehát az *üzemelési adatok mérlegelésével* választható meg. A recirkuláció biztosította hatásfok-növekedés számszerűsítése azonban a nehezebb feladatok közé tartozik, *csak az üzemeltetési adatok alapján határozható meg.*

A recirkuláció során a csepegtetőtestet vagy az utóülepítőt elhagyó szennyvíz a csepegtetőtest vagy az előülepítő előtti csatornaszakaszba kerül, így a recirkuláltatott szennyvíz a töltőtest biológiai hártyájával *több mint egyszer kerül kontaktusba.*

A recirkuláció a csepegtetőtestes rendszer hatásfokát, ill. annak üzemeltetését a következőképpen befolyásolja:



81/a–h ábra. Recirkuláció-alternatívák az egylépcsős hagyományos (kőtöltetű) csepegtetőtestes rendszerekben



81/i–n ábra. Recirkuláció-alternatívák a kétlépcsős hagyományos (kőtöltetű) csepegtetőtestes rendszerekben

– a kontaktidő nő és
– a töltőtest mélyebb tere is sokfajta aktív szervezethez jut,
– a csepegtetőtest fajlagos hidraulikai terhelése nő, így a szennyvíz lefelé irányuló mozgási sebessége is nagyobb, ami a fölös vagy az elöregedett biológiai hártyatömeg egyenletesebb és folyamatosabb mosódását segíti elő. *A hártya részleges, minél folyamatosabb eltávozása fontos, hiszen ezáltal új, aktív hártyafelszín képződik, ami az érkező szennyvíz folyamatos, jó hatásfokú tisztításának alapja,*
– a töltet felszínének eltócsásodását akadályozza,
– a töltet természetes levegőztetését javítja,
– a lárvák és legyek (Psychoda) életfeltételeit kedvezőtlenebbé teszi,
– a nagy BOI_5-koncentrációjú szennyvizet hígítja, így kevésbé képződik vastag biológiai hártya, ami az aerob hártya fennmaradása szempontjából kedvező,
– a töltőtest kis fajlagos hidraulikai terhelésének időszakában a szennyvízelosztó csövek forgómozgása fenntartható,
– a recirkuláció a töltőtesten a szennyvíz eloszlását javítja, a hézagrendszer eltömődési hajlamát csökkenti, és ha az eloszlás megfelelő, a Psychoda-szabályozáshoz is hozzájárul (a *80.* és *76/b ábra* összehasonlítandó),
– a töltőtest fagyás elleni védelméhez hozzájárul,
– ha a recirkuláltatott szennyvíz az előülepítőn halad keresztül, a töltőtest fluktuáló, fajlagos terhelése egyenletesebbé válik,
– a recirkuláltatott szennyvíz BOI_5-koncentrációja a telepre érkező szennyvizéhez képest kisebb, így az a nagy szervesanyag-koncentrációjú szennyvizet hígítja. Ezért a csepegtetőtest kedvező üzemelési állapota a szervesanyag-terhelés fluktuálásának időszakában is könnyebben fenntartható,
– az előülepítőn keresztüli recirkuláció a szeptikus jellegű szennyvizet frissíti és az úszóiszap képződését csökkenti,
– a folyamatos recirkuláció az utóülepítő iszapzsompjából az előülepítőbe a telepi elfolyás oldott oxigén tartalmának növekedését eredményezi.

A recirkuláció állandó vagy időszakos és egyenletes vagy fluktuáló lehet. A folyamatos recirkuláció azonban több energiát igényel.

Egyes szennyvíztisztító telepeken *időszakosan*, heti két-három órán át recirkuláltatnak. Így a biológiai hártya részleges eltávolítása (ill. cseréje) mégis *szabályozott módon lehetséges.*

11.2.6. ÜZEMBE HELYEZÉS, ÜZEMELTETÉS, LEÁLLÍTÁS

A kőtöltetű (hagyományos) csepegtetőtest *üzembe helyezése előtt, üzemeltetésekor és leállításakor* bizonyos szempontok, előírások figyelembevétele szükséges (Bristow és Kerri, 1989). Ezek a következők:

11.2.6.1. ÜZEMBE HELYEZÉS ELŐTTI TEENDŐK

A csapágyakat szállításhoz, a károsodás megelőzése céljából, speciális korrózióvédő anyaggal vonják be. Az üzembe helyezés előtt a konzerválóanyag eltávolítandó és az üzemeléshez megfelelő kenőanyaggal helyettesítendő.

– Az olajok és kenőanyagok fajtái és töltési mennyiségeik ellenőrzendők.
– A szennyvízelosztó forgócsövek működése ellenőrzendő.
– A mázolt felületek épsége a korrózióvédelem és károsodás szempontjából megvizsgálandó.
– A tolózárak, zsiliptáblák üzeme zavartalan legyen.
– A gyártó és kereskedelmi cégek előírásainak betartása ellenőrzendők.

11.2.6.2. ÜZEMBE HELYEZÉS

A csepegtetőtestet, a klimatikus viszonyoktól függően, április és június közötti időszakban célszerű üzembe helyezni. *Ily módon biztosítható a biológiai hártya kifejlődése a legrövidebb időn belül.* Lehetőleg el kell kerülni – nyitott test esetén – a csapadékos időszakot, továbbá a nyári szagemisszió veszélyét és a baktériumok téli, lassúbb aktivitását.

– A szennyvíz csepegtetőtestre vezetésekor először a szennyvíz hozamát, az elosztócsövek forgási sebességét, a forgás időtartamát, a szennyvízelosztás egyenletességét kell naplóban rögzíteni.
– A recirkuláció beindításához, ill. leállításához a hidraulikai feltételeket (pl. a folyamatos iszapszivattyúzás lehetőségét) biztosítani kell.
– A biológiai hártya megjelenéséhez több napra van szükség. Teljes kifejlődése a hatótényezők függvényében, jó néhány heti üzemelés után következik be.

A hártya kifejlődése gyorsítható, ha
a) a tervezett üzemeltetés *előtt* szennyvizet recirkuláltatunk a csepegtetőtesten át, vagy
b) a recirkuláltatott szennyvízhez fölös iszapot is adagolunk.

A hártya létrejöttéig a tisztított szennyvíz a követelményeket nem elégíti ki, ezért azt klórozni kell. Megoldást nyújthat a fokozatos, kezdeti kis terhelés, az időszakos terhelés is.

11.2.6.3. NAPI NORMÁL ÜZEMELTETÉS

Amikor a biológiai hártya létrejött, a normál, tervezett üzemeltetés megkezdődik. A szükséges *napi ellenőrzések* a következők:

– a telepre érkező szennyvíz mennyisége, minősége, különös tekintettel a toxikus, mérgező anyagokra,
– a szennyvízelosztó nyílások esetleges eltömődése,
– a szennyvízelosztó forgócsövek esetleges vibrálása, szabálytalan üzeme,
– szagemisszió,
– legyek,
– a töltőtest felszínén esetleg jelentkező tócsásodás.

A napi vizsgálatokat általában nem pontminták, hanem *a telep egyedi üzemelési sajátosságait figyelembe vevő átlagminták alapján célszerű végrehajtani,* hiszen például a rövid idejű toxikus hatások különben nem érzékelhetők (Kollár, 1993).

A napi üzemeltetés ellenőrzéséhez, szabályozásához szem előtt tartandó további szempontok:

– *A csepegtetőtestek és az ülepítők üzeme egymással szoros kapcsolatban van.* (Az „*önállóan* üzemeltetett csepegtetőtest" és az „*önálló* ülepítő" jellegű szemlélet nem létezhet.)

– A csepegtetőtestből kikerülő szennyvíz előülepítőbe recirkuláltatása kedvező hatású, hiszen ezáltal az előülepítő oldott oxigén koncentrációja nő, így a szagemisszió veszélye, ill. mértéke csökken.

– A recirkuláció mértékének növelése az ülepítő hidraulikai terhelését növeli. *Az ülepítő mindenkori hidraulikai terhelése azonban a megengedhető határt nem lépheti át.*

– Ha az ülepítő hidraulikai terhelése túl kicsi, számítani kell arra, hogy az ülepítőben szeptikus állapot lép fel.

– Ha az ülepítő hidraulikai terhelése túl nagy, a lebegőanyagok ülepítőből való fokozódó kimosódására kell számítani.

– A csepegtetőtest üzemét alacsony hidraulikai terhelés időszakában (akár a nappali, akár az éjszakai órákban) a recirkuláció kedvezően befolyásolja, hiszen ezáltal

a) a biológiai hártya igényelt nedvességtartalma fennmarad,
b) a legyek (Psychoda) elszaporodása korlátozódik,
c) a fölös biológiai hártya lemosódása biztosított marad.

– A csepegtetőtest nagy hidraulikai terhelésének időszakában a recirkuláció mérsékelhető vagy leállítható, tehát *a jól kézben tartott, rugalmas üzemeltetés jelentős haszonnal járhat,* a hatásfok azonban csökken.

– A tisztítótelepi energiaköltségek optimalizálása céljából *olyan legkisebb mértékű recirkuláltatás biztosítandó, ami a tisztítótelep üzemeltetésére még kedvező hatású.*

– Gondolni kell arra is, hogy az utóülepítő kisebb hidraulikai terhelése az ülepítés hatásfokának növekedését eredményezi. Ez azzal az előnnyel is jár, hogy a visszatartott szerves lebegőanyagok következtében a telepet elhagyó tisztított szennyvíz klórozása (amennyiben klórozásra szükség van) kisebb mértékű lehet.

11.2.6.4. ABNORMÁLIS ÜZEMELÉSI ÁLLAPOTOK

Minden szennyvíztisztító telepen jelentkeznek *szokatlan, abnormális üzemelési állapotok.*

1. **Tócsásodás** a hagyományos töltőtest felszínén, melynek lehetséges okai:

– túlzott mértékű szervesanyag-terhelés, de az ennek megfelelő mértékű recirkuláció hiányzik,
– az előülepítő elégtelen hatásfokú,
– a töltőanyagszemcsék túl kicsik,
– a töltőanyagszemcsék átmérője tág tartományba esik,
– a töltőtest hézagrendszere eltömődik (pl. hártyaszaporulat miatt),

– a kőtöltet csepegtetőtestbe rakása, a kőtöltet (szemcseösszetétel hibás) szakszerűtlen megválasztása miatt inhomogén hézagrendszert eredményez.

Az eltócsásodás általában gyorsan terjed a töltőtest felszínén. Megszüntetése:

– a recirkuláció-arány növelendő,
– a forgócsövek elosztónyílásainak szabályozásával a szennyvízelosztás mértéke a tócsásodott felületre növelhető.

A *kismértékű*, időről időre jelentkező tócsásodás megszüntethető:

– vízsugárral,
– az elosztócső egyik karjának időszakos leállításával a tócsásodott felület felett,
– a felület gereblyével való lekaparása,
– 5 mg/l dózisú klóradagolás néhány órán át,
– a felület elárasztandó (ha lehetséges) 24 órán át,
– a terhelés több órára leállítandó, így a hártya kiszárad és kaparóval eltávolítható.

A tócsásodás megszüntetendő, mielőtt az elhatalmasodik.

2. **Szag.** Szabályozása:

– Mindaddig, amíg a biológiai hártya aerob, a szagképződés jelentéktelen.
– A recirkuláció-mérték a biológiai hártya oldott oxigén koncentrációját és a hártya lemosódását növeli.
– A töltőtest természetes levegőzése ellenőrzendő. A természetes levegőzés általában akkor jelentkezik, ha a levegőhőmérséklet és a töltőtestbeli hőmérséklet közötti különbség 2 °C-nál nagyobb.

3. **Psychoda.** Szabályozása:

– a recirkuláció mértéke növelendő,
– a szennyvíz csepegtetőtestre vezetésének hidraulikáját jól megválasztva, a Psychoda számára a miliő kedvezőtlenné tehető *(76/b ábra)*,
– a csepegtetőtestre vezetett szennyvíz 1 mg/l klórt tartalmazzon néhány órára minden héten. A klór a hártya lemosódását is segíti. Túl sok klór azonban sok hártyát mos le, így a BOI-eltávolítás és az elfolyás minősége csökken.

4. **Hideg évszak.** A csepegtetőtest felszínén a vékony szennyvízlepel a hideg évszakban megfagyhat. Védekezési módok:

– a recirkuláció mértéke csökkentendő, mert a telepre érkező szennyvíz a recirkulációs szennyvíz hőmérsékleténél rendszerint melegebb,
– két csepegtetőtest párhuzamos üzemeltetése a sorba kapcsoltnál a hideg évszakban kedvezőbb,
– a csepegtetőtest lefedése kedvező hatású,
– a képződött jeget fel kell törni,

– ha szükséges (és lehetséges), a befolyó szennyvízhez meleg víz vagy gőz adagolandó,

– a csepegtetőtestet a jégképződés időszakában is lehetőleg üzemben kell tartani, különben egyéb problémák, károsodások keletkeznek.

11.2.6.5. LEÁLLÍTÁS

Valamely tisztítási folyamat (ill. berendezés) leállítása előtt a leállításból eredő következmények gondosan mérlegelendők.

Például:

– A leállítás kedvező időpontja a telepre érkező szennyvíz hozama és a rendelkezésre álló munkaerő ismeretében tervezendő meg. A kis szennyvízhozam és a több munkaerő jelenléte a mérlegeléshez fontos szempont.

– A csepegtetőtest leállítása miként befolyásolja a tisztítótelep többi részének üzemét?

– Ha a csepegtetőtestet fenntartás céljából szükséges leállítani, előzőleg meg kell vizsgálni, hogy az ahhoz szükséges feltételek, eszközök biztosítottak-e?

– A csepegtetőtestet tápláló és a recirkulációs szivattyúkat le kell állítani. Meg kell várni, amíg a forgó vízelosztó csövek leállnak. Az elosztócsöveket ezután rögzíteni kell. A csővégeken a zárókupakokat le kell venni. A csöveket öblítő szivattyút néhány percre üzembe kell helyezni. A forgócsövek leállítása előtt a zárókupakokat nem szabad leszedni.

– A forgócsöveket soha ne próbáljuk megállítani úgy, hogy előtte állunk vagy kezünkkel ragadjuk meg.

– Ellenőrzendők a tisztítótelep üzemben maradt részei, különösen a szennyvízelosztó akna, az elterelőberendezések, a szennyvízhozam-szabályozó tolózárak, szennyvízszintek.

Ha a csepegtetőtestet *több napig vagy ennél is hosszabb időszakra kell leállítani,* a következők a teendők:

– A csepegtetőtesten átjutott szennvizet elvezető drénrendszert az elvezető tolózárak segítségével le kell zárni, nehogy a telep egyéb tisztító műtárgyaiból a szennyvíz a drénrendszerbe jusson.

– A szennyvíz a drénrendszerből kiszivattyúzandó, ezáltal a szag- és rovarproblémák kiküszöbölhetők.

– A szennyvízelosztó csöveket, oldalfalakat, drénrendszert vízsugárral le kell mosni.

– A drénrendszer elvezetőcsatornájából a homok, a törmelékanyagok eltávolítandók.

– A kenőanyagszinteket ellenőrizni kell.

– Ha a biológiai hártya nagy mennyiségű, a biomassza eltávolítása megfontolandó. Ha az eltávolítás elmarad, a csepegtetőtest újraindításakor túlzott mennyiségű élettelen iszap keletkezhet, ami a csepegtetőtest felszínén tócsásodást okozhat.

11.2.7. MINTAVÉTEL ÉS ANALÍZIS

A laboratóriumi vizsgálatokat, a mintavételek gyakoriságát és helyét, a vizsgált paramétereket és azok szokásos tartományait a *24. táblázat* (Bristow, Kerri, 1989) tartalmazza.

24. táblázat. Laboratóriumi vizsgálatok és eredményeik

Vizsgálat	Mintavétel gyakorisága	Mintavétel helye	Szokásos tartomány
Oldott oxigén, O_2, mg/l	Naponta	Telepi elfolyás	1,5–2,0
		Elfolyás a csepegtető-testről	3,0–8,0
Ülepíthető lebegő-anyagok, ml/l	Naponta	Telepi befolyás	5–15
		Telepi elfolyás	0–3
pH	Naponta	Telepi befolyás	6,8–8,0
		Telepi elfolyás	7,0–8,5
Hőmérséklet, °C	Naponta	Telepi befolyás	–
BOI_5, mg/l	Naponta	Telepi befolyás	15–400
		Előülepítő elfolyás	100–260
		Telepi elfolyás	15–40
Szuszpendált lebegő-anyagok, mg/l	Hetente (legalább)	Telepi befolyás	150–400
		Előülepítő elfolyás	60–150
		Telepi elfolyás	15–40
Maradék klór, mg/l	Naponta	Telepi elfolyás	0,5–2,0
Coliform baktériumok száma/100 ml	Hetente (legalább)	Telepi elfolyás (klórozott)	50–700
Átlátszóság, m	Naponta	Telepi elfolyás	0,3–1,0

A táblázatban szereplő paramétereken túlmenően, a csepegtetőtestre vezetett szennyvíz elosztása is ellenőrizendő. Erre a célra a csepegtetőtest felszínén, sugárirányban azonos méretű poharakat helyeznek el. Miután a poharak majdnem megteltek, a forgócsövek leállítandók. Így a poharak összegyűjtése után a bennük lévő szennyvíz szintje egymással összehasonlítható: az eltérés 5%-nál nem lehet nagyobb. Ha az eloszlás nem kielégítő, a csöveken lévő lyukak szennyvízkibocsátó mértéke módosítandó.

11.2.8. A CSEPEGTETŐTEST HATÁSFOKÁVAL KAPCSOLATOS ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK

Ha a *24. táblázat*ban közölt paramétertartományok nem tarthatók be, akkor a csepegtetőtestes rendszer üzemeltetésével problémák lehetnek.

1. **Lebegőanyagok.** A telepi elfolyás nagy lebegőanyag-koncentrációja a *24. táblázat*ban lévő valamennyi paramétert befolyásolhatja kisebb-nagyobb mértékben, a következő tényezők előfordulása miatt:

– a biológiai hártya túlzott mértékű lemosódása,
– az utóülepítő nagy hidraulikai terhelése vagy a benne kialakuló hidraulikai rövidzárlat,
– toxikus szennyvizek, hidraulikai vagy szervesanyag-túlterhelés miatt lökésszerű terhelés,
– az utóülepítőben gázképződés (denitrifikáció) jelentkezik a szeptikus iszap miatt.

2. **BOI.** A telepi elfolyás BOI-koncentrációja a telepi elfolyás lebegőanyag-koncentrációjával általában megegyező mértékben változik, de nem minden esetben. Amit lehet tenni: igyekezni kell, hogy a telepre érkező szennyvíz aerob állapotú legyen. A recirkuláció szerepe is jelentős lehet. A *hidraulikai és szervesanyag-terhelés kapacitását kihasználó telep tisztítási hatásfoka a recirkuláció ésszerű megválasztásával, ill. változtatásával jól befolyásolható.* Az üzemeltetőnek azonban arra is gondolni kell, hogy a biológiai rendszerek (így a biológiai szennyvíztisztító rendszer is) a környezeti tényezők (pl. O_2-koncentráció, pH, recirkulációs arány, szervesanyag-terhelés, hőmérséklet) változtatásával, válaszként, az új feltételeknek megfelelő egyensúlyt igyekeznek létrehozni, amihez azonban idő szükséges. *Ha tehát az üzemeltető a tisztítórendszer üzemét változtatja, a tisztítórendszernek esetleg néhány hetet kell adni az új egyensúlyi állapot létrejöttéig és az üzemeltető csak ekkor döntheti el, hogy az általa előzőleg létrehozott üzemelés-módosítások hasznosnak tekinthetők-e.*

Az üzemeltetési tapasztalatok bizonyítják, hogy *recirkulációval rendelkező tisztítórendszerekben a lökésszerű terhelések következtében jelentkező üzemelési zavarok ritkábbak, kisebb mértékűek, és az egyensúly visszaállása gyorsabb.*

Az üzemeltetőnek szem előtt kell tartani, hogy a csepegtetőtestek „válasza" a változásokra, ill. változtatásokra lassú. Ha például a recirkuláció mértékét változtatjuk, *a biológiai rendszer* a megváltozott állapotnak megfelelő *új, stabilizálódott állapotot csak több nap múlva képes biztosítani. Ezért az üzemeltető valamely időpontban lehetőleg csak egy változtatást iktasson be, majd várjon hatása kialakulására, így a hatás értékelhető. Eközben gondoljon arra is, hogy a tisztítási műveletek (ill. műtárgyak) egymással is kapcsolatban vannak.*

3. **A BOI_5-vizsgálat** korlátait ismerni kell. Napi üzemelési paraméterként legfeljebb csak közel állandó befolyási BOI_5 esetében használható. Ha valamely ipartelepről hirtelen nagy BOI_5-koncentrációjú szennyvíz érkezik a szennyvíztisztító telepre, a BOI_5 alapján történő üzemelésszabályozás azért nem lehetséges, mert a BOI_5-vizsgálat eredménye öt napig nem áll rendelkezésre. Ilyenkor a kb. 4 óráig tartó KOI-vizsgálathoz kell fordulni a befolyási terhelésben beállt hirtelen változás meghatározása céljából. (A TOC-vizsgálat célszerű voltára is gondolni kell.)

4. **Oldott oxigén.** A csepegtetőtest egyik célja az oxigénigényes szennyező anyagok stabilizálása. Ha a BOI_5 és a szuszpendált anyagok mennyisége a szennyvízben a szokásos tartományba esik, akkor szinte bizonyos, hogy az oldott oxigén is a szokásos tartományban van. A recirkuláció a szennyvíz oldott oxigén koncentrációját növeli. A telepre jutó kis szennyvízmennyiségek időszakában a tartózkodási idő az ülepítőkben nő, ami az ülepítőkből elfolyó szennyvíz oldott oxigén koncent-

rációjának csökkenését eredményezi. Ez esetben az ülepítőből elfolyó szennyvíz bárminemű, pl.

– bukós,
– sűrített levegős

levegőztetése az oldott oxigén koncentrációt növeli.

A csepegtetőtestből elvezetett szennyvíz oldott oxigén koncentrációja

– kőtöltet esetében 3–6 mg/l és
– műanyag töltet esetében 4–8 mg/l,

amely tartomány a recirkuláció-arány célszerű változtatásával közelítőleg állandósítható.

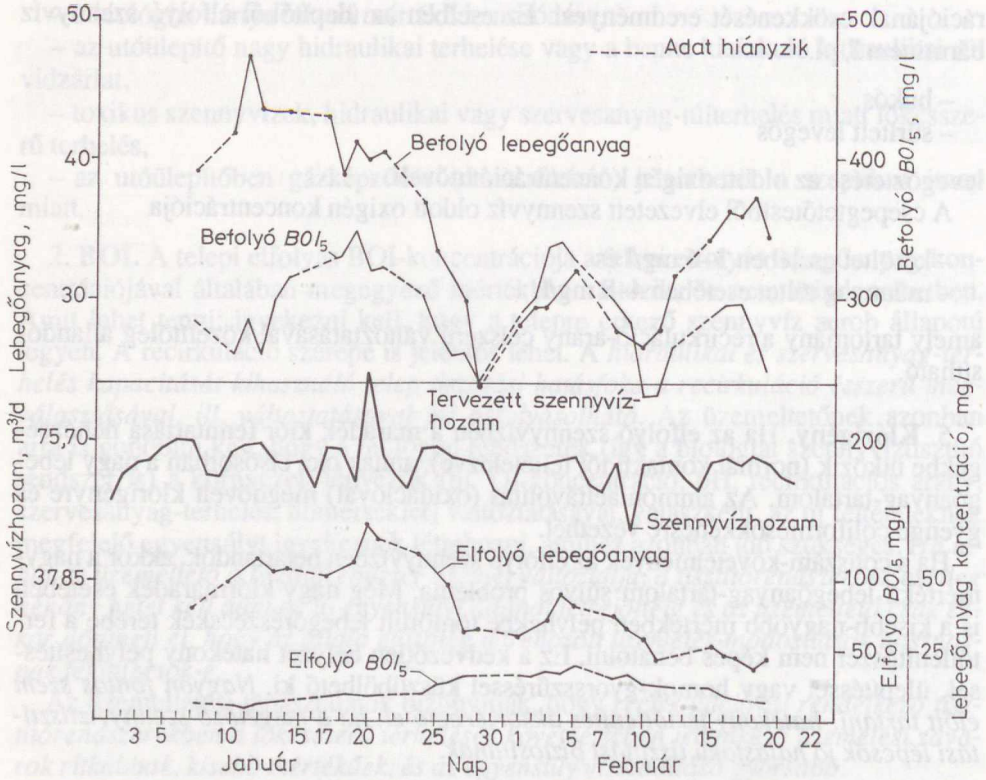
5. **Klórigény.** Ha az elfolyó szennyvízben a maradék klór fenntartása nehézségekbe ütközik (normál kontaktidőt feltételezve), annak oka elsősorban a nagy lebegőanyag-tartalom. Az ammóniaeltávolítás (oxidációval) megnövelt klórigényre és gyenge coliformcsökkenésre vezethet.

Ha a coliszám-követelmények az elfolyó szennyvízben betartandók, akkor a nagymértékű lebegőanyag-tartalom súlyos probléma. Még nagy klórmaradék esetében is a kisebb-nagyobb mértékben pelyhekbe tömörült lebegőrészecskék terébe a fertőtlenítőszer nem képes behatolni. Ez a kedvezőtlen helyzet hatékony pelyhesítéssel, ülepítéssel vagy homok-gyorsszűréssel küszöbölhető ki. *Nagyon fontos szem előtt tartani: hatékony fertőtlenítés akkor érhető el, ha a megelőző szennyvíztisztítási lépcsők jó hatásfokú tisztítást biztosítanak.*

11.2.9. EGYLÉPCSŐS CSEPEGTETŐTESTES RENDSZER

A csepegtetőtestek számának (lépcsőinek) meghatározása elsősorban tervezői, nem pedig üzemeltetői feladat. Általában a kisebb telepeken, amelyeken a szennyvízhozam meglehetősen kicsi, a szennyvíz szervesanyag-tartalma átlagos, az elfolyó szennyvízzel szembeni minőségi követelmények pedig nem túl szigorúak, legtöbbször elegendő az egylépcsős csepegtetőtest alkalmazása, amely gazdaságos megoldás *(82. ábra)*. A kevésbé túlterhelt telepeken recirkulációs alternatívák beiktatása javasolt *(81/a–h ábra)* az elfolyó szennyvízminőség javítása érdekében.

A tisztítótelepen az elfolyó szennyvíz minősége változó. E változás okának kiderítésére és a tisztítástechnológiai korrekció megválasztására rendkívül hasznos módszer a *minőségváltozás irányait mutató grafikus ábrázolás (82. ábra;* Bristow és Kerri nyomán, 1989). A be- és elfolyási szennyvízhozam BOI_5 lebegőanyag-koncentrációjának ábrázolása napi átlagra vonatkoztatott. A görbék alapján az üzem értelmezhető: például, ha az elfolyás lebegőanyag-koncentrációja nőni kezd, ennek okát meg kell keresni: például a befolyó szennyvíz mennyisége nőtt.



82. ábra. Jellemző BOI_5-, lebegőanyagkoncentráció-értékek egylépcsős, kőtöltetű csepegtetőtest esetében

11.2.10. KÉTLÉPCSŐS CSEPEGTETŐTESTES RENDSZER

A kétlépcsős csepegtetőtestes rendszerben két, sorba kapcsolt csepegtetőtest található *(81/i–n ábra)*. A két csepegtetőtest közé néha közbenső ülepítőt iktatnak be, amelynek célja a lebegőanyagok visszatartása a második csepegtetőtest előtt. A kétlépcsős rendszerekben recirkuláció vagy recirkulációk szinte minden esetben léteznek. A recirkuláltatás számos variáció szerint lehetséges (l. *81/i–n ábra*).

A második csepegtetőtest például valamely túlterhelt, egylépcsős csepegtetőtestes rendszerbe

– sorba kapcsolva vagy
– iker elrendezésben

iktatható be. Az utóbbi kapcsolás üzemelési előnye az, hogy a rendszer hidraulikai nyomásesésvonala alig változik az egy csepegtetőtestes rendszeréhez képest. Hátrány az, hogy a szennyvízelosztó mű beiktatása szükséges.

Az egylépcsős csepegtetőtestes rendszerbe további eleveniszapos biológiai lépcső, a csepegtetőtest *elé* vagy *utána* iktatható be. Ha valamely meglévő csepegtető-

test üzemével kapcsolatban a töltőtest eltömődése vagy a levegőzése okoz gondot, akkor a további biológiai tisztítólépcső a már meglévő csepegtetőtest *után* iktatandó be. Ezáltal a csepegtetőtestre jutó szervesanyag-tartalom csökkenthető.

11.2.11. A CSEPEGTETŐTESTES ÉS ELEVENISZAPOS TISZTÍTÁS KOMBINÁLÁSA

Számos biológiai szennyvíztisztító telepen a szigorodó környezetvédelmi követelmények kielégítése érdekében a már meglévő biológiai folyamathoz *még egy biológiai tisztítási lépcsőt csatolnak.* Így kerül sor

– a csepegtetőtestes és
– az eleveniszapos

biológiai tisztítás kombinálására. *Ez a rendszer jóval hatékonyabb tisztítást eredményez bármelyik, önállóan alkalmazott tisztítórendszernél.* Az ilyen kombinációs rendszerek előnyös tulajdonságai (Harrison et al., 1984):

– viszonylag egyszerű üzemeltetés,
– a csepegtetőtest stabilitása,
– jó hatásfokú tisztítás, és
– *megbízható elfolyó szennyvízminőség és gazdasági előnyök biztosítása.*

A következő kombinációk lehetségesek:

1. csepegtetőtestes–eleveniszapos rendszer,
2. csepegtetőtestes–kontakt eleveniszapos rendszer,
3. műanyag töltetű csepegtetőtestes–eleveniszapos rendszer.

Ezen eljárások között az egyik fő különbséget a csepegtetőtest és az eleveniszapos medence relatív méretei jelentik.

A hagyományos (kőtöltetű) csepegtetőtestes telep képes az oldott BOI_5 megfelelő mértékű eltávolítására (<15 mg/l), azonban a csepegtetőtestről elfolyó szennyvízben lévő diszperz állapotú lebegőanyag problémát jelent.

Ennek a helyzetnek a kiküszöbölésére a csepegtetőtestes–kontakt eleveniszapos rendszer-kombináció hivatott *(83/a–c ábra),* amelyben a csepegtetőtest és az utóülepítő között egy vagy két kis levegőztető medence van (Matsci et al., 1989; Öllős: Szennyvíztisztítás, AQUA Kiadó, 1991, 3.1. fejezet).

A *83/a ábrán* lévő rendszer a legalkalmasabb a csepegtetőtest elfolyó szennyvizében lévő jelentős mennyiségű

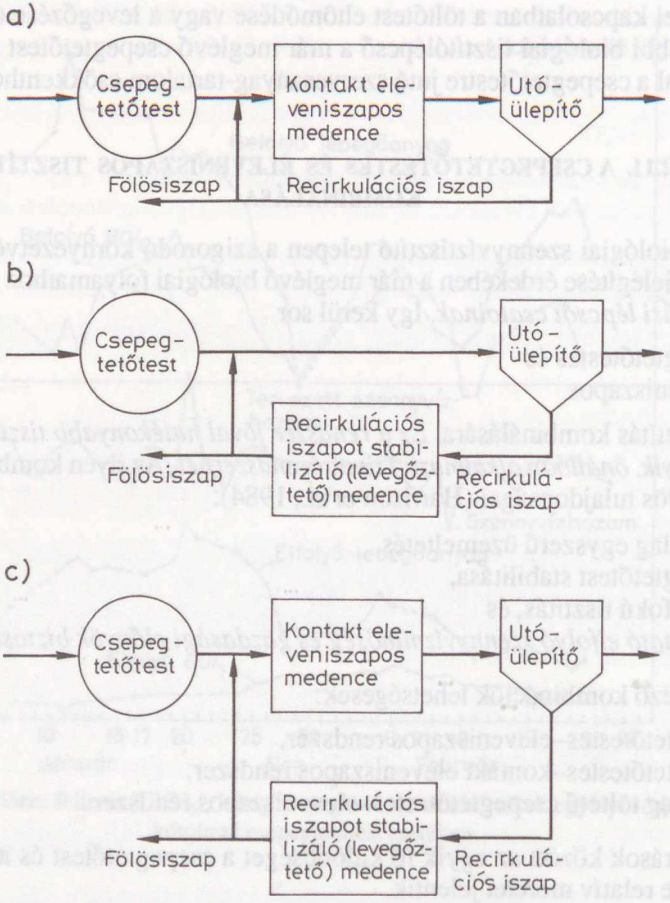
– oldott BOI_5 és
– lebegőanyag

eltávolítására.

A *83/b ábrán* lévő rendszer akkor ajánlott, ha a fő cél a lebegőanyag-eltávolítás.

A *83/c ábrán* lévő rendszer akkor tisztít legjobban, ha lebegőanyag és korlátozott mennyiségű oldott BOI_5-eltávolítás szükséges.

A hidraulikai tartózkodási idő a kontakt eleveniszapos medencében 1 óra vagy ennél is rövedebb. Az egylépcsős csepegtetőtestes rendszer csepegtetőtestes–kon-



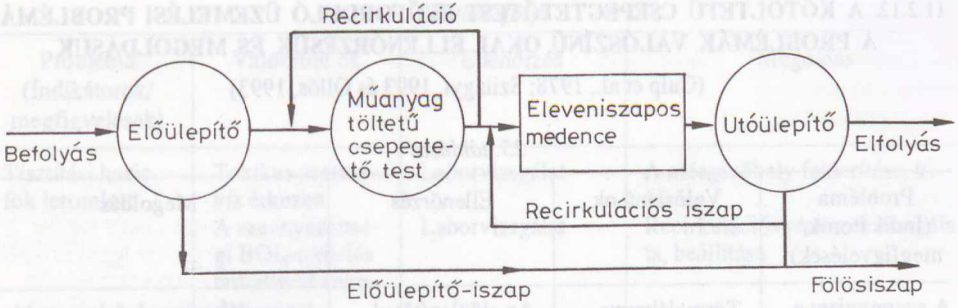
83/a–c ábra. A csepegtetőtestes–kontakt eleveniszapos rendszer három alternatívája

takt eleveniszapos rendszerré alakításakor tehát a csepegtetőtest után *kisméretű eleveniszapos medence létesítendő (83/a ábra),* vagy a csepegtetőtest elfolyó szennyvizét utóülepítőbe vezetve, az iszapot ebből iszapstabilizáló (levegőztető) medencébe vezetjük *(83/b ábra).*

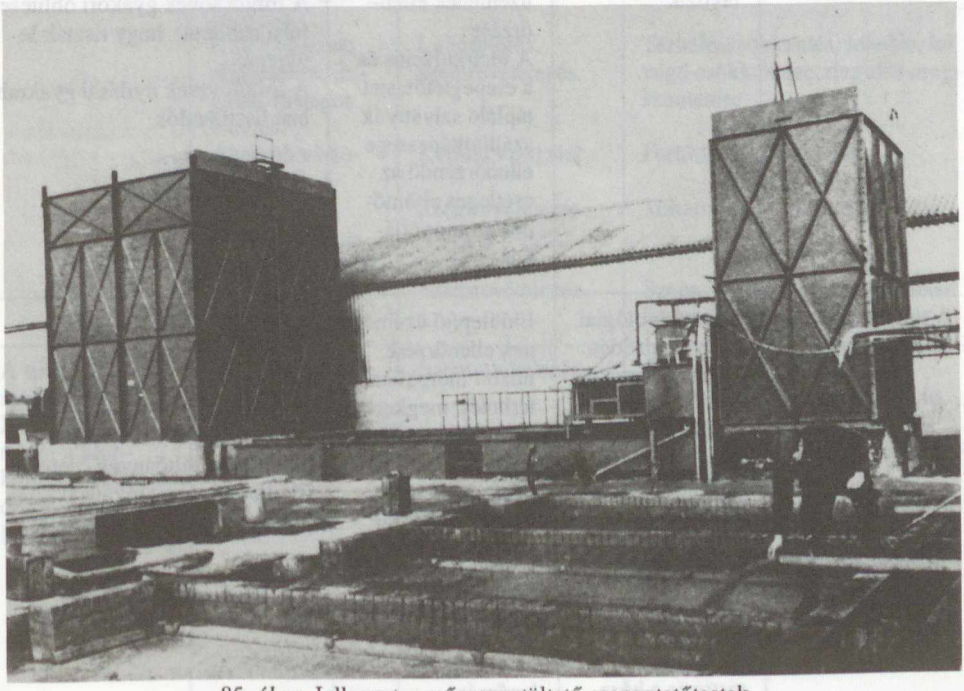
A csepegtetőtestes–kontakt eleveniszapos rendszerekben *az utóülepítő kulcsszerepet játszik.*

A műanyag töltetű csepegtetőtestes–eleveniszapos rendszerben *(84. ábra)* a szervesanyag- és hidraulikai terhelés nagy. A jellemző szervesanyag-terhelési tartomány 1,6–3,2 kg $BOI_5/m^3 \cdot d$. A hidraulikai terhelés 20–120 $m^3/m^2 \cdot d$. A nagy terhelést a műanyag töltetű csepegtetőtest csökkenti, ezáltal *előtisztító szerepet játszik.* A csepegtetőtestből és az eleveniszapos medencéből származó biomassza az utóülepítőben kitűnően ülepszik (Rakness et al., 1982). Ez a rendszer *kisebb energiaigényű, hiszen a szerves anyag egy részét a kevésbé intenzív csepegtetőtest stabilizálja.*

Jellegzetes műanyag töltetű csepegtetőtesteket a *85. ábra* szemléltet.



84. ábra. Műanyag töltetű csepegtetőtestes–eleveniszapos kombinációs rendszer



85. ábra. Jellegzetes műanyag töltetű csepegtetőtestek

11.2.12. A KÖTÖLTETŰ CSEPEGTETŐTEST ELŐFORDULÓ ÜZEMELÉSI PROBLÉMÁI, A PROBLÉMÁK VALÓSZÍNŰ OKAI, ELLENŐRZÉSÜK ÉS MEGOLDÁSUK

(Culp et al., 1978; Szilágyi, 1993 és Öllős, 1993)

25. táblázat

Probléma (Indikátorok/ megfigyelések)	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldás
A szennyvizet a csepegtetőtestre rávezető forgócsövek nyílásai eltömődnek	Törmelékanyagok, túl sok lebegőanyag, az előülepítőből felúszott iszap távozik	Az előülepítőt elhagyó szennyvíz analizálása Rács, komminutor, előülepítő üzemének ellenőrzése A recirkulációs és a csepegtetőtestet tápláló szivattyúk szállítóképessége ellenőrzendő az esetleges eltömődés szempontjából	Törmelékanyagok fokozottabb eltávolítása a rács és komminutor segítségével Az előülepítő lebegőanyag-eltávolító hatásfokának növelése A forgócsövek gyakori öblítése (aká naponta), hogy tiszták legyenek A forgócsövek nyílásai gyakrabban tisztítandók
A töltet felülete „tócsásodott"	Túlzott biológiai hártyaképződés Túlzott mértékű szervesanyag-terhelés A töltőanyag átmérői túl kicsik vagy egyenlőtlenek Durvább szemcséjű lebegőanyag (grit) kerül a csepegtetőtestre és a hézagok eltömődnek	Előülepítő üzemének ellenőrzése túlzott hidraulikai terhelés, megkerülővezeték üzembe helyezése Szemrevételezés A hézagrendszer eltömődése A töltőanyag-szemcsék átmérőinek, azok egyenlőtlenségének ellenőrzése	A töltet felszínét 15–20 cm mélyen villával átforgatjuk, majd néhány órán át, nagy recirkulációt adva, átöblítjük Lazítás, alapos kimosás, eltömődött töltőanyag csere. Előülepítés hatásfokának javítása
Az egylépcsős kötöltetű csepegtetőtest hatásfoka teljes mértékben elégtelenné válik	Az előülepítő leállítására került sor	Előülepítő ellenőrzése	A csepegtetőtesteket sorba kell kapcsolni. Ez esetben az első csepegtetőtest néhány hétre előtisztító szerepet játszik; célja a durva lebegőanyagok eltávolítása és a BOI mérséklése. Ezt követően a csepegtetőtestet ki kell tisztítani

25. tábl. folyt.

Probléma (Indikátorok/ megfigyelések)	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldás
Tisztítási hatásfok leromlott	Toxikus szennyvíz érkezett	Laborvizsgálat	A mérgezőhely felderítése, kizárása
	A szennyezettségi BOI_5-terhelés tartósan növekedett	Laborvizsgálat	Recirkulációs rendszer vizsgálata, beállítása
	Recirkulációs szivattyú nem működik, recirkulációs szelep, ha van, meghibásodott	Szemrevételezés	A hibás gépegység vagy a recirkulációs szelep javítása, ill. cseréje
	Hideg időszak, eljegesedés, dugulás, túlságos lehűlés	Labormérés, szemrevételezés	Terheléscsökkentés, lefedés, levegő csökkentése, dugulás megszüntetése
	Anaerob viszonyok	Kémiai vizsgálat	Fertőtlenítés
	A szennyvíz egyenetlen mozgása a töltőtestben	Szemrevételezés	Töltetminőség, rétegvastagság
	A vízelosztás nem egyenletes	Szemrevételezés	Szennyvízrávezetés módosítása Eltömődés megszüntetése
A tisztított szennyvízbeli lebegőanyag-tartalom a klór–kontakt medencében akkumulálódik	Az utóülepítő üzemen kívül van	Szemrevételezés	A csepegtetőtesteket sorba kell kapcsolni. A recirkuláció csak az első csepegtetőtestbe történhet, a másodikba nem. A második csepegtetőtest hidraulikai terhelése normális és egyenletes legyen. Így a hártyalemosódás a második csepegtetőtestről minimalizálható, amíg az utóülepítő üzembe helyezhető. A hártyaanyag a drénrendszerből eltávolítandó
Toxikus szennyvíz jut a csepegtetőtestre	Ipari eredet	Szennyvízanalízis	Az ipari eredet meghatározandó. Az iparnak helyi szabályozási programja kell legyen. A csatornarendszer használatára is előírások kellenek A toxikus szennyvizek tározandók és legfeljebb megfelelő hígítással engedhetők a csatornába, vagy neutralizáltak, előtisztítottak

25. tábl. folyt.

Probléma (Indikátorok/ megfigyelések)	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldás
A befolyás pH-értéke a neutrális értéktől lényegesen eltérő	Ipari eredet	Szennyvízanalízis	A csepegtetőtesteket sorba kapcsoltan kell üzemeltetni. A recirkuláció mértéke nagy legyen. A befolyó szennyvíz hígul és a pH a neutrális állapot felé tolódik Az első csepegtetőtestről a hártyalemosódás ugyan nagymértékű lehet, de a hártya a második csepegtetőtestben megőrizhető
A telepre ismert toxikus vegyület érkezik	Ipari eredet	Szennyvízanalízis	A befolyó szennyvízhez neutralizáló vegyszer adagolható. Például: a) Klór adagolandó a cianid neutralizálására b) Ha pH > 9,0, a csökkentés érdekében ecetsav vagy kénsav adagolandó c) Ha pH < 6,0, a pH nátrium-hidroxid [Na(OH)] adagolásával növelhető d) Túlklórozás a teljes biológiai folyamatot tönkreteszi e) Ha a pH-neutralizálás nem megfelelő mértékű, könnyen toxikus hidrogén-cianid vagy cián-klorid keletkezhet
Jégképződés a töltőréteg felszínén	Időjárás Egyenlőtlen szennyvízelosztás a csepegtetőtest felszínére	Levegő és szennyvíz hőmérséklete Vizuális megfigyelés	A kétlépcsős és iker kapcsolású csepegtetőtestek üzeme előnyös. A recirkuláció mértéke csökkentendő Erőteljesebb vízsugarak előnyösek a szennyvíz rávezetésekor A jeget fel kell törni és eltávolítani
Fagyás (télen)	Oldalfal nem kellő magasságú, szélhatás hidegben erős Alacsony hőmérséklet (0 °C alatt); fagy nélkül is megszűnhet a kellő O_2-ellátás, a kürtőhatás megszűnik	Szemrevételezés Fizikai vizsgálat, pl.: füstpróba	Szélvédő alkalmazása, oldalfal megemelése Burkolat elhelyezése Recirkuláció csökkentése, lehetőség szerint légbefúvás. Jó hőszigetelés megvalósítása Lefedés

25. tábl. folyt.

Probléma (Indikátorok/ megfigyelések)	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldás
Psychoda-legyek elszaporodtak (nyáron)	Kis terhelésű vagy szakaszos üzemű csepegtetőtestnél a töltet felületén intenzív hártyaképződés	Szemrevételezés	A recirkuláció növelésével az öblítőhatás fokozása, a felületi hártyában lévő peték lemosása a test belsejébe
Szagok	Nagymértékű szervesanyag-terhelés	Szervesanyag-terhelés ellenőrzése	Aerob állapotok fenntartása Klórozott szennyvíz csepegtetőtestre vezetése kis szennyvízhozam esetén A recirkuláció mértékének növelése a szerves anyag hígítása és az oldott oxigén koncentráció javítása céljából
	Gyenge természetes levegőztetés	Levegőztetőnyílások és a drénrendszer ellenőrzése	Levegőztetőnyílások és drénrendszer tisztítása
	Gyenge természetes levegőztetés a töltet hézagrendszerét eltömő biológiai hártya miatt	Töltet hézagtérfogatának ellenőrzése	A recirkuláció mértékének növelése
	Gyenge fenntartás	Vizuális megfigyelés	Durva lebegőanyagok eltávolítása a töltetről és az elosztócsövek lemosása
	Szeptikus szennyvíz csepegtetőtestre vezetése	H_2S ellenőrzése	A csepegtetőtestet megelőző rendszerek levegőztetése vagy szabályozott klórozása
Utóülepített szennyvíz lebegőanyag-tartalmának növekedése	A biológiai hártya időszakos lemosása	Mikroorganizmusokat befolyásoló időszakos változások	Polimeradagolás az utóülepítőbe jutó szennyvízbe
	A biológiai hártya fölös lemosódása a szervesanyag-terhelés miatt	Szervesanyag-terhelés	Fölösiszap-elvétel mértékének növelése

25. tábl. folyt.

Probléma (Indikátorok/ megfigyelések)	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldás
	A biológiai hártya fölös lemosódása pH vagy toxikus állapotok miatt	pH, toxikus anyagok	5,5 < pH < 9,0 tartomány beállítása, még inkább a 6,5 < pH < 8,5 tartomány fenntartása
	Denitrifikáció az utóülepítőben	Utóülepített szennyvíz ellenőrzése nitrifikációra, iszapfelúszásra	Fölösiszap-elvezetés mértékének növelése
	Az utóülepítő hidraulikailag túlterhelt	Hidraulikai terhelés	Ha a recirkuláció is okozza, mértékét a csúcs-szennyvízhozam időszakában csökkenteni kell
	Az utóülepítő berendezései meghibásodtak	Iszapkaparó eltört, terelőfalak eltörtek, egyenlőtlen átbukás a bukón	Berendezések javítása, cseréje, bukó szintbe állítása
	Hőmérséklet okozta rövidzárlat az utóülepítőben	Hőmérsékleteloszlás meghatározása az utóülepítőben	Terelőfalak beiktatása a rövidzárlat megakadályozása céljából
A biológiai hártya kiszárad	Szakaszos adagoláskor az üzemszünetek túl hosszúak	Szemrevételezés, labormérés	Adagoló berendezések üzemidejének beállítása
A csepegtetőtest töltete eltömődött	A töltet anyaga túl apró	Szemrevételezés	A töltet cseréje
	Előülepítő működési zavara	Szemrevételezés	Intenzív öblítés recirkulációval, vagy a töltet ki- és visszarakása átmosás útján
	Homok, iszap, szálas anyag került a töltetre		
	Nem megfelelő a töltet anyaga, pl.: koksz	Szemrevételezés	A töltőanyag cseréje, zúzott kő, kohósalak, bazalttufa, esetleg műanyag elemekre
	Túlzott biológiai hártyaképződés, ami jellemző az alulterheltségre	Szemrevételezés	A hidraulikai terhelés növelése a recirkuláció fokozásával Rövid ideig tartó, eredménytől függően ismételt klórozás

25. tábl. folyt.

Probléma (Indikátorok/ megfigyelések)	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldás
Forgó szennyvíz-elosztó csövek leálltak	Kiömlőnyílások eldugultak	Szemrevételezés	A dugulás megszüntetése
	Reakcióerő megszűnt		
	Mechanikai hiba (csapágy-, tengelytörés)	Szétszerelés, vizsgálat	Hibás alkatrész cseréje
	Kenetlenség	Szétszerelés	Kenés

11.3. FORGÓ MERÜLŐTÁRCSÁS BIOLÓGIAI SZENNYVÍZTISZTÍTÁS

11.3.1. A TISZTÍTÁSI FOLYAMAT ÉS BERENDEZÉSEINEK JELLEMZÉSE

A hagyományos (kőtöltetű) csepegtetőtestes szennyvíztisztítás alternatív eljárásai

– a műanyag töltetű csepegtetőtest és
– a forgó merülőtárcsás csepegtetőtest.

Az alternatív eljárások célja a csepegtetőtest

– szerkezetének és
– üzemének

egyszerűbbé, gazdaságosabbá tétele. A fejlődés mértéke különösen szembetűnő, ha az eleveniszapos eljárással hasonlítjuk össze.

A merülőtárcsás rendszer az eleveniszapos rendszerhez képest lényegesen kisebb mennyiségű energiát igényel. A fennmaradó energia a tárcsák forgatására – vagyis a tárcsafelületen képződő biológiai hártya szennyvízzel való mikrobiológiai kontaktusának megteremtésére – és a légköri oxigén hasznosítására fordítható.

A tárcsák forgása azt jelenti, hogy *a tárcsák felületén képződő biológiai hártya mozog.*

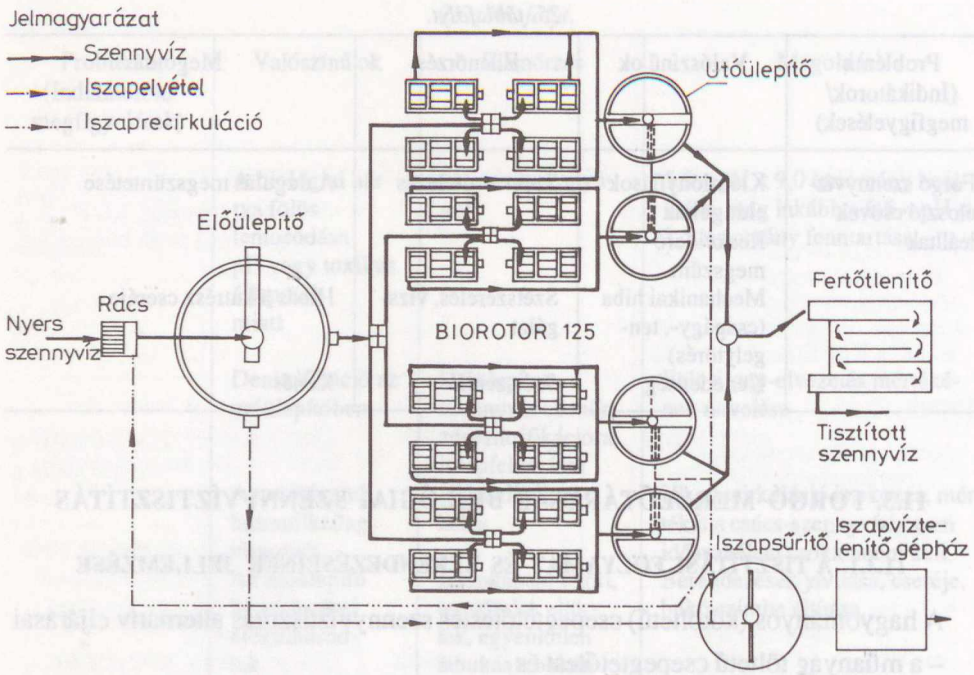
A forgó merülőtárcsás rendszer a második – biológiai – szennyvíztisztítási fokozat szerepét tölti be (86. ábra), vagyis

– a normál települési szennyvíz és
– az ipari szennyvizek

lebontható (biodegradable) szerves anyagait a baktériumok stabilabb, a környezetet nem károsító, szagot nem okozó formákká alakítják.

A merülőtárcsás tisztítórendszer felépítése *(86. ábra):*

– rács,
– homokfogó (esetleges alkalmazás),
– előülepítő (rövidebb, félórai tartózkodási idejű),
– merülőtárcsás csepegtetőtest.
– az utóülepítő rövidebb, kb. 1 órai tartózkodási idejű.



86. ábra. Jellemző merülőtárcsás szennyvíztisztító rendszer technológiai folyamata

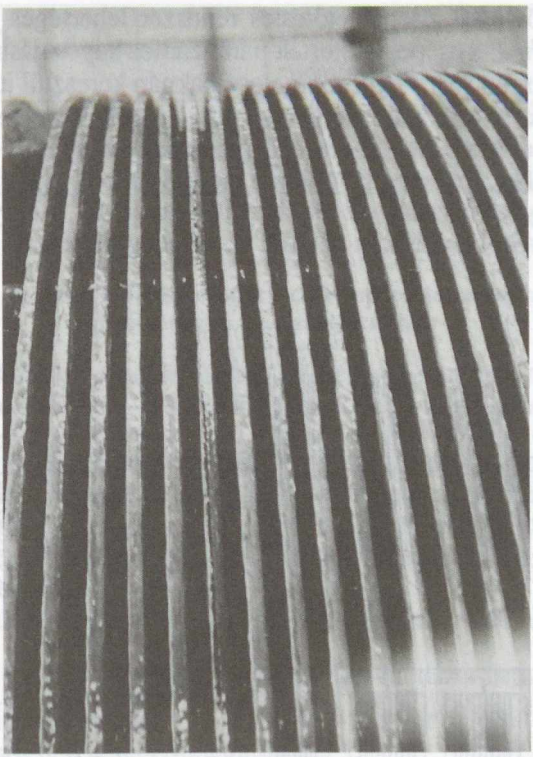
Általában 2–3 azonos szélességű merülőtárcsa-lépcsőt sorba kapcsolnak *(78/a ábra)*, de ha négynél több lépcső összekapcsolása lenne szükséges, akkor az azonos szélességű és azonos számú lépcsőket párhuzamosan kapcsolják össze *(78/b ábra)*. A háromlépcsős rendszer kb. 90%-os biológiai tisztítást eredményez (Öllős: Szennyvíztisztítás. AQUA Kiadó, 1991. 524 oldal, 305 ábra).

A rövidebb időtartamú elő- és utóülepítést az teszi lehetővé, hogy *a merülőtárcsás berendezés eltömődésre nem érzékeny, a merülőtárcsás berendezést elhagyó szennyvíz iszapanyaga pedig jó ülepedőképességű.*

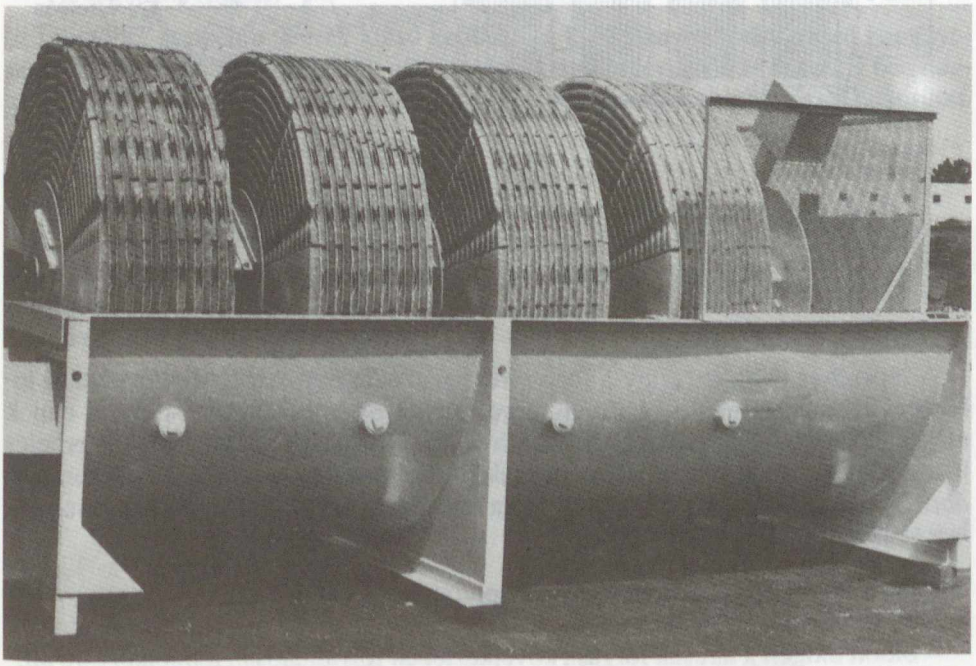
A merülőtárcsás berendezésben a fő szerepet a forgótengelyre rögzített, a tengellyel együtt forgó, egymástól kb. 2 cm távolságra lévő, 0,7–1,5 mm falvastagságú műanyag tárcsák játsszák *(87/a ábra)*.

A biológiai hártya a forgótárcsák felületén fejlődik ki. A hártyafelület kb. 40%-a az előülepített szennyvízbe merül *(87/b ábra)*, majd a forgás révén az atmoszférába emelkedik ki, így az aerob baktériumok oxigénellátása biztosítható. Amint a tárcsa forog, a felvett, vékony rétegű szennyvíz a hártya felszínén lefelé csörgedezik, ill. a hártyába diffundál. A hártyában lévő baktériumok a szennyvíz lebontható szerves anyagait tápanyagként hasznosítják, így létrejön a biológiai tisztítás. A tárcsafelületen rögzült hártya egy része, amint a hártya újra a tárcsák alatti tározott szennyvíz terébe merül, lenyíródik és a szennyvíztérbe jut. A csepegtetőtestből elfolyó szennyvíz a tárcsákról lecsúszott *iszappal együtt* az utóülepítőbe kerül, ahol a hártyaanyag (biomassza) az utóülepítőből elfolyó szennyvízből *ülepítéssel szeparálható.*

a)



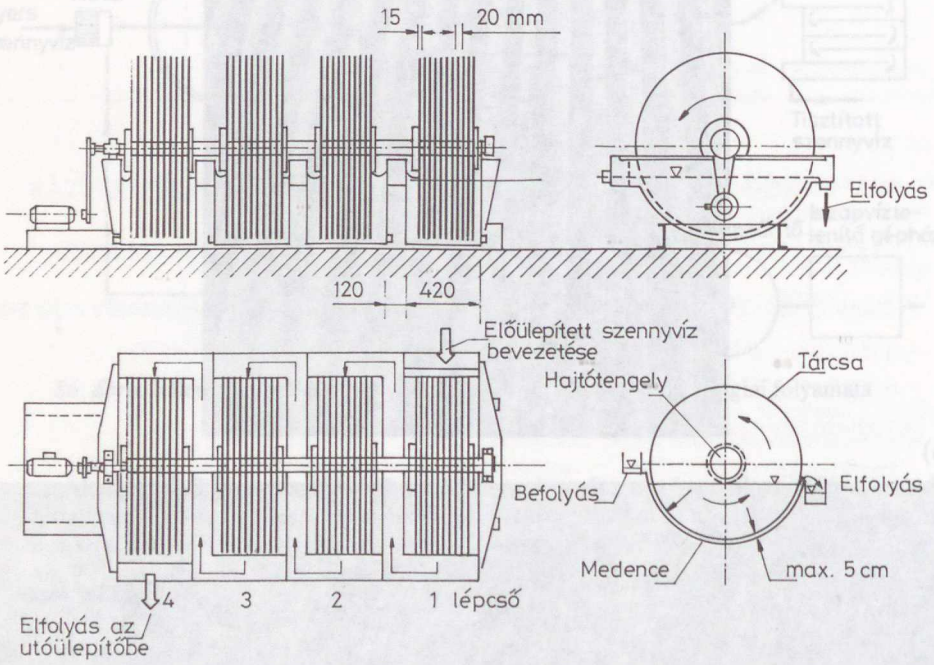
b)



87/a–b ábra. Forgó merülőtárcsás csepegtetőtestes berendezés

A forgó merülőtárcsás csepegtetőtestes rendszer lehetséges kialakítási módját szemlélteti a *88. ábra:* a csepegtetőtestek párhuzamos kapcsolásban vannak. Az ábrán az *előülepített* szennyvíz a *központi* elosztóaknán keresztül jut el a *mellékelosztóaknába,* amelyekből azután közvetlenül a *többlépcsős csepegtetőtestekre* kerül.

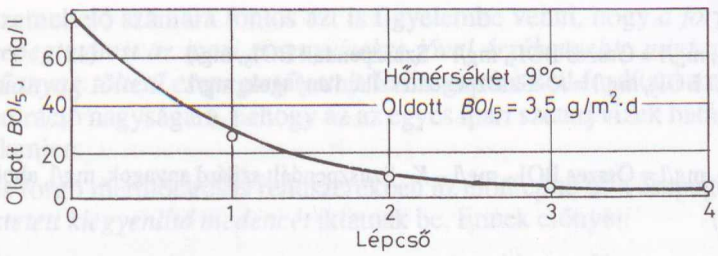
A forgó csepegtetőtestes rendszert rendszerint négy vagy több lépcső alkotja *(88. ábra).* Mindegyik lépcső terét eltávolítható merülőfal, betonfal vagy vízzáró fal választja el. Mindegyik válaszfal víz alatti nyílást tartalmaz, amelyen át a szennyvíz az egyik lépcső teréből a másikba áramlik át. Mindegyik lépcső tere önálló lépcsőként funkcionál.



88. ábra. Négylépcsős forgó merülőtárcsás csepegtetőtestes rendszer működési elve

A lépcsőzés célja az, hogy a forgótárcsa-felületek összességét optimalizálni lehessen. Hiszen az első lépcsőbeli szervezeteket *nagy BOI-terhelés éri,* s ennek megfelelően azok *nagymértékű BOI-eltávolítást biztosítanak.* Amint a BOI-terhelés lépcsőről lépcsőre csökken, a szervezetek BOI-eltávolítási mértéke is csökken (*89. ábra;* Tanaka et al. nyomán, 1987). Így a nitrifikáció is megindulhat, hiszen az ehhez szükséges feltételek létrejönnek:

– nitrifikáló baktériumpopuláció elszaporodik,
– a szervesanyag-terhelés már kicsi,
– oldott oxigén a tárcsák forgása következtében folyamatosan rendelkezésre áll.



89. ábra. Az oldott BOI_5-koncentráció csökkenése a sorba kapcsolt forgó merülőtárcsás rendszer lépcsőiben

A forgó merülőtárcsás csepegtetőtestek *lefedése* – a hagyományos és a műanyag töltetű rendszerektől eltérően – a következő okok miatt követelmény:

1. az atmoszférával közvetlenül érintkező biológiai hártya a fagyástól megvédhető,
2. a nagy intenzitású csapadék hártyát lemosó hatása elkerülhető,
3. a tárcsák felületén a direkt napfény okozta algaszaporodás kiküszöbölhető,
4. a közvetlen napfény nem éri a tárcsák felületét, ezáltal a hártya nem szárad ki és nem válik törékennyé,
5. az épületben dolgozók napfény, eső, hő és szél elleni védelme biztosított.

A forgást segítő tengely meghajtására háromféle módszer ismert:

– motorikus, láncos meghajtás,
– motorikus, közvetlen tengelymeghajtás,
– levegős meghajtás.

Ez utóbbi esetben a tárcsák külső kerületéhez kis műanyag, csészeszerű bemélyedések kapcsolódnak. A forgódob alatti perforált csőből levegő áramlik a kis berendezésekbe, s azokban a „felhajtóerő" növekedése következtében a dob forgása biztosított.

11.3.2. ÜZEMELÉS

1. A forgó merülőtárcsás csepegtetőtesteket általában 90–200 m^3/d tartományba eső szennyvízhozamra méretezik, bár a tisztítótelepek zöme <20 m^3/d szennyvízhozamú.

2. Jellemző *hatásfoktartományok:*

BOI_5-eltávolítás (*90. ábra,* Tanata et al. nyomán, 1987)	80–95%
Elfolyás összes BOI_5-koncentrációja	10–30 mg/l
Elfolyás oldott BOI_5-koncentrációja	5–15 mg/l
Elfolyás NH_3–N-koncentrációja	1–10 mg/l
Elfolyás NO_3^-–N-koncentrációja	2– 7 mg/l

Megjegyzés:

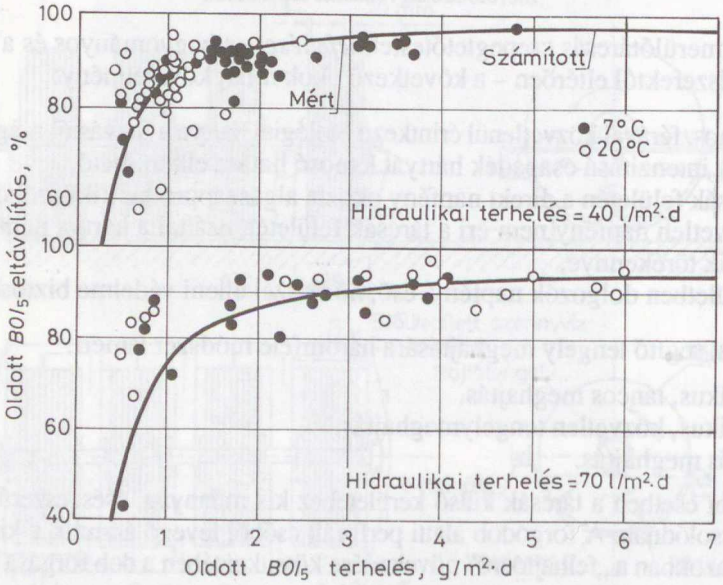
Oldott BOI_5, mg/l = Összes BOI_5, mg/l – Szuszpendált BOI_5, mg/l (13)
Szuszpendált BOI_5, mg/l = K · Szuszpendált szilárd anyagok, mg/l.

Ezért

Oldott BOI_5, mg/l = Összes BOI_5, mg/l – K · Szuszpendált szilárd anyagok, mg/l, ahol

$K = 0{,}5 - 0{,}7$

a legtöbb települési szennyvízre.



90. ábra. Az oldott BOI_5-terhelés és az oldott BOI_5-eltávolítás mértéke közötti kapcsolat

Az üzemeltetési tapasztalatok arra utalnak, hogy a szervesanyag-terhelés (különösen az első lépcsőre eső) gyakran alapvetően szabályozza a forgó merülőtárcsás csepegtetőtestek hatásfokát (Wick és Kerri, 1989).

3. A forgó merülőtárcsás rendszer előnye a hagyományos és a műanyag töltetű csepegtetőtestekkel szemben:

– a forgócsöves szennyvízelosztás és a vele kapcsolatos üzemelési problémák elmaradnak,

– a hagyományos (kőtöltetű) csepegtetőtest felületén a gyakori tócsásodás nem jelentkezhet,

– légyprobléma nincs,

– anaerob állapot – megfelelően tervezett rendszerben – nem léphet fel.

4. Korlátozó tényező *az üzem rugalmasságának hiánya,* ami a recirkuláció hiányából adódik. Recirkuláció a legtöbb esetben nem szükséges, ha mégis alkalmazzák, az csak előnnyel járhat.

5. Az üzemeltető számára fontos azt is figyelembe venni, hogy *a forgó merülőtárcsás csepegtetőtest az ipari szennyvizekre jóval érzékenyebb, mint a hagyományos és műanyag töltetű csepegtetőtestek.* Ezért gondot kell fordítani az oldott oxigén koncentráció nagyságára, nehogy az az egyes ipari szennyvizek hatására túlzottan lecsökkenjen.

6. Egyes forgó merülőtárcsás rendszerekben az előülepítő és a csepegtetőtest közé *levegőztetett kiegyenlítő medencét* iktatnak be. Ennek előnyei:

– a nagymértékben változó szennyvízmennyiséget kiegyenlíti,
– a nagy BOI-koncentrációjú szennyvizeket hígítja,
– a nagy lúgosságú vagy a túlzottan savas szennyvizeket neutralizálja,
– a lökésszerű terheléseket csökkenti vagy kiküszöböli,
– a csepegtetőtest előtt előlevegőztetést biztosít.

7. A rendszer üzembe helyezését követően a *biológiai hártya kifejlődése*

– a hidraulikai és
– a szervesanyag-terhelés

szabályozásával és recirkuláció (ha alkalmazott) segítségével serkenthető.

8. A tárcsák optimális forgási sebessége a *hártya olyan mértékű lecsúszását* idézi elő, hogy ez esetben a tápanyagot készségesen hasznosító, reproduktív mikroorganizmus-film jön létre.

9. A csepegtetőtest üzembe helyezését követően a tárcsák felületén *nyálkás biomassza* képződik. Az első héten nagymértékű hártyalecsúszás jelentkezik. Ez normál folyamat, a lecsúszott hártyarészek helyett gyorsan új, meglehetősen egyforma, bolyhos, barnás-szürkésnek tűnő, kevés vagy egyáltalán nem is létező csupasz foltokat tartalmazó biomassza keletkezik. Az egyenletes szaporodású hártya kifejlődéséhez, normál BOI-tartalmú szennyvíz esetében egy-két hét szükséges. Ha az üzembe helyezés a téli, hideg időszakra esik, a hártya hosszabb idő alatt fejlődik ki, mivel a hártyabeli szervezetek kevésbé aktívak.

11.3.3. A BEFOLYÁS ÉS ELFOLYÁS ANALÍZISE

A forgó merülőtárcsás csepegtetőtestet, minthogy kevés a mozgó alkatrésze, könnyű üzemeltetni és megfelelő minőségű elfolyást biztosítani, feltételezve, hogy az üzemeltető megfelelő szaktudással rendelkezik és lelkiismeretesen teljesíti feladatait: ellenőrzi a berendezéseket, a befolyást és elfolyást rendszeresen figyelemmel kíséri, a tárcsák felületét és forgását felügyeli, a berendezések rendszeres karbantartását biztosítja és az üzemet – amennyiben szükséges – korrigálja.

Viszonylag kevés analízis szükséges a napi hatásfok ellenőrzésére; a mérési igények: BOI_5, lebegőanyagok, pH, oldott oxigén. A hatásfokot legcélszerűbb 24 órás átlagos BOI_5-minták (composite sample) alapján meghatározni. A lebegőanyag-koncentráció napi átlag alapján ellenőrzendő. Az oldott oxigén és a pH bizonyos időpontokban egyedi minták alapján vizsgálandó. A vizsgálatok gyakorisága a kezelési utasításban rögzítettek szerinti legyen.

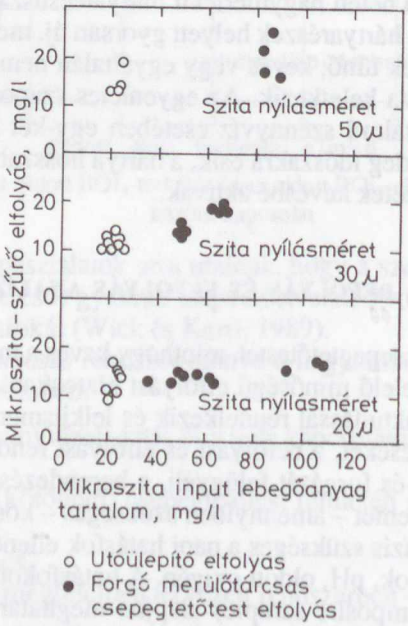
1. **Befolyás.** Ha a befolyó szennyvíz mennyisége és/vagy szervesanyag-tartalma (BOI_5) naponta nagymértékben változik, akkor a hatásfok csökkenése várható. Mielőtt az üzem korrigálására kerülne sor, a probléma és a hatásokat befolyásoló változások pontos mértéke tisztázandó.

Azokon a telepeken, amelyeken a befolyó szennyvíz mennyisége és/vagy a szervesanyag-terhelés a tervezési értékeket hosszan tartóan túllépi, az elfolyás BOI_5- és lebegőanyag-koncentrációja az időszakon belül rendszeresen analizálandó avégből, hogy az üzemet módosító művelet (ha az szükséges) meghatározható legyen.

Nagymértékű szervesanyag-terhelés időszakában az első és második lépcső közötti elválasztófalat el kell távolítani. Ezáltal az első lépcső összes tárcsafelülete lényegesen nagyobb lesz.

Ha a telep szerves anyaggal folyamatosan túlterhelt és az elfolyás kívánt minősége nem biztosítható, akkor utótisztítás beiktatása szükséges. Túlterheléskor, rövid ideig megoldás lehet a recirkuláció, bár ez növeli a hidraulikai terhelést.

A forgó merülőtárcsás csepegtetőtestes rendszer elfolyó szennyvizének lebegőanyag-tartalma mikroszita-szűréssel is csökkenthető. A *91. ábra* (Tanaka et al. nyomán, 1987) a csepegtetőtest és az utána következő utóülepítőből elfolyó szennyvíz lebegőanyag-tartalmának mikroszita-szűrővel történő csökkentését szemlélteti, a mikroszita-szűrőre kerülő lebegőanyag-koncentráció és a mikroszita-nyílás méretének függvényében. 30 μ nyílásméret esetében az utóülepített szennyvíz mikroszita-szűrése <15 mg/l lebegőanyag-elfolyást eredményezett. A csepegtetőtest-elfolyás



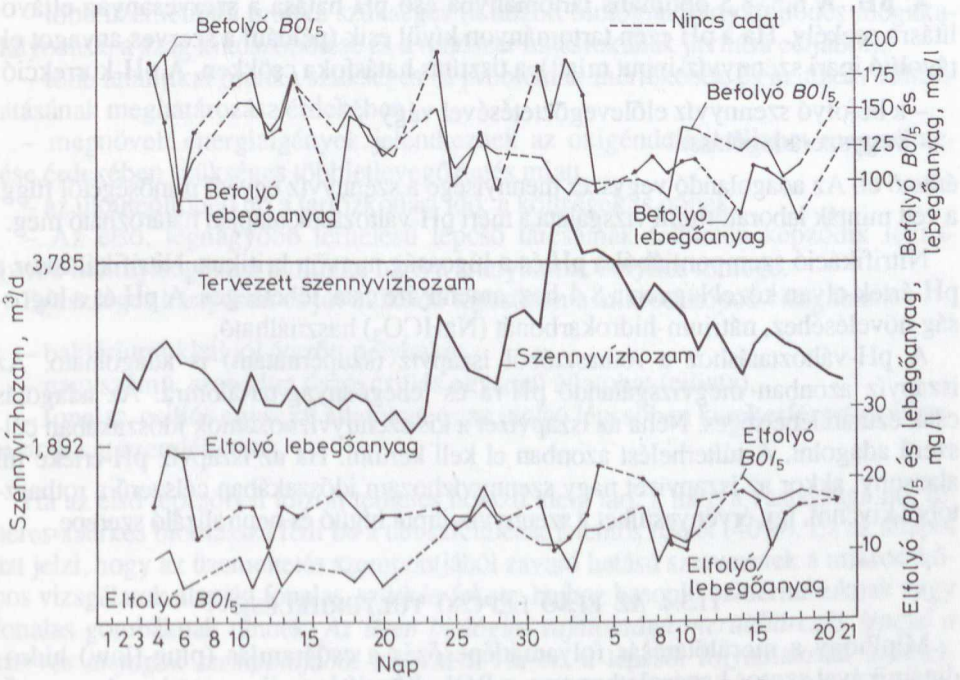
91. ábra. A mikroszita-szűrőt terhelő lebegőanyag-koncentráció, mikroszita-szűrő elfolyása és lebegőanyag-koncentrációja közötti kapcsolat

direkt átvezetése 20 μ nyílásméretű mikroszita-szűrőn szintén <15 mg/l lebegőanyag-elfolyást produkált. Ha a mikroszita-szűrő elfolyás lebegőanyag-tartalma <15 mg/l, a telepi BOI_5-elfolyás < 20 mg/l. Az ábra arra is rámutat, hogy mivel a szóban forgó esetben a csepegtetőtestet elhagyó szennyvíz lebegőanyag-tartalmának kb. 30%-a nagyon finom szemcséjű és ülepedési sebessége csak a 10–15 m/d tartományba esik, *ezen frakció utóülepítése nehéz.* Azt is szem előtt kell tartani, hogy az utóülepítőből elfolyó vízben lévő finom lebegőrészecskék az összes BOI_5-tartalom 60–70%-át is kitehetik. *Ezért a forgó merülőtárcsás csepegtetőtest alkalmazásánál nagy gondot kell fordítani az elfolyó vízben lévő szilárd anyag szeparálásának hatékonyságára.* Az üzemeltető gondoljon arra is, hogy a „csepegtetőtest"-es tisztítás folyamatai és problémái nem általánosíthatók.

2. **Elfolyás.** A befolyás növekedésekor az elfolyás minőségi paraméterei is nőnek, hiszen a biológiai hártya egységnyi felületére eső terhelés nő, miközben a kontaktidő csökken. Vagyis a befolyó BOI_5, lebegőanyag és nitrogén növekedése miatt ezen paraméterek értékei az elfolyásban is nagyobbá válnak (*92. ábra;* Wick, Kerri nyomán, 1989).

Ha a szennyvízminták analízise a hatásfok csökkenésére utal, forgó merülőtárcsás csepegtetőtest esetében általában *három lehetséges okra* kell gondolni:

1. szennyvízhőmérséklet csökkenése,
2. szokatlan szennyvízhozam és/vagy szervesanyag-terhelés,
3. kis vagy nagy pH-értékek (< 6,5 vagy > 8,5).



92. ábra. Forgó merülőtárcsás csepegtetőtestre jellemző BOI_5- és lebegőanyag-koncentrációk

Ha az okot sikerült felderíteni, a lehetséges megoldás meghatározása lehetővé válik, miáltal a folyamat módosítható.

3. **Oldott oxigén.** Az oldott oxigén koncentráció lépcsőről lépcsőre változik. Az előülepített szennyvíz BOI_5- és lebegőanyag-koncentrációját eltávolító forgó merülőtárcsás műtárgy első lépcsője után az oldott oxigén koncentráció rendszerint 0,5–1,0 mg/l. A nitrifikáló merülőtárcsás rendszer, amely az ammóniát és a szerves nitrogént nitráttá alakítja át, négylépcsős és a kezdeti oldott oxigén szint kb. 4–8 mg/l kell legyen. A szerves anyagot eltávlító, ill. a nitrifikáció forgó merülőtárcsás berendezés közötti különbség a tárcsa egységnyi felületére eső tervezett szerves-anyag-terhelésben van. Az oldott oxigén a nitrifikáló rendszer első lépcsőjében több mint 1 mg/l, gyakran 2–3 mg/l.

Az oxigénátadás

– mesterséges levegőztetéssel, vagy
– a tárcsákat forgató tengely forgási sebességének változtatásával biztosítható.

Az üzemeltetési tapasztalatok szerint mesterséges levegőztetés csak túlterhelt lépcsők esetében indokolt, amikor levegőbevitelt biztosító, általában finombuborékos diffúzorokat helyeznek el a tárcsák alatti szennyvíztérben. Az adagolt levegő mennyiségének biztosítania kell a biológiai hártya lecsúsztatását. Ennek fajlagos értéke 50–100 $l/s \cdot m^2$ tárcsafelület.

Egyes telepeken oxigénhiányos légtér van a lefedést biztosító tető alatt. Ilyen esetben a jó hatásfok és a biztonságos üzemeltetés érdekében kielégítő mértékű ventilációt kell biztosítani.

4. **pH.** A 6,5–8,5 optimális tartományba eső pH hatása a szervesanyag-eltávolításra csekély. Ha a pH ezen tartományon kívül esik (például a szerves anyagot eltávolító ipari szennyvíz-input miatt), a tisztítás hatásfoka csökken. A pH-korrekció

– a befolyó szennyvíz előlevegőztetésével vagy
– vegyszeradagolással

érhető el. Az adagolandó vegyszer mennyisége a szennyvíz egyedi minőségétől függ; a vett minták laboratóriumi vizsgálata a mért pH-változások alapján határozható meg.

Nitrifikáció szempontjából a pH és a lúgosság nagyon kritikus. Nitrifikáláskor a pH-érték olyan közel legyen a 8,4-hez, amennyire csak lehetséges. A pH és a lúgosság növeléséhez, nátrium-hidrokarbonát ($NaHCO_3$) használható.

A pH-változtatáshoz a rothasztóból iszapvíz (szupernatant) is adagolható. Az iszapvíz azonban megvizsgálandó pH-ra és lebegőanyag-tartalomra. Az adagolás csak ezután lehetséges. Néha az iszapvizet a kis szennyvízhozamok időszakában célszerű adagolni. A túlterhelést azonban el kell kerülni. Ha az iszapvíz pH-értéke túl alacsony, akkor az iszapvizet nagy szennyvízhozam időszakában célszerű a rothasztóból kivenni, így érvényesülhet a szennyvíz-input hígító és neutralizáló szerepe.

11.3.4. AZ ELSŐ LÉPCSŐ TÚLTERHELÉSE

Minthogy a merülőtárcsás folyamatlépcsőzés a csőáramlás (plug-flow) hidrodinamikával szoros kapcsolatban van, a BOI-eltávolítás az ilyen rendszerben a csőáramlású reaktorrendszerhez kapcsolódik: a BOI *lépcsőzetesen* távolítódik el és en-

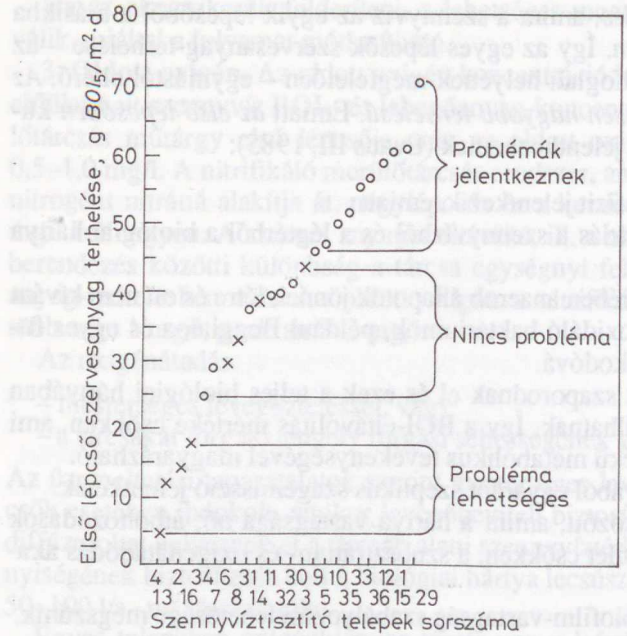
nek megfelelően a *BOI-terhelés*, amint a szennyvíz az egyik lépcsőből a másikba áramlik, *lépcsőzetesen csökken.* Így az egyes lépcsők szervesanyag-terhelése – az egyes lépcsők lépcsősorban elfoglalt helyének megfelelően – egymástól eltérő. *Az első lépcső a többinél lényegesen nagyobb terhelésű.* Emiatt *az első lépcsőben* különböző üzemelési problémák jelentkezhetnek (Evans III, 1985):

– A szennyvízben oxigéndeficit jelentkezik, emiatt
– akadályozott az oxigénátadás a szennyvízből és a légtérből a biológiai hártya belső terébe, ezért
– a biológiai hártya belső terében anaerob állapotok jönnek létre és ott nem kívánt mikroorganizmus-fajták (kénoxidáló baktériumok, például Beggiatoa és egyes fonalas szervezetek) válnak uralkodóvá.
– Mikroaerofil-szervezetek szaporodnak el és ezek a teljes biológiai hártyában elsődleges szerepkörűekké válhatnak. Így a BOI-eltávolítás mértéke csökken, ami ezen szervezetek kisebb mértékű metabolikus tevékenységével magyarázható.
– A szennyvízből és a hártyából egyaránt szeptikus szagemisszió jelentkezik.
– A forgótárcsák felülete között, amint a hártya vastagsága nő, átboltozódások jönnek létre, így a biofilm-felület csökken, a szubsztrátum- és oxigénátadódás akadályba ütközik.
– A biofilm-lecsúszás és a biofilm-vastagság szabályozási lehetősége megszűnik.
– Az energiaigény nő.
– Az üzemeltetési munka (felügyelet, kenés, általános fenntartás), a költségigények nőnek, hiszen
– több üzemeltetői munka szükséges (a túlzott biológiai hártyafejlődés megakadályozása, a szag kiküszöbölése és a rendszer hatásfokának javítása céljából),
– több analitikai munka szükséges (a problémák mértékének és az üzem változtatásának meghatározása érdekében),
– megnövelt energiaigények jelentkeznek az oxigéndeficit-állapot megszüntetése érdekében szükséges többletlevegőztetés miatt,
– az utóülepítőben nő a tartózkodási idő; a költségek is nőnek.
– Az első, legnagyobb terhelésű lépcső tárcsáinak felületén képződik legnagyobb mennyiségben a biológiai hártya aranybarna, bolyhos tömege.

Egészséges hártyában és jól működő lépcsőben a mikroszkópos vizsgálatok

– baktériumokkal jól átszőtt pelyheket,
– nagyszámú, szabadon úszó, csillós egysejtű állatokat (ciliata),
– fonalas, csillós egysejtű állatokat, és az utolsó lépcsőben kerekesférgeket és nematodákat szemléltetnek.

Ha az első lépcsőbeli túlzott terhelés hosszú ideig tart, a hártya vastagsága nő, fehéres-szürkés biomassza fedi be a tárcsafelületek jelentős részét (40%). Ez az állapot azt jelzi, hogy az üzemeltetés szempontjából zavaró hatású szervezetek a mikroszkópos vizsgálatok alapján fonalas, szürkés-fekete, hajhoz hasonló baktériumoknak vagy fonalas gombáknak tűnnek. *Az ilyen biológiai sajátosságú merülőtárcsás lépcső a szerves anyagok szempontjából túlterhelt.* Ha ezt a lépcsőt folyamatosan üzemeltetjük, akkor a zavart okozó szervezetek burjánzási mértékétől és a tárcsafelület hártyával való beborítottságának viszonyaitól függően *a lépcső hatásfoka csökken.*



93. ábra. A merülőtárcsás rendszer első lépcsőjének szervesanyag-terhelése. A tisztítótelep sorszáma (az első lépcső szervesanyag-terhelési mértékének sorrendjében), és az üzemelési probléma (vagy annak hiánya) közötti kapcsolat

A *93. ábra* (Evans nyomán, 1985) számos szennyvíztisztító telepen történt vizsgálat alapján született. A vízszintes tengelyen a szennyvíztisztító telepek sorszáma található az első lépcsőbeli szervesanyag-terhelés mértékének sorrendjében. A függőleges tengelyen az első lépcsőbeli szervesanyag-terhelés (g $BOI_5/m^2 \cdot d$) adott. Az ábra szerint 17,6 $g/m^2 \cdot d$ terhelés alatt üzemelési probléma *lehetséges;* 17,6–43,0 $g/m^2 \cdot d$ tartományban probléma *nincs;* a > 43,0 $g/m^2 \cdot d$ tartományban probléma *mindig létezik.* (A szóban forgó vizsgálatok esetében a telepek 42%-a esett ez utóbbi tartományba.) Az ábra közelítőnek tekintendő. Jelenleg problémamentes állapotot garantálni aligha lehetséges, hiszen a befolyó szennyvíz minőségének változása, a szennyvíz hőmérséklete, a medence sajátos geometriai kialakítása, a sajátos tárcsaelrendezés, ill. -kialakítás, a meghajtótengely forgási sebessége, a folyadékáramlási állapot hatása az egyes tartományokban a várttól eltérő üzemelési helyzeteket is okozhat.

Az egész csepegtetőtestre nézve: az első lépcsőt a megengedett maximális terhelési határon belül kell üzemeltetni. A terhelést lépcsőnkénti alapon kell meghatározni.

11.3.5. SZENNYVÍZRÁVEZETÉS

Ha az első lépcső szervesanyag-terhelése a 12,2 g oldott $BOI_5/m^2 \cdot d$ terhelést, vagy a 29,3 g összes $BOI_5/m^2 \cdot d$ terhelést meghaladja, a szennyvíz merülőtárcsás csepegtetőtestes műtárgyra vezetésének módját célszerű megváltoztatni (*94/a–d ábra;* Hegg et al., 1984). Megoldási javaslatok:

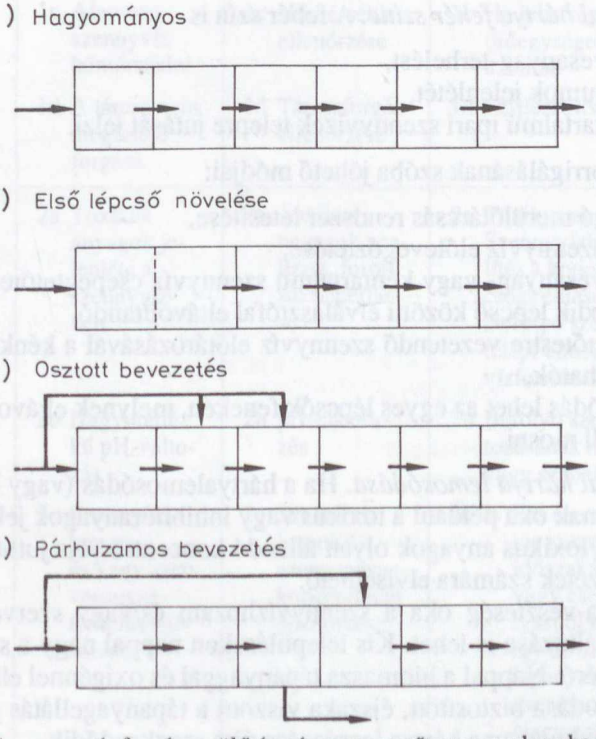
– az első lépcső *növelése* (*b* ábra),
– a szennyvíz *osztott* bevezetése az első néhány lépcsőbe (*c* ábra),
– a szennyvíz *párhuzamos* bevezetése, ami által két rövidebb lépcsősorú rendszer üzemeltethető (*d* ábra).

Az alternatívák *az első lépcső szervesanyag-terhelését csökkentik*, miközben más lépcsők terhelése nő, ezért legalább négy lépcső létesítése szükséges.

A sorba kapcsolt rendszer párhuzamos táplálású rendszerré alakításakor az első lépcsők száma nő, az összes lépcsők száma csökken (*d* ábra).

Az osztott táplálású rendszer első lépcsője csak *részleges terhelésű*, ezért a következő lépcsők terhelése nő (*c* ábra).

A *94/a–d ábrával* kapcsolatban az üzemeltető számos folyamatmódosítási lehetőség között választhat. Hasonló, széles körű módosítási lehetőségre mutat példát a *81/a–n ábra* is a recirkulációt illetően. *Az ilyen rugalmas, a tényleges állapothoz jól illeszkedő folyamatmódosítási lehetőségekre a tervezőnek és üzemeltetőnek a jövőben már fokozottabban oda kell figyelni.*



94/a–d ábra. A szennyvíz forgó merülőtárcsás csepegtetőtestes rendszerbe vezetésének célszerű alternatívái

11.3.6. A BIOLÓGIAI HÁRTYA VIZUÁLIS MEGFIGYELÉSE

A tárcsák felületén kifejlődött biológiai hártya jelenlétéből származó *problémák identifikálása*

– szabad szemmel és
– szaglóérzékünkkel

is lehetséges. Erre példák a következők.

1. *A biológiai hártya fekete színe.* A fekete szín és a szagemisszió lebegőanyag- vagy szervesanyag-túlterhelést és általában kis oldott oxigén koncentrációt jelez. Az üzem korrigálásának szóba jöhető módjai:

– másik forgó merülőtárcsás rendszer is létesíthető (ha lehetséges),
– a befolyó szennyvíz előlevegőztetése,
– az előülepítő üzemének ellenőrzése,
– átállás kétlépcsős biológiai tisztításra.

2. *A biológiai hártya fehér színe.* A fehér szín is

– nagy szervesanyag-terhelést,
– kénbaktériumok jelenlétét,
– egyes kéntartalmú ipari szennyvizek telepre jutását jelzi.

Az üzemi korrigálásának szóba jöhető módjai:

– másik forgó merülőtárcsás rendszer létesítése,
– a befolyó szennyvíz előlevegőztetése,
– nagy szervesanyag- vagy kéntartalmú szennyvíz csepegtetőtestbe vezetésekor az első és második lépcső közötti elválasztófal eltávolítandó,
– a csepegtetőtestre vezetendő szennyvíz előtározásával a kénkedvelő baktériumok szabályozhatók,
– iszaplerakódás lehet az egyes lépcsők fenekén, melynek eltávolítása után a lépcsők alját le kell mosni.

3. *A biológiai hártya lemosódása.* Ha a hártyalemosódás (vagy biomassza-veszteség) nagy, annak oka például a toxikus vagy inhibitoranyagok jelenléte lehet. Ekkor hígítással a toxikus anyagok olyan állandó koncentrációja juttatható a hártyára, amely a szervezetek számára elviselhető.

A biomassza-veszteség oka a szennyvízhozam és/vagy szervesanyag-terhelés nagymértékű változása is lehet. Kis településeken nappal nagy a szennyvízhozam, éjszaka közel zéró. Nappal a biomasza tápanyaggal és oxigénnel ellátott, így a szervezetek szaporodása biztosított, éjszaka viszont a tápanyagellátás gyakorlatilag leáll. Tápanyag hiányában a hártya lecsúszása újra megkezdődik.

11.3.7. A FORGÓ MERÜLŐTÁRCSÁS CSEPEGTETŐTEST LEHETSÉGES ÜZEMELÉSI PROBLÉMÁI, A PROBLÉMÁK VALÓSZÍNŰ OKAI, ELLENŐRZÉSÜK, MEGOLDÁSUK

(Wick és Kerri, 1989; Culp et al., EPA 1978; Öllős, 1993 alapján)

26. táblázat

Probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldás
1. Csökkent tisztítási hatásfok	1a Szennyvízhozam és/vagy szervesanyag-túlterhelése	1a Szennyvízhozam és szervesanyag-terhelés ellenőrzése	1a Előtisztítás javítása, tisztítórendszer bővítése Szennyvízhozam-kiegyenlítés
	1b pH túl nagy vagy túl kicsi	1b pH-ellenőrzés	1b A nem kívánt pH-t okozó források eliminálása; sav (ecetsav) vagy bázis (mész) adagolása
	1c Alacsony szennyvízhőmérséklet	1c Hőmérséklet ellenőrzése	1c Ha lehetséges, további tisztítóegységek helyezendők üzembe
	1d A tárcsa nem megfelelő forgása	1d Tárcsaforgás ellenőrzése	1d Szíjfeszültség beállítása
2. Túlzott mértékű biomassza-lecsúszás a tárcsafelületről	2a Toxikus anyagok jelenléte a szennyvízben	2a Toxikus anyagok analízise, forrásai felderítése	2a Toxikus anyagok eliminálása Szennyvízhozam-kiegyenlítés a koncentrációváltozás csökkentése céljából Befolyó szennyvíz hígítása telepi elfolyással vagy más vízforrással
	2b Nagymértékű pH-változás	2b pH-ellenőrzés	2b Befolyó szennyvíz pH-változásának megszüntetése vagy szabályozása
	2c Szennyvízhozam és/vagy szervesanyag-terhelés változása	2c Szennyvízhozam és szervesanyag-koncentráció ellenőrzése	2c 1. Kis szennyvízhozamok, kis szervesanyag-terhelés időszakában utóülepítő- vagy csepegtetőtest-elfolyásból kell visszatáplálni, így az oldott oxigén és a tápanyag mennyisége nő a csepegtetőtest-lépcsőkben 2. Nagy szennyvízhozam vagy szervesanyag-terhelés időszakában a befolyás fojtására van szükség 3. Nagy szervesanyag-terhelés időszakában az első és második lépcső közötti válaszfal eltávolítandó

26. tábl. folyt.

Probléma	Valószínű ok	Ellenőrzés	Megoldás
3. A csepegtetőtest lépcsőinek (reaktorainak) fenekén iszaplerakódás	3a Lebegőanyag-eltávolítás az előülepítőben elégtelen mértékű	3a Előülepítő lebegőanyag-eltávolító hatásfokának ellenőrzése	3a 1. Előülepítő hatásfokának javítása 2. Mesterséges levegőztetés a csepegtetőtest lépcsőinek fenékzónájában az ülepedés megakadályozása céljából 3. Válaszfalak elmozgatása az áramlás módosítása és így az ülepedés megakadályozása céljából
4. A tárcsán lévő biológiai hártya bolyhos, barnás-szürkés színű	Megfelelő üzemelés Normális állapotok		
5. Fekete színű biológiai hártya	5a Szervesanyag- és/vagy lebegőanyag-túlterhelés	5a Terhelések ellenőrzése	5a Másik forgó merülőtárcsás rendszer üzembe helyezése, ha lehetséges 5b A csepegtetőtestre rávezetendő szennyvíz előlevegőztetése 5c Nagymértékű szervesanyag-terheléskor az első és második lépcső közötti válaszfal eltávolítandó
6. Fehér színű biológiai hártya a tárcsafelület nagyobb részén	6a Kénvegyületeket hasznosító baktériumok jelenléte Ipari eredetű kénvegyületek túlterhelést okozhatnak	6a Kénvegyületek analízise	Lásd 5. probléma Megoldás 5a, 5b és 5c
7. Záptojás- vagy egyéb kellemetlen szagok	7a Szervesanyag és/vagy lebegőanyag-túlterhelés	7a BOI_5- és lebegőanyag-meghatározás	Lásd 5. probléma Megoldás 5a, 5b és 5c
8. Forgótengely csapágya melegszik	8. Elégtelen fenntartás	8. Fenntartási munkaterv ellenőrzése	8. Csapágyak kenése az előírásoknak megfelelően
9. Motor melegszik	9a Elégtelen fenntartás 9b Meghajtólánc	9a Olajszintek ellenőrzése	9a Kenés az előírásoknak megfelelően

11.4. MŰANYAG TÖLTETŰ CSEPEGTETŐTEST

A 11.2.1. fejezet a csepegtetőtesteket osztályozza. Ennek alapján kitűnik, hogy a műanyag töltetű csepegtetőtestek a szuperterhelésű csepegtetőtestek csoportjába tartoznak *(22. táblázat)*. Fajlagos felületük a *23. táblázat* alapján értelmezhető. Hatásfokuk, más típusú csepegtetőtestekkel összehasonlítva (tájékoztató jelleggel) a *79/a–c ábrán* követhető. Néhány üzemelési sajátosságuk a 11.3.2. fejezetekben található.

A műanyag töltetű csepegtetőtestek szerepe a kétlépcsős biológiai tisztítórendszerben a 11.2. fejezetből, a *84.* és *85. ábrá*ról követhető.

Ellentétben az egyéb csepegtetőtestes és eleveniszapos eljárásokkal, a műanyag töltetű csepegtetőtestekre, mint berendezésekre, jelenleg még a fejlődés jellemző, így a velük kapcsolatos üzemeltetési tapasztalatok sem tekinthetők kiforrottaknak. A hazai kutatások fejlődésüket, a velük kapcsolatos tisztítási folyamatok felderítését jelentősen elősegítették (Dulovics, 1971, 1973, 1993).

11.4.1. ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK

1. A műanyag töltetű csepegtetőtestekre a szennyvíz rávezetése – elosztása – a hagyományos csepegtetőtesteknél történő rávezetésnél nagyobb pontosságot igényel.

2. A műanyag töltet, mint szerkezet, geometriájának megválasztásakor az egyik jellemző törekvés a *hézagok méretének csökkentése*. Míg a kezdetben alkalmazott műanyag töltetekre a hézagok eltömődése nem volt jellemző, addig az újabb töltetekre már *jellemző* lehet az *eltömődés*, amint azt az üzemeltetési tapasztalatok bizonyítják – ha az üzemeltetés feltételei nem megfelelőek.

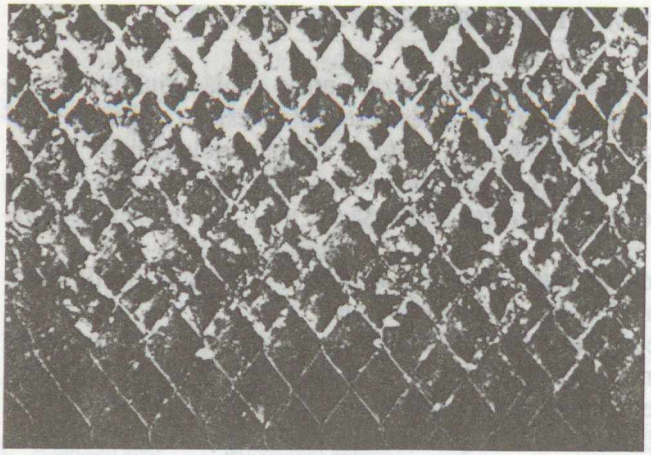
3. A műanyag töltet geometriájának, azaz a *hézagok geometriai méreteinek egyre inkább jellemző csökkentése*, ill. *optimalizálása, tervezése üzemeltetési tapasztalatok nélkül nem lehetséges*, mert

– a biológiai hártya túlszaporodása,
– a hártya tömegegyensúlyának hiánya,
– a felületi hidraulikai és szervesanyag-terhelés,
– a recirkuláció módja és mértéke,
– *a biomassza-lemosódást követő transzportálódása a töltet hézagrendszerében*

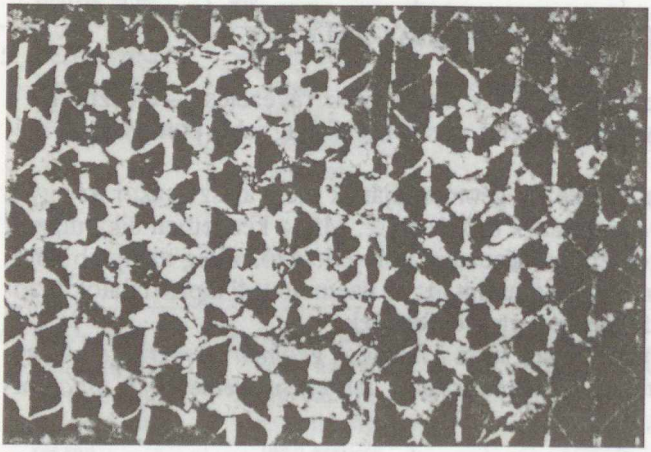
olyan hatásokat eredményeznek, amelyek kutatások, üzemeltetési adatok nélkül sem egyenként, sem összességükben nem számszerűsíthetők.

4. A biológiai hártya akkumulálódására, annak várható módjaira és mértékére a példaként választott rendszer *üzemeltetéséből levont tapasztalatok alapján* lehet következtetni (*95/a–c* és *96. ábra;* Richards et al., 1986, valamint *97/a–c ábra*, Dulovics).

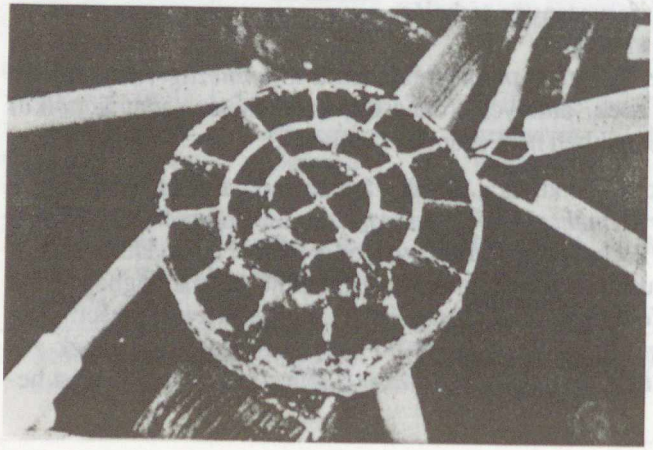
95/a ábra: a 60°-os, keresztáramlású blokkokból felépülő töltőanyagban és az egyes blokkok csatlakozó felületeinek környezetében a hézagok részlegesen eltömődtek, fekete, zselatinszerű, 2,5–5,0 cm átmérőjű hártyaanyaggal. Az esetek zömében az akkumulálódás a *blokkban* a két párhuzamos lemezfelület találkozási helyén jelentkezett.



a)



b)



c)

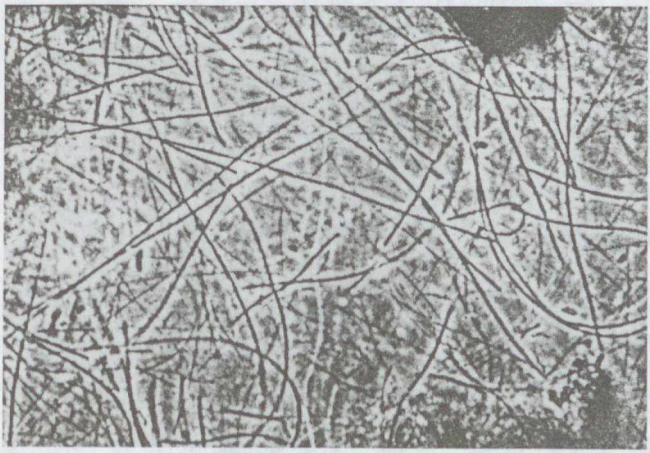
95/a–c ábra. Hártyaanyag-akkumuláció műanyag töltetű csepegtetőtestekben. *a:* 60°-os keresztáramlású töltet; 1,2 m mélységben; üzemelési időszak 6 hét; 1,3 kg összes $BOI_5/m^3 \cdot d$ terhelés. *b:* függőleges elemekből álló rendszer (VE); 1,2 m mélységben, üzemelési időszak 6 hét; 1,3 kg összes $BOI_5/m^3 \cdot d$ terhelés. *c:* szabálytalan kis műanyag modulokból álló rendszer (RA); 0,6 m mélységben; üzemelési időszak 6 hét; 1,5 kg összes $BOI_5/m^3 \cdot d$ terhelés

95/b ábra: nagyszámú fekete, zselatinszerű akkumulálódás jelentkezett a függőleges elemekből összeállított töltetben (VE) is, de ez zömmel a szomszédos blokkok csatlakozási felületei mentén keletkezett.

95/c ábra: a fekete, zselatinszerű hártyaanyag akkumulálódása a szabálytalan kis műanyag modulokból (RA) felépített töltet felületein is jelentkezett. Az akkumulálódott anyag felszínén nagy tömegű fonalas Beggiatoa-szervezet talál kedvező miliőt *(96. ábra).*

A Beggiatoa a VE-elemekből összeállított blokkok belsejében is jellemző, az elfolyó szennyvízben azonban a Beggiatoa-szervezetek mennyisége nagyon kevés.

A Beggiatoa-szervezetek tömege viszont a szabálytalan, műanyag modulokból (RA) felépített rendszer elfolyó szennyvizében nagy, ami erőteljesebb akkumulálódásukra utal.

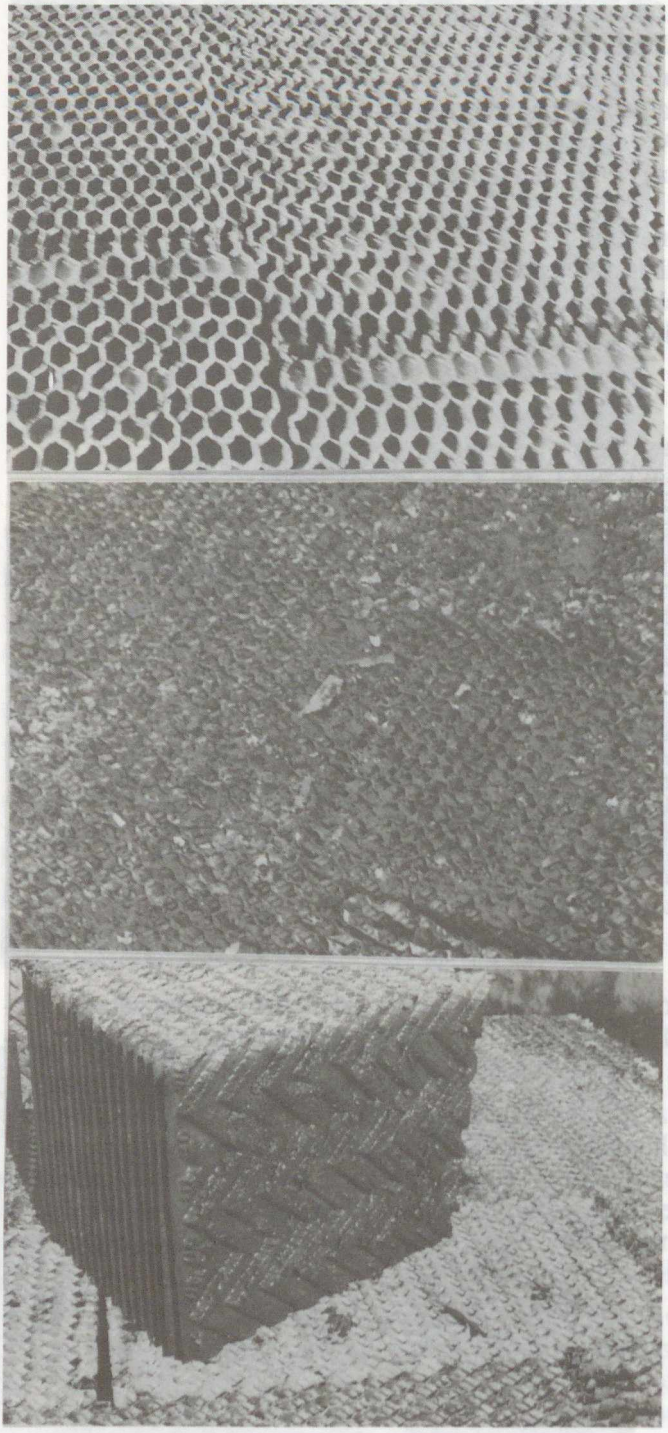


96. ábra. Beggiatoa-populáció a szabálytalan kis műanyag modulokból álló töltet (RA) elemein

5. Azonos eltömődési mértéket tételezve fel, az üzemeltetési tapasztalatok szerint a keresztáramlású, 60°-os töltetbeli eltömődés a csepegtetőtest hatásfokát kevésbé befolyásolja, mint a függőleges elemekből álló (VE) rendszernél.

6. A részletfolyamatokat illetően megállapítható: ha a függőleges csöves rendszer valamely elemében eltömődés jelentkezik – minthogy a szennyvíz a szomszédos függőleges elembe nem léphet át –, a függőleges elem tere feletti felületrész a szennyvíz csepegtetőtestre vezetésének szempontjából elveszett. Ez a helyzet a keresztáramlású rendszerre nem jellemző, mert a szennyvíz a rendszer más részéből a helyi eltömődés következtében újra elosztódik.

7. A *műanyag töltet teherbírását* (kN/m^2) úgy kell megválasztani, hogy összhangban legyen azzal a szennyvíztisztítási technológiával, amelyben alkalmazásra kerül. Például a PVC-töltet anyag már 35 °C felett lágyulni kezd, terhelhetősége 40–50 °C-on már jelentősen csökken, és 70 °C-os hőmérsékleten az elemek teherviselésre már nem alkalmasak (Dulovics, 1993).



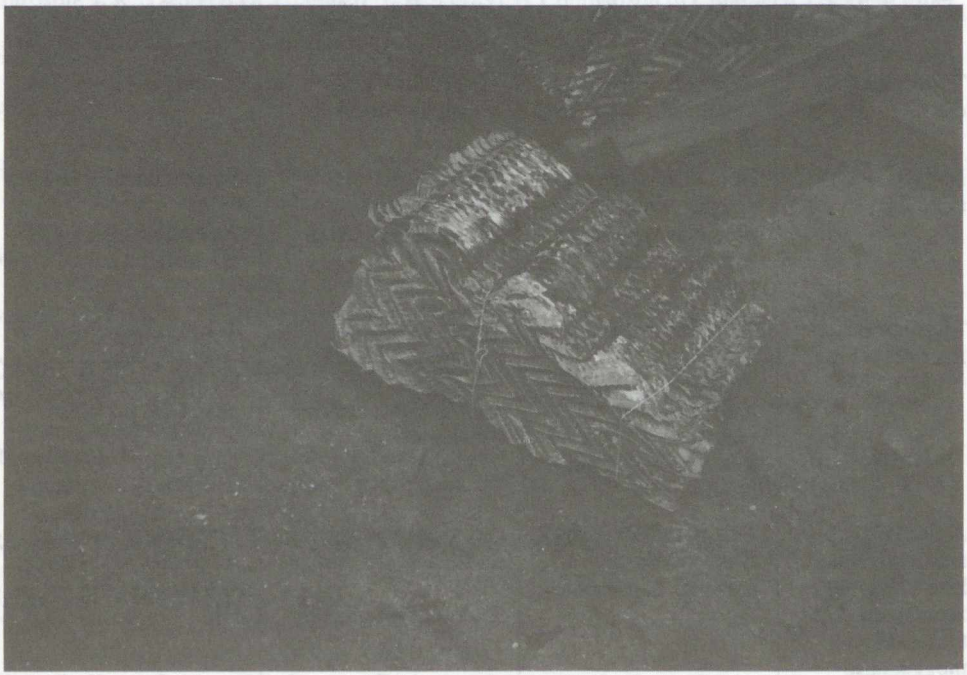
a)

b)

c)

97/a–c ábra. Példa: műanyag töltet eltömődésének fázisai. *a:* kezdeti állapot; *b:* végső állapot; *c:* eltömődött blokk oldalnézete (fotó: dr. Dulovics Dezső)

8. Ha a műanyag töltetben eltömődés jelentkezik, akkor a természetes levegőztetés mértéke csökkenhet, így az eltömődést okozó anyag terében *anaerob állapot*, ennek következtében *magas fokú hőtermelődés*, ill. *hőmérséklet-emelkedés* keletkezhet. Ez a *PVC lágyulására, teherbíró képességének rohamos csökkenésére vezethet* (Dulovics, 1993), ami szélső esetben a blokk nagymértékű, káros deformációját eredményezheti *(98. ábra)*.



98. ábra. A hőhatásra deformálódott blokk (összehasonlítandó a *97/c ábrá*val)
(fotó: dr. Dulovics Dezső)

11.4.2. A MŰANYAG TÖLTETŰ CSEPEGTETŐTEST ÜZEMELÉSI ZAVARAI, A ZAVAROK LEHETSÉGES OKAI, AZ OKOK FELISMERÉSE ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSE

A műanyag töltetű csepegtetőtest üzemelési zavarai, azok lehetséges okai, az okok felismerése, kiküszöbölésük módjai a *27. táblázat*ban szerepelnek (Szilágyi, 1993).

Egyéb üzemeltetési tapasztalatokat a 11.4.1. fejezet tartalmaz. Ezek közül különösen a műanyag töltet *szerkezeti kialakításából eredő* lehetséges üzemelési problémák érdemelnek figyelmet.

27. táblázat. A műanyag töltetű csepegtetőtest üzemelési zavarai, a zavarok lehetséges okai, az okok felismerése és kiküszöbölése

(Szilágyi, 1993)

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Egyenlőtlen terhelés	Egyenlőtlen szennyvízeloszlás, töltet eltömődése	Szennyvízelosztó rendszer vizsgálata Gyűjtőtálca vizsgálata	Elosztórendszer javítása Átmenetileg nagyobb recirkuláció alkalmazása
Töltet „tócsásodása"	Töltet eltömődése, vastag hártyaképződés	Gyűjtőtálca, gyűjtővályú ellenőrzése	Recirkuláció növelése
Nagyfokú hártyaleválás	Nem egyenletes a töltet nedvesedése pH savas vagy lúgos irányba történő eltolódása	Vízelosztó rendszer ellenőrzése pH-mérés (papírral)	Elosztórendszer javítása Az érkező szennyvíz pH-beállítása
Tisztítási hatásfok csökkenése	Terhelés növekedése Toxikus anyag jelenléte az érkező szennyvízben Kedvezőtlen oxigénellátás	Nyers szennyvízmennyiség ellenőrzése Az elfolyás oldott oxigén koncentrációjának mérése	Több csepegtetőtest esetén egyenletes szennyvízelosztás, recirkuláció növelése
A tisztított szennyvízben fekete színű, nehezen ülepedő hártyafoszlányok megjelenése	Túlzott mértékű hártyaképződés, egyes helyeken berothadás	Vizuális megfigyelés Észlelhető szagemisszió Oldott oxigén mérés az elfolyásban	Recirkuláció növelése A terhelés csökkentése és a recirkuláció növelése
Bedolgozás időszakában gyenge hártyaképződés	A töltet anyaga nem megfelelő A hidraulikus terhelés túlzott mértékű A szennyvíz toxikus anyagot tartalmaz	Be- és elfolyó szennyvíz minősége alapján hatásfokvizsgálat Toxicitásvizsgálat	Kalciumsó adagolása Bedolgozás során a fölösiszap recirkuláltatása

11.5. IRODALOM

Aryan, A. F., Johansson, S. H. (1987): A Comparison of Trickling Filter Media. (In: *J. WPCF*, Vol. 59, Harrison, J. R., Daigger, G. T.) Discussion. J. WPCF. Vol. 59. Nr. 10.

Bristow, L., Kerri, K. D. (1989): Trickling Filters. In: Operation of Wastewater Treatment Plants. Vol. 1. *U.S. Environmental Protection Agency*, Office of Water Programs.

Culp, G. L., Heim, N. F. (1978): Field Manual for Performance Evaluation and Troubleshooting at Municipal Wastewater Treatment Facilities. January. *EPA*-430/9-78-001.

Dulovics, D. (1971): Biologické filtre s naplňouz z plastických hmot. Névé smery v čisteni mestských opdadových vód, a odstraňovani kalov a odpadkov. Pezinok.
Dulovics D. (1973): A műanyag töltésű biológiai csepegtetőtest alkalmazásának technológiai lehetőségei. *Hidrológiai Közlöny*, 11.
Dulovics D. (1993): Műanyag csepegtetőtest töltet megrogyás okainak vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny*.
Evans, F. L. (1985): Consideration of First-Stage Organic Overloading in Rotating Biological Contactor Design. *J. WPCF*, Vol. 57, No. 11, November.
Harrison, J. R., Daigger, G. T., Filbert, J. W. (1983): A Comparison of Combined Trickling Filter and Activated Sludge Processes. *Internal Project Report*, CH2M HILL.
Harrison, J. R., Daigger, G. T., Filbert, J. W. (1984): A Survey of Combined Trickling Filter and Activated Sludge Processes. *J. WPCF*, Vol. 56, No. 10, October.
Harrison, J. R., Daigger, G. T. (1987): A Comparison of Trickling Filter Media. *J. WPCF*, Vol. 59, No. 7, July.
Hegg, B. A., Schultz, J. R., Rakness, K. L. (1984): Improving POTW Performance Using the Composite Correction Program Approach. *EPA*-625/6-84-008. Environmental Projection Agency, Cincinnati, OH.
Matasci, R. N., Kaempfer, C., Heidman, J. A. (1986): Full-Scale Studies of the Trickling Filter/Solids Contact Process. *J. WPCF*, 58.
Miorin, A. F. et al. (1977): Wastewater Treatment Plant Design. *WPCF Manual of Practice*, No. 8. *ASCE Manual on Engineering Practice*, No. 36.
Öllős G. (1991): *Szennyvíztisztítás*. AQUA Kiadó, Budapest.
Parker, D. S., Merrill, D. T. (1984): Effect of Plastic Media Configuration on Trickling Filter Performance, *J. WPCF*, 56.
Rakness, K. L., Schultz, J. R., Hegg, B. A., Cranor, J. C., Nisbet, R. A. (1982): Full Scale Evaluation of Activated Bio-Filter Wastewater Treatment Process. *EPA*-600/2-82-057, EPA, Cincinnati, OH.
Richards, T., Reinhart, D. (1986): Evaluation of Plastic Media in Trickling Filters. *J. WPCF*, Vol. 58, 7, July.
Szilágyi M. (1993): Személyes közlés.
Tanaka, K., Oshima, A., Rittmann, B. (1987): Performance Evaluation of Rotating Biological Contactor Process. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 19, Rio.
Wick, R., Kerri, K. D. (1989): Rotating Biological Contactors. In Kerri, K. D.: *Operation of Wastewater Treatment Plants*. Vol. 1. A Field Study Training Program, U.S. Environmental Protection Agency.

11.6. KÉRDÉSEK

1. Milyen csepegtetőtestes eljárások léteznek? (11.1. fejezet.)
2. Melyek a csepegtetőtestes biológiai szennyvíztisztítás üzemelési feltételei? (11.1. fejezet.)
3. A kőtöltetű csepegtetőtest szerkezeti felépítése és működési elve. (11.2. fejezet, *76/a* és *77. ábra*.)
4. A csepegtetőtestek osztályozása. (11.2.1. fejezet; *23. táblázat*.)
5. A töltőtest fajtájának hatása a csepegtetőtest hatásfokára. (11.2.2. fejezet.)
6. A recirkuláció alternatívái egylépcsős és kétlépcsős kőtöltetű csepegtetőtestes rendszerekben. (11.2.5. fejezet; *81/a–n ábra*.)
7. A kőtöltetű csepegtetőtest üzembe helyezése. (11.2.6.1. és 11.2.6.2. fejezet.)
8. A kőtöltetű csepegtetőtest napi normál üzemeltetése. (11.2.6.3. fejezet.)
9. Melyek a kőtöltetű csepegtetőtestes rendszerek abnormális üzemelési állapotai? (11.2.6.4. fejezet.)
10. A kőtöltetű csepegtetőtest leállítása. (11.2.6.5. fejezet.)

11. Milyen mintákat és milyen gyakran kell venni, ill. analizálni kőtöltetű csepegtetőtestes rendszerben? *(24. táblázat.)*
12. Miként kell megítélni az üzem módosításának a hatását a tisztítórendszer egyensúlyának alakulása szempontjából? (11.2.8. fejezet.)
13. Milyen a csepegtetőtest „válasza" az üzem változására vagy változtatására? (11.2.8. fejezet.)
14. Mi jellemző az egylépcsős kőtöltetű csepegtetőtestes rendszerekre? *(81/a–h ábra.)*
15. Mi a jellemző a kétlépcsős, kőtöltetű csepegtetőtestes rendszerekre? *(81/i–m ábra.)*
16. Milyen biológiai kombinációs rendszerek léteznek, ezek célja? (11.2.11. fejezet.)
17. A kőtöltetű csepegtetőtest és a kontakt eleveniszapos rendszer lehetséges és célszerű kombinációi. (11.2.11. fejezet; *83/a–c ábra.*)
18. Mi a célja a műanyag töltetű csepegtetőtest és az eleveniszapos biológiai tisztítás kombinálásának? (11.2.11. fejezet; *84. ábra.*)
19. Miként lehet a kőtöltetű csepegtetőtest felszínén keletkezett tócsásodást megszüntetni? (11.2.12. fejezet; *25. táblázat.*)
20. Mi a teendő, ha a kőtöltetű csepegtetőtest hatásfoka leromlik? (11.2.12. fejezet; *25. táblázat.*)
21. Miként lehet a csepegtetőtestre jutó szennyvíz pH-ját semlegesíteni? (11.2.12. fejezet; *25. táblázat.*)
22. Mi okozhatja a kőtöltetű csepegtetőtest szagemisszióját és miként lehet azt kiküszöbölni, ill. megakadályozni? (11.2.12. fejezet; *25. táblázat.*)
23. Mi okozhatja a kőtöltetű csepegtetőtest felszínén a szennyvizet elosztó forgócsövek eltömődését? (11.2.12. fejezet; *25. táblázat.*)
24. A forgó merülőtárcsás biológiai szennyvíztisztítás elve. (11.3.1. fejezet.)
25. Forgó merülőtárcsás berendezés, működési elve. (11.3.1. fejezet.)
26. A forgó merülőtárcsás rendszerek üzemeltetése. (11.3.1., 11.3.2., 11.3.3. fejezet.)
27. Mit kell tenni, ha a forgó merülőtárcsás csepegtetőtest első lépcsőjének szervesanyag-terhelése túl nagy mértékű? (11.3.4. fejezet.)
28. Milyen szennyvízbevezetési alternatívák léteznek merülőtárcsás rendszer esetében? (11.3.5. fejezet; *94/a–d ábra.*)
29. Milyen okai lehetnek a forgó merülőtárcsák felületén kifejlődött különböző színű biológiai hártyáknak? (11.3.6. fejezet.)
30. Mit kell tenni, ha a merülőtárcsás rendszer hatásfoka csökken? (11.3.7. fejezet; *26. táblázat.*)
31. Milyen okai lehetnek a biológiai hártya tárcsafelületéről való túlzott mértékű lemosódásnak? (11.3.7. fejezet; *26. táblázat.*)
32. Mit jelent, ha a tárcsafelületen képződött biológiai hártya színe barnás-szürkés, fehér vagy fekete? (11.3.7. fejezet; *26. táblázat.*)
33. Mi okozza a forgó merülőtárcsás rendszer szagemisszióját? (11.3.7. fejezet; *26. táblázat.*)
33. Mi a célja a műanyag töltetű csepegtetőtestes tisztításnak? (11.3. fejezet.)
34. Milyen fajta műanyag töltetű csepegtetőtestek léteznek? (11.4. fejezet; *22. táblázat; 23. táblázat.*)
35. A műanyag töltetű rendszerekben lehet-e eltömődés, ha igen, melyik típusú rendszerekben? (11.4.1. fejezet.)

12. ELEVENISZAPOS SZENNYVÍZTISZTÍTÁS

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás helye a biológiai szennyvíztisztító telepen az *1. ábrán* értelmezhető. A tisztítótelepre érkező szennyvíz az előtisztítás közben a durvább lebegőanyagoktól megszabadul. Az előülepítő pedig a már finomabb szemcséjű, ülepíthető vagy flotálható lebegőanyagokat távolítja el.

Az eleveniszapos eljárás az előülepített szennyvíz biológiai tisztítására hivatott.

Az eleveniszapos szennyvíztisztító rendszer üzemeltetése – amint az már a 9. és 10. fejezetből is jól tükröződik – bonyolult, *nagy figyelmet igényel*. Ezért fontos érdek fűződik ahhoz, hogy az üzemeltető az eleveniszapos tisztítás folyamatait, az üzemeltetést befolyásoló valamennyi tényezőt, azok egymással való kapcsolatait ismerje és a szabályozás stratégiájával tisztában legyen. Hézagos ismeretek birtokában eredményes, megbízható, megfelelő szintű üzemeltetés nem érhető el. Ezt a tényt a következő fejezetek ékesen bizonyítják.

12.1. DEFINÍCIÓK

1. Az *eleveniszap* a mikroorganizmusok szuszpenziója. Az iszaprészecskék (mikroorganizmusok) tömege az előülepített szennyvíz eleveniszapos (levegőztető) medencébe kerülése után, oldott oxigén jelenlétében a mikroorganizmusok szaporodása révén keletkezik. Az *„eleven"* kifejezés abból a tényből származik, hogy a részecskék zöme szervesanyag-lebontásra képes, aktív baktérium, protozoa és gomba. Az eleveniszap az előülepítőiszaptól tehát abban különbözik, hogy az eleveniszap-részecskék nagy hányada olyan élő szervezet, amely az eleveniszapos medencébe vezetett szennyvíz tápanyagait hasznosítja.

2. Az *eleveniszapos eljárás* aerob biológiai folyamat, amely a szennyvízben lévő szerves anyagok lebontását felgyorsítja. A metabolikus reakciók azáltal, hogy az oldott oxigén igényű szerves anyagok eltávolítódnak, megfelelő tisztított szennyvízminőséget eredményeznek. Az eleveniszapos medencében lévő szennyvízhez eleveniszapot (recirkulációs iszapot) adagolva, *keverék szennyvíz* keletkezik. A keverék szennyvíz tehát az eleveniszapos medencében van. A keverék szennyvíz az eleveniszapos medencét elhagyva, az utóülepítőbe távozik.

3. Az MLSS – a nemzetközi jelölésrendszernek megfelelően – az eleveniszapos medencebeli *keverék szennyvíz szuszpendált lebegőanyag-tartalma* (mixed liquor suspended solids).

Az MLSS a szennyvíz

– szerves- (izzítható, illékony) és
– szervetlen- (inert, le nem bontható)

anyag-tartalmát foglalja magában.

4. Az MLVSS – a nemzetközi jelölésrendszernek megfelelően – az eleveniszapos medencében lévő *keverék szennyvíz szerves (illékony), szuszpendált lebegőanyag-tartalma* (mixed liquor volatile suspended solids). A szerves hányadát elsősorban a mikroorganizmusok képviselik, amelyek a szennyvízzel és a recirkulációval az eleveniszapos medencébe érkező szerves anyagok lebontására képesek. Az MLVSS meghatározásával a mikroorganizmusok mennyiségének szabatosabb figyelembevétele lehetséges. Az MLVSS azért is fontos szabályozó paraméter, mert csak a mikroorganizmusokat és a szerves anyagokat foglalja magában, a szennyvíz illékony szerves anyagait, amelyek a száraz anyag 550 °C-on való égetésekor a szennyvízből eltávoznak.

Az MLVSS a következő összefüggésből számítható:

$$\text{MLVSS, kg} = \frac{\text{Előülepített szennyvíz kg KOI/d értéke}}{\text{Terhelési tényező, kg KOI/d} \cdot \text{kg MLVSS}} . \qquad (14)$$

Az irányértékek az iszapkor szerint osztályozott (Öllős: Szennyvíztisztítás, AQUA Kiadó, Budapest, 1991, 563. oldal, 3.1. fejezet) tisztítótelepekre nézve a következők:

Nagy terhelésű eleveniszapos rendszer:

KOI: > 1 kg KOI/d · 1 kg levegőztetett MLVSS;
BOI: > 0,25 kg BOI_5/d · 0,5 kg levegőztetett MLVSS.

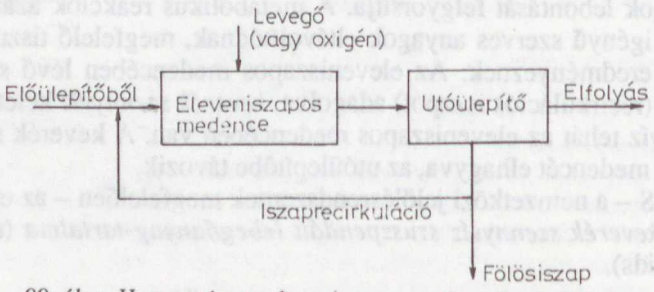
Hagyományos eleveniszapos rendszer:

KOI: 0,25–0,50 kg KOI/d · 0,5 kg levegőztetett MLVSS;
BOI: 0,125–0,25 kg BOI_5/d · 0,5 kg levegőztetett MLVSS.

Huzamos idejű levegőztető rendszer:

KOI: < 0,1 kg KOI/d · 0,5 kg levegőztetett MLVSS;
BOI: < 0,05 kg BOI_5/d · 0,5 kg levegőztetett MLVSS.

5. A *hagyományos eleveniszapos rendszer*ben *(99. ábra)* a szennyvíz az eleveniszapos medencébe jut, ahol a már előzetesen képződött mikrobiológiai pelyhek az érkező szennyvíz szervesanyag-komponenseivel *kontaktusba kerülnek*. A szerves anyag az élő szervezetek számára



99. ábra. Hagyományos eleveniszapos rendszer üzemelési elve

– szén- és
– energia-

forrásul szolgál; sejtanyaggá alakul át és végtermékké (elsősorban CO_2 és H_2O) oxidálódik.

6. A *mikroorganizmusok* általában 70–90% szerves és 10–30% szervetlen anyagból épülnek fel. A sejt felépítése

– a szennyvíz anyagaitól és
– a szervezetek speciális sajátosságaitól függ.

Az eleveniszap *szerves sejthányada* általában a következő kémiai képlettel fejezhető ki: $C_5H_7O_2NP_{0,2}$. Az eleveniszap *szervetlen sejthányadát* átlagban 5% P (mint P_2O_5), 6% K (mint K_2O), 11% N (mint N_2O),8% Mg (mint MgO), 9% Ca (mint CaO), 15% S (mint SO_3) és 1% Fe (mint Fe_2O_3) alkotja (Okun, 1949; Stewart, 1964). *Az MLSS-koncentráció a sejtek eme szervetlen komponenseit is tartalmazza.*

7. A mikroorganizmusok tömege, a tápanyag és a szennyvíz oldott oxigén koncentrációja között állandó egyensúly legyen. Az eleveniszapos medence szabályozásához a kritikus tényező az eleveniszapos medencére vonatkoztatott *tápanyag (T)/mikroorganizmus (M) arány*, T/M.

Az üzemelőnek elegendő mikroorganizmust kell az eleveniszapos medencében tartania avégből, hogy a szennyvízzel érkező szerves anyagokat (tápanyagokat) felhasználhassa. Az eleveniszapos eljárás az ülepített eleveniszap utóülepítőből való eltávolítását – amilyen gyorsan csak lehet – megköveteli. A mikroorganizmusok egy része *recirkulációs iszapként* az eleveniszapos medencébe kerül vissza a folyamatosan érkező tápanyag hasznosítása céljából, másik része *fölösiszapként* a rendszerből eltávolításra kerül *(99. ábra)*.

A T/M arány az eleveniszapos medencébe jutó napi tápanyag figyelembevételén alapul. Az arány tulajdonképpen az eleveniszapos medencében lévő baktériumok számára biztosított tápanyag mennyiségét fejezi ki. A tápanyag, *T, célszerűen* az eleveniszapos medencébe jutó szennyvíz KOI-koncentrációja segítségével fejezhető ki. *A KOI-paraméter használata a BOI-paraméter helyett azért ajánlott, mert meghatározása csak négy órát igényel. Így a tisztítási folyamat módosítása* – amennyiben szükséges – *azelőtt megtörténhet, mielőtt az egyensúly felborulna.*

A tápanyag/mikroorganizmus-terhelés eleveniszapos rendszerre a következőképpen számítható:

a) Tételezzünk fel 0,25 kg KOI/d · 0,50 kg MLVSS T/M arányt.
b) Igényelt információ:
   – az előülepített szennyvíz átlagos KOI-koncentrációja és
   – az átlagos napi szennyvízhozam.
c) Az eleveniszapos medence terhelése = előülepített szennyvíz KOI · napi szennyvízhozam.

Ezt követően az MLVSS, kg, terhelés a (14) egyenlet alapján meghatározható.

Ha a szennyvíztisztító telep az MLVSS alapján üzemeltetett, a tisztítási folyamat egyensúlyának felborulása észlelhető és megfelelő üzemmódosítás hajtható végre.

A T/M arányt a BOI_5 alapján számítva:

$$\frac{T}{M} = \frac{\text{kg BOI}_5/\text{d}}{\text{kg MLVSS}} = \frac{\text{Szennyvízhozam, l/d} \cdot \text{BOI}_5\ \text{mg/l}}{\text{Medencetérfogat, l} \cdot \text{MLVSS mg/l}},$$

vagy

$$\frac{T}{M} = \frac{\text{BOI}_5, \text{kg/d}}{\text{MLVSS, kg}}.$$

8. Az *oxidáció* az oxigén adása, hidrogén elvonása vagy az elektronok elvonása valamely elemből vagy vegyületből.

9. A *stabilizálás* valamely szerves anyag olyan mértékű lebontását jelenti, hogy a szennyvíztisztító telepet elhagyva, állapota és további lebontódása szagemissziót és káros környezeti hatást már nem okoz.

10. A *mikroorganizmusok* nagyon kicsi élő szervezetek, amelyek zöme csak mikroszkóppal észlelhető. A mikroorganizmusok egy része a szennyvíz szerves anyagait tápanyagként hasznosítja, ezáltal a szennyező anyagok zömét eltávolítja, ill. átalakítja. A mikroorganizmusok (különösen a baktériumok és a gombák) természetüknél fogva érdekeltek a szerves anyagok lebontásában. Szívesen teszik ezt, mert az élettelen szerves anyagokat képesek jól hasznosítani. A pehelyben lévő mikroorganizmusok az eleveniszapos medencébe vezetett szennyvíz szerves anyagainak nagyobbik hányadát azonban közvetlenül nem képesek hasznosítani. Általában csak az *oldott* anyagok hatolhatnak át a sejtfalaikon. Egyéb szerves vegyületek méreteit először – a sejtfalon kívül, a sejtenzimek segítségével – csökkenteni kell, ami időbe kerül. A szennyvízben (folyadékfázisban) lévő vegyületek eltávolítása gyorsabb a baktériumok által történő hasznosításnál. *A szorpciós folyamat szerepe azért fontos,* mert a szerves vegyületek zömének először a *pelyhekbe kell beépülniük. Ezt követően kerülhet sor a vegyület méreteinek csökkentésére és a sejtekhez kötődésre.*

A szennyvíztisztító telepeken a *nagyszámú* szerves és szervetlen vegyület *sokfajta* mikroorganizmussal kerül kapcsolatba. Némely vegyület nem asszimiláltatható mindenfajta mikroorganizmussal. Bizonyos mikroorganizmusok „mindenevők", mások specialisták. *Ezért a szennyvíztisztító telepre vezetett szennyvíz minőségének ismerete rendkívül fontos az eleveniszap-populáció szempontjából.* Például a tejüzemi szennyvizek eleveniszapos tisztításához jóval differenciáltabb fajtájú populáció szükséges, mint a házi szennyvizek tisztításához.

A különböző fajta mikroorganizmusok között a felhasználható tápanyagokért *éles verseny* folyik. *Ezért a pelyhek felépítése ezen verseny eredményétől alapvetően függ.* A különböző fajta mikroorganizmusok szaporodási sebessége döntően befolyásolja a mikroorganizmus-fajták pelyheken belüli arányát. A különböző fajták szaporodási sebessége nagymértékben eltérő. *A sejtosztódás sebességét a környezeti tényezők* (pH, toxikus anyagok, P- és nitrogéntartalom, mikroelemek stb.) *nagymértékben befolyásolják.*

Az eleveniszapos szennyvíztisztító telepen az iszap tömege bizonyos szinten tartható a *fölösiszap* elvételével. Ez a tisztítási folyamat egyensúlyát zavarja, ezért a nagy szaporodási sebességgel rendelkező mikroorganizmusok a kis szaporodási sebességű mikroorganizmusokkal szemben előnyben vannak. Mindenfajta mikroorganizmus, amelyek osztódási ideje az iszapkornál hosszabb, a fölösiszappal távo-

zik a rendszerből. A nagy terhelésű tisztítórendszerek eleveniszap-pelyheiben a mikroorganizmus-fajta sokfélesége kisebb, mint például az oxidációs árkokban. *Ezért a nagy terhelésű telepeken bizonyos vegyületek nem bonthatók le teljesen, mivel egyes lebontó szervezetfajták eleve hiányoznak.* Például: a nitrifikáló baktériumok, amelyek az ammóniát oxidálnák – ha az iszapkor 3–5 napnál rövidebb –, nem kellő számban vannak jelen.

A mikroorganizmusokkal kapcsolatos eme megállapítások az üzemeltető számára fontosak, hiszen az *eleveniszapos tisztítótelepek hatásfoka, a tisztítási folyamatok, a folyamatok szabályozása megfelelő analitikai, biológiai, biokémiai ismeretek nélkül nem lehetséges.*

11. *Aerob baktériumok* csak oxigént tartalmazó környezetben képesek élni. Az oxigén a respirációjukat (légzésüket) segíti. Az oxigén forrása lehet atmoszferikus oxigén vagy a szennyvízben lévő oldott oxigén. A kémiailag kötött oxigén, mint amit a vízmolekula (H_2O) tartalmaz, a respirációhoz nem használható fel.

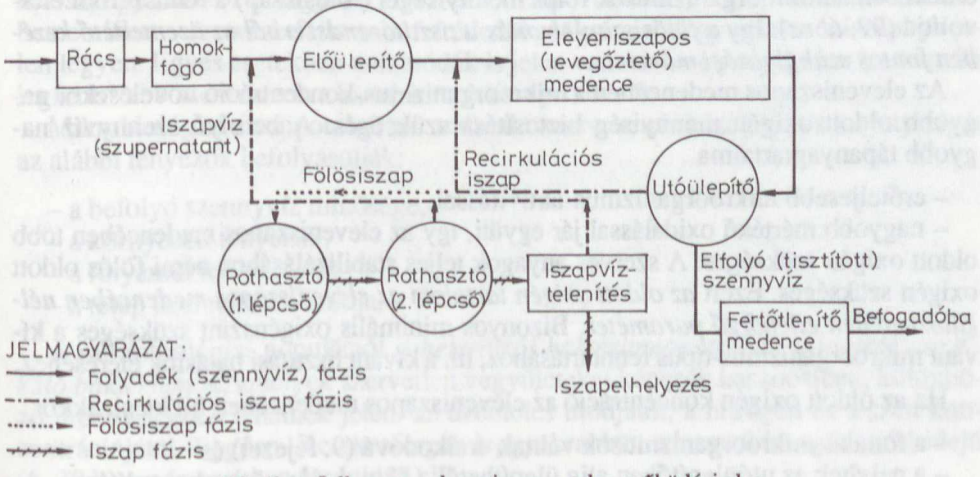
12. A *fakultatív baktériumok* vagy molekuláris (oldott) oxigént, vagy tápanyagokban lévő oxigént (mint a szulfát- vagy a nitrát-ionok) hasznosítanak. Ez azt jelenti, hogy a fakultatív baktériumok mind aerob, mind anaerob környezetben képesek élni.

12.2. AZ ELEVENISZAPOS TISZTÍTÁSI FOLYAMAT

A biológiai (második) szennyvíztisztítási fokozat eleveniszapos változatának célja

– a szerves anyagok *oxidációja* és

– az előtisztítás után a még szennyvízben maradt oldott anyagok, finom szemcséjű szuszpendált anyagok és a keletkezett eleveiszap *eltávolítása*. Az eleveniszapos szennyvíztisztító telep ennek a feladatnak megfelelően épül fel, ill. működik *(100. ábra)*. Az eleveniszapos medencében az oxidáció során az oldott és a finom szemcséjű szuszpendált szerves lebegőanyagokból képződött stabilizált termékek, a szén-dioxid, víz, szulfát- és nitrogénvegyületek. A keletkezett élő és a közben el-



100. ábra. Jellegzetes eleveniszapos telep működési elve

halt sejtanyag, valamint az eleveniszapos medencéből eltávozott, még a szennyvízben maradt kis mennyiségű durva, ülepíthető szuszpendált anyagok az utóülepítőben szeparálhatók. Az ülepített élő szervezetek zöme rövid időn belül, mint eleveniszap, a recirkuláció révén az eleveniszapos medencébe kerül vissza. Az utóülepített szennyvíz alkalmanként klóros fertőtlenítésre kerül, majd a befogadóba jut.

A nagy terhelésű eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek fő célja az oldott és szuszpendált anyagok átalakítása *ülepíthető szilárd anyagokká (élő szervezetekké).* A *kis terhelésű eleveniszapos rendszerek* fő célja az oxidáció.

Az oxidáció kémiai vagy biológiai folyamatok eredménye lehet.

Az eleveniszapos medencébe bejutó előülepített szennyvíz a már benn lévő eleveniszappal keveredik, így a medencében

– iszapkeverék,
– hordozófolyadék (szennyvíz) és
– a szennyvízzel érkező (az előülepítőn átjutó) lebegőanyagok vannak jelen.

A recirkulációs iszap sokfajta élő szervezetet tartalmaz, amelyek akkor képződtek, amikor a szennyvíz az eleveniszapos medencében *előzetesen* kontaktusban volt velük. Ezek a szervezetek a „munkások" az eleveniszapos medencében.

Az *eleveniszap* olyan *pelyhes szerkezeteket tartalmaz,* amelyek nagyon sok, tápanyagként nem hasznosítható anyagot is magukban foglalnak.

A mikroorganizmusok egy része hosszú időt igényel a szennyvízben rendelkezésre álló tápanyag hasznosításához, adott tápanyag-koncentráció esetében. Sok mikroorganizmus versenyben van egymással a tápanyag felhasználása közben avégből, hogy a hasznosítás időtartamát rövidítsék és a stabilizált tápanyaghányadot növelhessék. *A tápanyag/mikroorganizmus arány tehát elsődleges szabályozó az eleveniszapos tisztításban.*

A szervezetek koncentrációja a tápanyagterhelés és az eleveniszapos medencében eltöltött időtartam (iszapkor) növelésekor fokozódó mértékben emelkedik. Az üzemeltető az optimális tisztítás elérésekor a további hatékony tisztítás fenntartása érdekében a mikroorganizmusok fölös mennyiségét (fölösiszap) a rendszerből eltávolítja *(99. ábra).* Így a *fölösiszap-elvonás a tisztítórendszerből az üzemeltető kezében fontos szabályozási művelet.*

Az eleveniszapos medencében a mikroorganizmus-koncentráció növelésekor nagyobb oldott oxigén mennyiség biztosítása szükséges. A befolyó szennyvíz nagyobb tápanyagtartalma

– erőteljesebb mikroorganizmus-aktivitással,
– nagyobb mértékű oxidálással jár együtt, így az eleveniszapos medencében több oldott oxigén szükséges. A szerves anyagok teljes stabilizálásához némi fölös oldott oxigén szükséges. Ezért *az oldott oxigén tartalom az eleveniszapos medencében nélkülözhetetlen ellenőrző paraméter.* Bizonyos minimális oxigénszint szükséges a kívánt mikroorganizmus-típus fenntartásához, ill. a kívánt tisztítási hatásfok eléréséhez.

Ha az oldott oxigén koncentráció az eleveniszapos medencében túl kicsi, akkor

– a fonalas mikroorganizmusok válnak uralkodóvá (9. fejezet) és
– a pelyhek az utóülepítőben alig ülepíthetők (*38/a–b ábra* összehasonlítása).

Ha az oldott oxigén koncentráció túl nagy, pin-point-pelyhek képződnek *(42. ábra)*, amelyek az utóülepítőben nem ülepednek. *Ezért a megfelelő oldott oxigén szintet kell fenntartani, amely mellett az eleveniszap-pelyhek jól ülepszenek és a (telepi) elfolyás tiszta.*

Az elégtelen mennyiségű oldott oxigén az aerob mikroorganizmusok aktivitását lassítja, helyükbe a fakultatív mikroorganizmusok lépnek, amelyek

– kevésbé hatékonyan tisztítanak, és
– környezetükben elsősorban kellemetlen szagemissziót keltő közbenső (lebontási és a tökéletlen reakcióikból eredő) termékeket juttatnak.

A pelyhek felületének környezetében élő aerob baktériumok az oldott oxigént a mozgó szennyvízfázisból közvetlenül veszik fel. A pelyhek középső terében lévő baktériumok viszont csak a szennyvízfázisból a pehely belső terébe diffundáló oldott oxigénhez képesek hozzájutni. A nagyobb pelyhek belsejében az aerob baktériumok a diffúzió révén gyakran nem jutnak elegendő mennyiségű oldott oxigénhez, így az oldott oxigénben szegény térben anaerob állapot keletkezik.

Az eleveniszapos medencében és az utóülepítőben kialakuló eleveniszap-koncentrációkat az üzemeltetőnek *folyamatszabályozási célból* kell meghatároznia. *A szilárd lebegőanyag-pelyhek folyamatosan romló állapotúak, amíg az utóülepítőben vannak.* Az utóülepítőben kialakuló lebegő iszapfelhő és az eleveniszapos medencebeli iszapkoncentrációk ismerete a szennyvíztisztításhoz elengedhetetlen. A koncentrációk és eloszlásuk gyors meghatározása a centrifugás vizsgálatok alapján lehetséges. A centrifugás vizsgálatokkal párhuzamosan azonban – összehasonlítás céljából – *pontos szilárdanyag-meghatározások szükségesek, mielőtt az üzemelés módját bármiként változtatnánk.*

Az ülepedési vizsgálatokkal a lebegőanyagok utóülepítőben történő ülepedésének mértéke és térfogata tisztázható.

A jó eleveniszappehely-tömeg *(42/a ábra)* a szervezetek (baktériumok, gombák, protozoák, férgek, kerekesférgek) millióiból épül fel (10^{12}–10^{18}/100 ml).

Az eleveniszapos környezet vízi környezet. A folyamatos agitálás (levegőztetés) és az iszaprecirkuláció a környezetet sokfajta mikroorganizmus számára teszi alkalmassá, *ugyanakkor a nagyobb szervezetek szaporodását gátolja.* Minden – előzőkben említett – szervezetfajta nem feltétlenül szükséges, hogy az eleveniszapban jelen legyen. Egyes esetekben nematódák is jelen vannak. A tápanyagokat hasznosító legfontosabb szervezetek a baktériumok és a protozoák.

Mikrobiológiai szempontból az uralkodó szervezetek jelenlétét és mennyiségét az alábbi tényezők befolyásolják:

– a befolyó szennyvíz minősége,
– a környezeti tényezők,
– a folyamat tervezése és
– a telep üzemeltetési módja.

A mikrobiológiai populációt a *heterotróf baktériumok* uralják. *Autotróf nitrifikáló baktériumok,* amelyek szervetlen vegyületeket képesek hasznosítani, különböző mennyiségben lehetnek jelen, az üzemelés módjától, a nitrogén és a szén koncentrációjától függően. Kerekesférgek leggyakrabban a hosszú levegőztetési idejű (6–30 h) rendszerekben fordulnak elő.

A baktériumok zöme az eleveniszapban *fakultatív*. Az ilyen szervezetek általában 24 h időtartamú anaerob miliőt képesek átvészelni anélkül, hogy aktivitásuk jelentősen csökkenne, de az iszap ülepedése kedvezőtlenné válhat.

A *gombák* eleveniszapban való elszaporodását valószínűleg az alacsony pH-, kis nitrogénkoncentráció, alacsony oldott oxigén szint és/vagy a nagy szénhidráttartalom okozhatja. Jelenlétük kevésbé hasznos, mert sokféle gombafonalakat alkot, ami az utóülepítőben az iszap ülepedését gátolja (8. fejezet).

A protozoák zöme szigorúan aerob szervezet, ezért az aerob környezet kitűnő indikátorai. Egyes protozoák azonban 12 h időtartamú anaerob miliőt is károsodás nélkül túlélnek. *A protozoák a baktériumoknál jóval érzékenyebbek a toxikus állapotokra, ezért jelenlétük vagy mozgásképességük hiánya toxicitásproblémát indikálhat. A jól fejlett protozoák nagy tömege a keverék szennyvízben jól üzemeltetett és stabil eleveniszapot jelez.* Egyes fajaik a *nitrifikáció mértékét is indikálják.*

A kerekesférgek szigorúan aerob szervezetek és csak a nagyon stabil eleveniszapos rendszerekben vannak jelen *(42/a ábra)*, hosszú iszapkor esetében. A protozoákhoz hasonlóan, *a kerekesférgek a baktériumoknál jóval érzékenyebbek a toxikus állapotokra.*

A pelyhek felülete szabálytalan, összetett, így a szennyvíz szerves anyagai

– a mechanikai folyamatok,
– az abszorpció,
– az adszorpció és
– az adhézió

révén könnyebben beépülnek a pelyhekbe. A tápanyagokon túlmenően sokféle anyag is pehelyalkotóvá válik, ami a telepi elfolyás minőségét kedvezően befolyásolja. Sokféle szervetlen anyag (pl. homok, finom szemcséjű anyagok) is beépül a pelyhekbe, növelve azok sűrűségét és ülepedőképességét.

Az eleveniszap-pelyhek képződését számos tényező befolyásolja:

– számos baktérium nyálkabevonatokat alakít ki. A nyálka, amely főleg polimer vegyületekből (többször önmagával vegyült molekulákból) épül fel, a sejteket összefogja;
– a baktériumok felületi töltése negatív, ami a pozitív töltésű ionok pelyhekhez kapcsolódását segíti;
– egyes baktériumok sejtjeik körül nagyon vékony fonalakat hoznak létre, amelyeket zömmel cellulóz vagy poliszaccharid alkot. Ez a fonalrendszer a sejtek csatlakozását és más baktériumok befogását segíti.

Az anyagok egy része átalakul és az atmoszférába jut gázok formájába (szén-dioxid vagy illékony gázok, amelyek az utóülepítőből kerülnek ki).

Az üzemeltető a folyamatokat befolyásoló tényezőket illetően tájékozott kell legyen; azokat *ismételten, program szerint ellenőriznie kell.*

A mikroorganizmusok lebontó tevékenységének folyamatos fenntartása érdekében megfelelő miliőt kell biztosítani. A savak, lúgok és egyéb toxikus anyagok a mikroorganizmusokat elpusztíthatják.

Változó szennyvízhozam
- tápanyag-túlterhelést,
- tápanyaghiányt és
- egyéb problémákat

okozhat, amelyek az eleveniszapos folyamatokat felboríthatják.

Az előzőkben számos paraméter meghatározásáról, a szükséges analízisekről volt szó. A szennyvíztisztító telepeken azonban az üzemeltető számára a *paramétertartományok* ismerete a lényeges, hiszen állandósult folyamatok az esetek zömében nem jellemzők. A paraméterértékek a szennyvízminőség ingadozása és a tisztítótelep egyedi üzemelési adottságai miatt általában egy *bizonyos tartományba* esnek. *A tartománynak olyannak kell lennie, ami a tisztítási követelményeket kielégíti.*

A hagyományos eleveniszapos rendszerre vonatkozó laboratóriumi analízisek jellemző paraméter-tartományait a *28. táblázat* tartalmazza.

28. táblázat. A hagyományos eleveniszapos rendszerre vonatkozó laboratóriumi analízis jellemző paraméter-tartományai

Vizsgálat (paraméter)	Hely	Szokásos tartomány
KOI	Befolyás	300 – 700 mg/l
	Előülepítő-elfolyás	200 – 400 mg/l
	Utóülepítő-elfolyás	30 – 70 mg/l
BOI_5	Befolyás	150 – 400 mg/l
	Előülepítő-elfolyás	100 – 280 mg/l
	Utóülepítő-elfolyás	10 – 20 mg/l
Szuszpendált szilárd anyagok (lebegőanyagok)	Befolyás	150 – 400 mg/l
	Előülepítő-elfolyás	60 – 160 mg/l
	Keverék szennyvíz (eleveniszapos medencében, MLSS)	1 000 – 4 500 mg/l
	Recirkulációs iszap	20 000 –10 000 mg/l
	Utóülepítő-elfolyás	1 – 20 mg/l
Oldott oxigén	Keverék szennyvíz (eleveniszapos medencében)	0,5– 4,0 mg/l
	Utóülepítő-elfolyás	2 – 6 mg/l
Maradék klór (30 min)	Telepi elfolyás	0,1– 2,0 mg/l
Coliform-csoport baktériumok	Utóülepítő-elfolyás (klórozott)	2 – 700/100 ml
Átlátszóság (Secchi-korong)	Utóülepítő-elfolyás	0,9– 2,4 m
Zavarosság (zavarosságmérő)	Utóülepítő-elfolyás	1 – 3 NTU
pH	Befolyás	6,8– 8,0
	Telepi elfolyás	6,9– 8,5

12.3. AZ ELEVENISZAPOS ELJÁRÁS ISZAPKOR SZERINTI OSZTÁLYOZÁSA

Az eleveniszapos rendszerek az *iszapkor* szerint három csoportba sorolhatók. Az iszapkort (d) a következő arány jellemzi:

$$\frac{\text{Levegőztetett szuszpendált szilárd anyag, kg}}{\text{Levegőztető medencébe vezetett szuszpendált szilárd anyag, kg/d}}$$

Az iszapkor a levegőztető (eleveniszapos) medencében lévő szuszpendált szilárd anyag (biomassza, eleveniszap) tartózkodási idejét képviseli. Az iszapkor azonban közelítő paraméter, mert az oldott szerves anyagok mennyiségét elhanyagolja.

Az iszapkor-paraméter használata *új eleveniszapos tisztítótelepeken ajánlott, mert könnyen értelmezhető és kezelhető.* A gyakorlott üzemeltető azonban ezt a paramétert, az oldott szerves anyagok elhanyagolása miatt már kevésbé fogadja el.

Kevés ipari szennyvizet is fogadó különböző típusú eleveniszapos rendszerek a következőképpen osztályozhatók.

1. *Nagy terhelésű rendszer.* A nagy terhelésű eleveniszapos rendszer keverék szennyvize szuszpendált szilárd anyagainak (MLSS) koncentrációja és térfogati terhelése nagy. A tápanyag/mikroorganizmus arány ez esetben a legnagyobb, 0,4–1,5 tartományba esik. Az ilyen nagy terhelésű rendszer *minden más eljáráshoz képest*

– gyengébb elfolyó szennyvízminőséget biztosít,
– üzemi egyensúlya könnyen felborul,
– szigorúbb szabályozást és
– gyakori üzemellenőrzést igényel.

2. *Hagyományos rendszer.* A hagyományos eleveniszapos eljárást jelenleg a legáltalánosabban alkalmazzák (l. *99. ábra*). A tápanyag/mikroorganizmus terhelés a nagy terhelésű rendszerénél kb. 50%-kal kisebb. Az iszapkor 3,5–7,0 d. Az eljárás jó minőségű elfolyó szennyvizet produkál és bizonyos mértékű, lökésszerű (tranziens) terhelést a tisztított szennyvíz minőségének csökkenése nélkül elvisel. A rendszer felépítése (l. *99. ábra*):

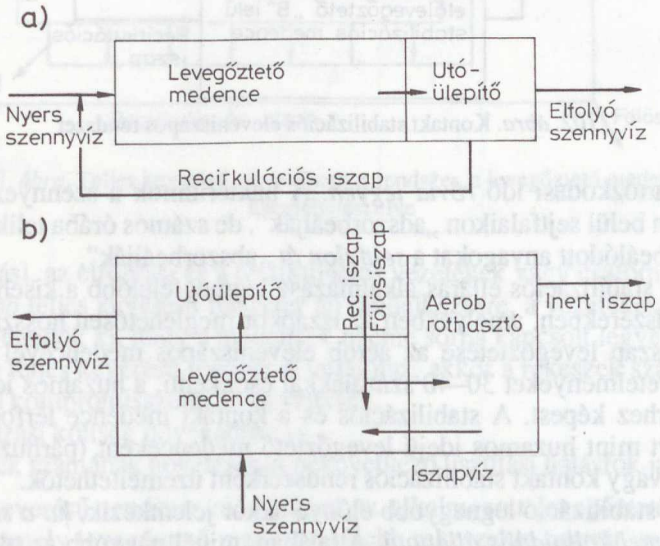
– előülepítő,
– eleveniszapos (levegőztető) medence,
– utóülepítő,
– recirkulációs iszap ág,
– fölösiszap ág.

3. *Huzamos idejű eleveniszapos rendszer.* A huzamos idejű levegőztető rendszerben a baktériumok az endogén respiráció fázisában dolgoznak, ami azt jelenti, hogy a baktériumok a csökkent respiráció- (légzés-) szakaszban (Öllős: Szennyvíztisztítás, 1991; 579. oldal, 338. ábra) *saját sejtjeiket is lebontják avégből, hogy oxigénhez juthassanak.* Ezt a helyzetet a kis tápanyag/mikroorganizmus arány idézi elő, vagyis a redszer kis szervesanyag-terhelésű. A rendszer további jellemzői:

– az eljárások közül a legstabilabb üzemű,
– az iszapkor általában 10–20 d,

– az elfolyó szennyvíz szuszpendált szilárdanyag-tartalma a hagyományos rendszerénél nagyobb,
– a rendszerből az előülepítő rendszerint hiányzik.

A huzamos idejű eleveniszapos rendszer általában egy nagy medence két vagy három medencére osztásával készül. A nagyobb medence a levegőztetést, a kisebb medence az ülepítést szolgálja *(101/a–b ábra)*.



101/a–b ábra. Huzamos idejű eleveniszapos rendszerek. *a:* kétrekeszes; *b:* háromrekeszes

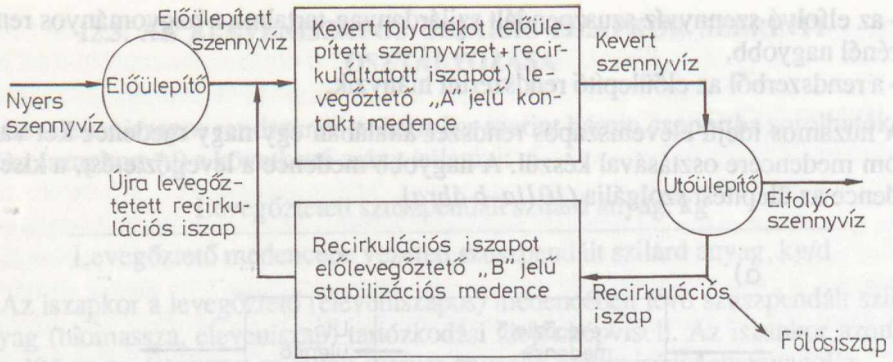
12.3.1. A HAGYOMÁNYOS ELEVENISZAPOS ELJÁRÁS MÓDOSÍTÁSAI

A hagyományos eleveniszapos eljárást a következő okok miatt módosítják:

– a tényleges terhelés a tervezetthez képest nagyobb,
– a szennyvíz hozama és a szennyező anyagok mennyiségei és arányai nem állandók,
– egyes esetekben a szennyvízhez tápanyagokat kell adagolni, hogy a telepre érkező szennyvíz tisztítási hatásfoka megfelelő lehessen.

A módosított eljárások a következők:

1. **Kontakt stabilizáció** a hagyományos rendszertől abban tér el, hogy a rendszerben két levegőztető medence létezik *(102. ábra)*. Az első medence a recirkuláltatott iszapot előlevegőzteti, legalább 3–6 órán keresztül. Az újralevegőztetett recirkulációs iszap az előülepített szennyvízzel keveredik és a keverék szennyvíz a második levegőztető medencében aerob tisztítás révén bontódik le, 0,5–1,0 órás levegőztetési időtartam alatt. A kontakt fázisban fontos, hogy a folyamat stabilitása ér-



102. ábra. Kontakt stabilizációs eleveniszapos rendszer

dekében a tartózkodási idő *rövid legyen.* A baktériumok a szennyező anyagokat 15–30 percen belül sejtfalaikon „adszorbeálják", de számos órába telik, amíg a *sejtfalon* adszorbeálódott anyagokat a *sejtfalon át* „abszorbeálják".

A kontakt stabilizációs eljárás alkalmazása legmegfelelőbb a kisebb szennyvízhozamú rendszerekben, amelyekben az iszapkor meglehetősen hosszú. Ezért a recirkulációs iszap levegőztetése az aerob eleveniszapos medencével szemben támasztott követelményeket 30–40 százalékkal csökkenti, a huzamos idejű levegőztető rendszerhez képest. A stabilizációs és a kontakt medence térfogata gyakran azonos. Ezért mint huzamos idejű levegőztető medenceként (párhuzamosan kapcsolva őket) vagy kontakt stabilizációs rendszerként üzemeltethetők.

A kontakt stabilizáció legnagyobb előnye akkor jelentkezik, *ha a szervesanyag-terhelés zömmel kolloidális állapotú.* Általában, minél nagyobb az oldott BOI-hányad, a szükséges kontaktidő annál hosszabb.

A *102.* és a *107/c ábrát* összehasonlítva, megállapítható, hogy az áramlás eloszlása kontakt stabilizációs rendszerben tulajdonképpen azonos a lépcsős táplálású eleveniszapos rendszerrel, ha az előülepített szennyvízzel *csak az utolsó medence táplált. Valamely meglévő, hagyományos eleveniszapos rendszer konktakt stabilizációs rendszerré alakítása a csúcshozamok időszakában a hatásfok-problémákat mérsékli.*

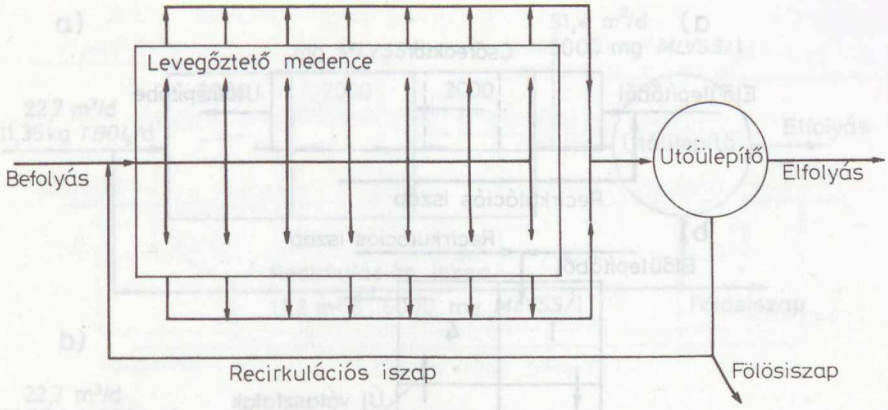
2. **Teljes keverésű rendszer** célja, hogy:

– a szervesanyag-terhelés,
– az oldott oxigén és
– a recirkulációs iszap

eloszlása a medence teljes terében egyenletes legyen *(103. ábra).* A rendszer hatékonysága a kontakt stabilizációs és a lépcsős levegőztető rendszerekénél némileg kisebb. A rendszer hátránya, hogy *rövidzárlatra érzékeny lehet.* Az MLSS-koncentráció 2000–5000 mg/l tartományban állítandó be.

A teljes keverésű eleveniszapos telep *(103. ábra)* üzemének rugalmassága korlátozott. A rugalmasság megteremthető

– az eleveniszapos medence rekeszekre tagolásával *(104/b ábra),* valamint



103. ábra. Teljes keverésű eleveniszapos rendszer, a levegőztető medence üzemeltetési elve

– a befolyási, az elfolyási és a recirkulációs vezetékek vagy csatornák módosításával. Ha *több* teljes keverésű rendszer áll rendelkezésre, a vezetékek vagy csatornák úgy alakítandók ki, hogy a medencék üzeme sorba kapcsolt legyen. Ha a rendszer *egyetlen* teljes keverésű medencét tartalmaz, akkor a rekeszek számának megválasztásánál kompromisszumra van szükség,

– a beruházási költség növekedése és

– a rekeszek számának növelésekor bekövetkező tisztítási hatásfok javulása miatt.

A teljes keverésű rendszer módosítása az alkalmazott levegőztetési módtól is függ. Ha valamely levegőztető medence kisebb rekeszekre osztott, *minden rekeszben* megfelelő mértékű levegőztetést kell biztosítani. Ez az igény különösen a csőáramlású rendszer esetében igaz, mert a rendszer elején a nagyobb szervesanyag-terhelés nagyobb oldott oxigén mennyiséget igényel.

Felszíni levegőztetés esetében, a rendszer csőáramlásúvá alakítása a levegőztetés módosítása miatt gazdaságtalan lehet. Ez esetben gazdaságosabb a levegőztető térfogat növelése.

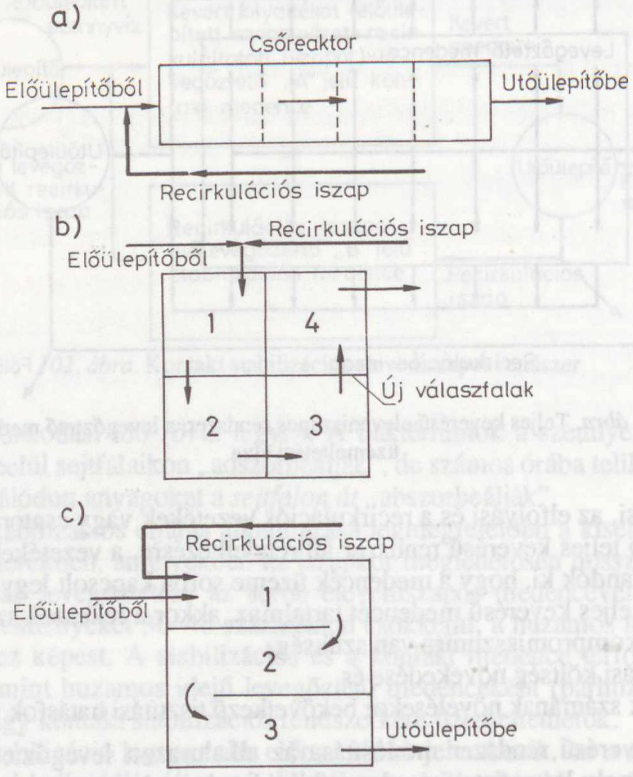
3. **Cső- és sorba kapcsolt áramlású rendszer.** A cső- és a sorba kapcsolt áramlású rendszerek együtt tárgyalhatók, mivel a csőáramlás úgy tekinthető, hogy végtelen számú, sorba kapcsolt kis medencéből tevődik össze. A csőáramlású rendszer (csőreaktor) jellemzője a nagy szervesanyag-terhelés (MLSS formában) a csőreaktor kezdeti részében. A terhelés áramlási irányban olyan mértékben csökken, hogy a szerves anyagok oxidációja lejátszódik. A cső alakú medence végső szakaszában, a tartózkodási időtől függően, az oxigénfogyasztás elsősorban az endogén respiráció eredményeként jelentkezik. Ugyanaz a helyzet, ha a medence sorba kapcsolt kamrákra osztott.

A csőáramlású redszerre

– a nagy medencehosszúság/medenceszélesség arány jellemző *(104/a ábra)*,

– a teljes keverésű eleveniszapos medence sorba kapcsolt rekeszekre osztott *(104/b ábra)*, vagy

– a teljes keverésű eleveniszapos medencében az áramlást terelőfalak irányítják *(104/c ábra)*.

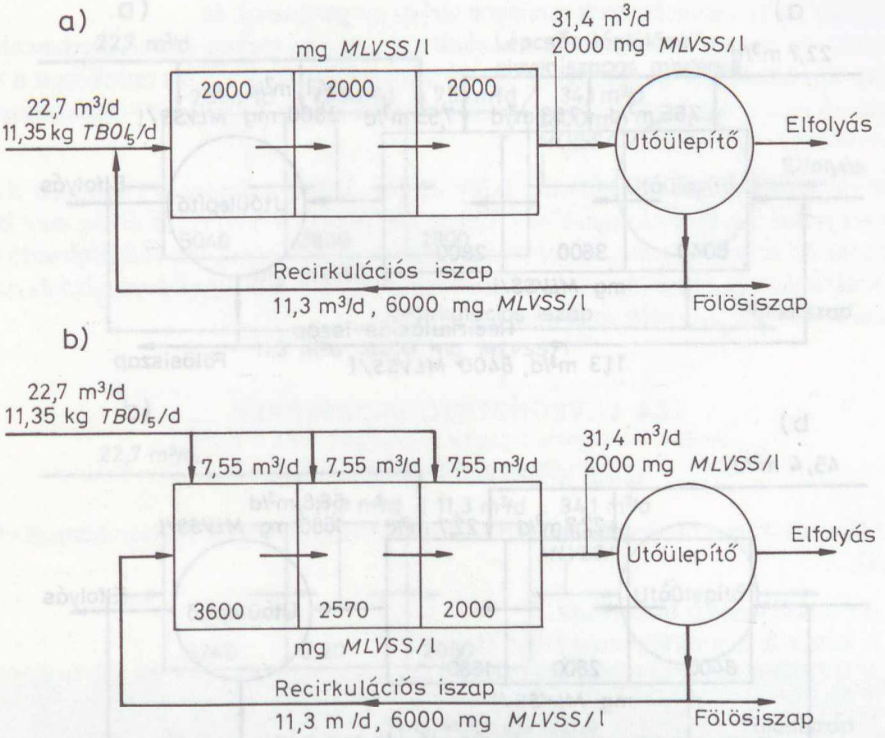


104/a–c ábra. Csőáramlású (vagy sorba kapcsolt kamrájú) eleveniszapos rendszerek
a: csőreaktor; *b:* teljes keverésű eleveniszapos medence
csőáramlású rendszerré alakítása sorba kapcsolt rekeszekre való osztással;
c: a teljes keverésű eleveniszapos medence csőáramlású rendszerré
alakítása terelőfalak beépítésével

Az üzemeltetési tapasztalatok szerint, ha a befolyó szennyvíz szervesanyag-tartalma oldott formában van jelen, akkor a csőáramlású rendszer a kontakt stabilizációs rendszernél hatékonyabb tisztítást eredményez. A kontakt stabilizációs rendszer azonban könnyen módosítható, hogy a csőáramlású rendszert is magában foglalja: a befolyó szennyvizet cső vagy csatorna segítségével az újralevegőztető medence elejére kell vezetni.

4. **Lépcsős táplálású rendszer.** A lépcsős táplálású rendszer létrehozásának oka: a befolyó szennyvízhozam és a szervesanyag-terhelés rendszerbeli változásainak kedvezőtlen hatása gyakran a rendszer üzemének rugalmassá tételével, a lépcsős táplálással küszöbölhető ki, ill. módosítható. A hagyományos csőáramlású eleveniszapos rendszer működése látható a *105/a ábrán*, ennek módosítása a lépcsős táplálású csőáramlású eleveniszapos rendszer a *105/b ábrán* értelmezhető. (A *105/a* és a *99. ábra* összehasonlítandó, mert a *99. ábra* egymedencés, hagyományos teljes keverésű rendszert képvisel.) A *105/a–b ábrán* lévő rendszer között az a különbség, hogy a szennyvízbetáplálás folyásirányban *lépcsőzetes* (Hegg et al., EPA/625/6-89/020, 1989).

Az üzemeltetési tapasztalatok szerint



105/a–b ábra. A hagyományos *(a)* és a lépcsős táplálású *(b)* eleveniszapos rendszer működési elve és iszapterhelése (MLVSS) ($TBOI_5$ = összes biológiai oxigénigény)

– a lépcsős táplálású csőáramlású rendszer a szervesanyag-terhelés hirtelen változását a hagyományos csőáramlású rendszerénél jobban elviseli;

– az utóülepítő azonos szuszpendált eleveniszap terhelésekor a lépcsős táplálású csőáramlású rendszer iszapterhelése (MLVSS) a hagyományos csőáramlású eleveniszapos rendszerénél nagobb, ezért a lépcsős táplálású rendszerben a tápanyag/mikroorganizmus arány kisebb;

– a szervesanyag-terhelés és a levegőztetési követelmények a rendszer rekeszeiben egyenletesebb eloszlásúak, így a helyi nagy tápanyag/mikroorganizmus arány kiküszöbölődik.

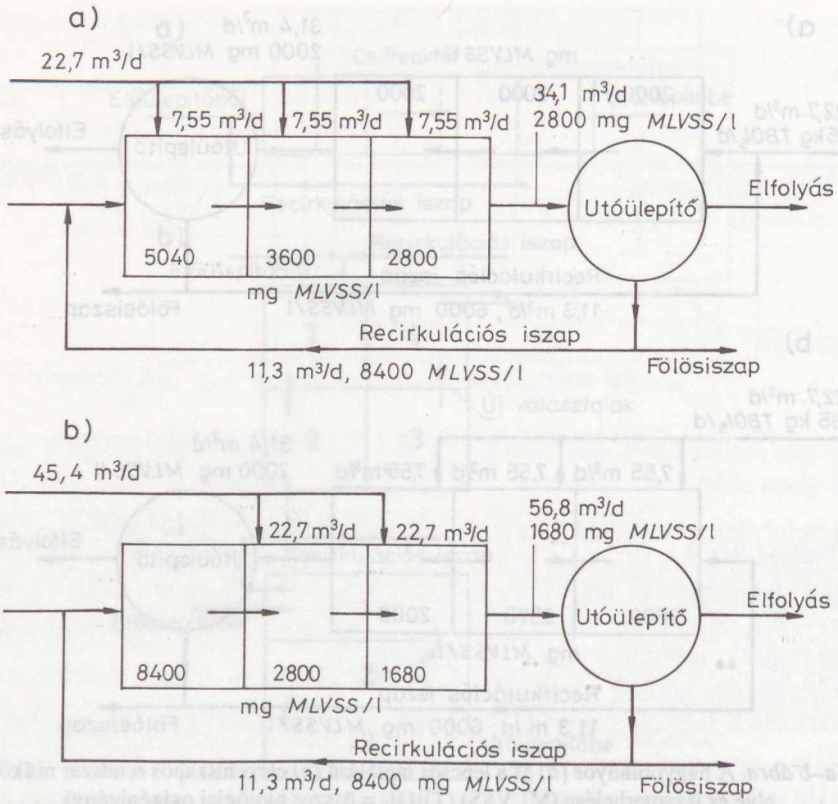
A lépcsős táplálású eleveniszapos rendszer előnyei az üzemeltetési tapasztalatokon nyugvó következő példákkal érzékeltethetők (Hegg et al. nyomán, 1989).

1. *Lökésszerű szervesanyag-terhelésre* vonatkozik a *105/a ábra.*

A rendszerek szervesanyag-terhelése azonos: 11,35 kg $TBOI_5$/d és az utóülepítők azonos iszapterhelésűek (2000 mg MLVSS). A T/M-arány viszont jelentősen eltérő.

A *hagyományos csőáramlású rendszerre (105/a ábra)* a *teljes T/M* arány 1,0 kg $TBOI_5$/kg MLVSS · d. Az első medence terhelése 3,0.

A lépcsős táplálású eljárás *(105/b ábra)* teljes *T/M*-terhelése 0,73, és minden egyes medence *T/M*-terhelése kisebb 1,0-nél. *Ezért a lépcsős táplálású tisztítórend-*

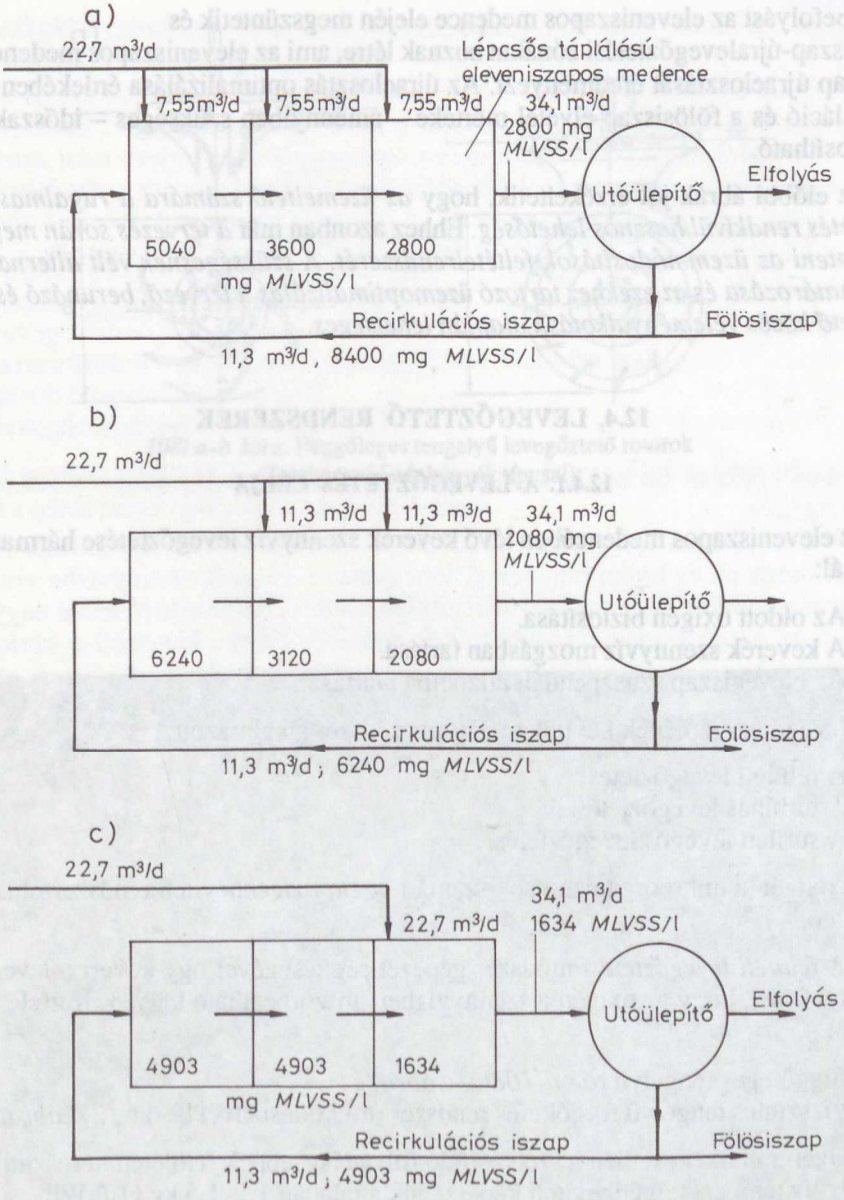


106/a–b ábra. A lökésszerű hidraulikai terhelés káros hatásának kivédését szolgáló, lépcsős táplálású eleveniszapos medence üzemeltetési alternatívái.
a: lökésszerű hidraulikai terhelés előtt; *b:* lökésszerű hidraulikai terheléskor

szer kevésbé hajlamos a lökésszerű szervesanyag-terhelések okozta folyamatfelborulásokra.

A lépcsős táplálású eleveniszapos rendszer a lökésszerű hidraulikai terhelést jobban elviseli *(106/a–b ábra):* bizonyos fokú védelmet nyújt a lebegőanyag-kimosódás ellen. A *b* ábra szerint az első medence a szennyvízbetáplálás alól mentesített, így az a recirkulációs iszap újralevegőztetését szolgálja, miáltal a szuszpendált lebegőanyagok egy része a főáramlástól védett. A BOI_5- és a TSS- (összes szuszpendált lebegőanyag) eltávolítási hatásfok bizonyos mértékű csökkenése ugyan előrejelezhető, de a hatásfok még így is lényegesen kedvezőbb az *a* ábrán lévő csőáramlású rendszerénél. A fölösiszap-elvételt és a recirkuláció mértékét szabályozni kell, ha a hidraulikai csúcsterhelés napokig tart. Ha a csúcsterhelés megszűnt, a tisztítási folyamat az *a* ábrán lévő eredeti lépcsős rendszer szerint folytatódhat.

A lépcsős táplálású eleveniszapos rendszer az utóülepítőben lévő lebegőanyag MLVSS terhelésének csökkentésére is alkalmas (*107/a–c ábra;* EPA, 1974; Thompson et al. nyomán, 1988). Ez a célkitűzés azért lehet fontos, mert az utóülepítő ha-



107/a–c ábra. Az utóülepítő lebegőanyag-terhelésének csökkentését szolgáló, lépcsős táplálású eleveniszapos medence üzemeltetési alternatívái

tásfoka gyakran a lebegőanyag-terhelés csökkentésével érhető el, különösen, ha a lebegőanyag gyengén ülepszik. Erre a helyzetre példa a *107/b–c ábra*. Az itt feltüntetett esetekben az *utóülepítő lebegőanyag-terhelése csökken*, miközben a lépcsős táplálású eleveniszapos *medence összes iszapterhelése állandó*. Ez azáltal érhető el, hogy a

– befolyást az eleveniszapos medence elején megszüntetik és
– iszap-újralevegőztetési zónákat hoznak létre, ami az eleveniszapos medencebeli iszap újraelosztását eredményezi. Az újraelosztás optimalizálása érdekében a recirkuláció és a fölösiszap-elvétel mértéke – amennyiben szükséges – időszakosan módosítható.

Az előbbi ábrák jól érzékeltetik, hogy *az üzemeltető számára a rugalmas üzemeltetés rendkívül hasznos lehetőség*. Ehhez azonban már *a tervezés során meg kell teremteni az üzemmódosítások feltételrendszerét. A szükségesnek vélt alternatívák meghatározása és az ezekhez tartozó üzemoptimalizálás a tervező, beruházó és üzemeltető közös véleményalkotása alapján lehetséges.*

12.4. LEVEGŐZTETŐ RENDSZEREK

12.4.1. A LEVEGŐZTETÉS CÉLJA

Az eleveniszapos medencében lévő keverék szennyvíz levegőztetése hármas célt szolgál:

1. Az oldott oxigén biztosítása.
2. A keverék szennyvíz mozgásban tartása.
3. Az eleveniszap szuszpendált állapotban tartása.

A levegő oxigénjének bevitelére három módszer alkalmazott:

1. A felületi levegőztetés.
2. A turbinás levegőztetés.
3. A sűrített levegős levegőztetés.

Az oxigén a mikroorganizmusok számára *tiszta oxigén*beviteli rendszerrel is biztosítható.

1. *A felületi levegőztetési* módszer gépezet segítségével úgy keveri a levegőt a szennyvízhez, hogy az oxigén a szennyvízben abszorbeálható legyen. Kétféle típus ismert:

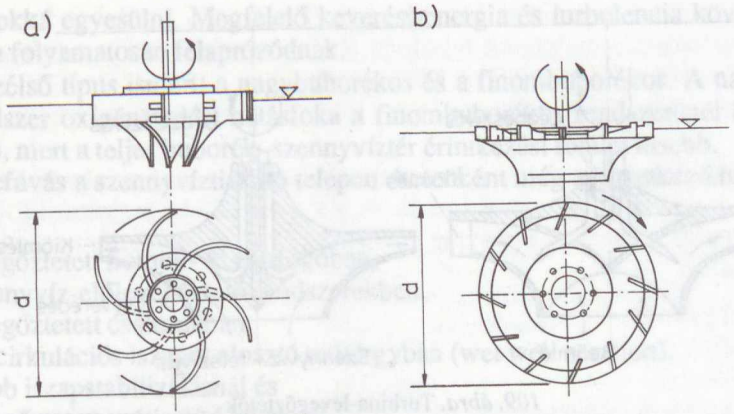
a) függőleges tengelyű rotor *(108/a–c ábra)* és
b) vízszintes tengelyű forgókefés rendszer (működési elvét lásd a *127. ábrán*).

Az oxigén mindkét esetben a szétszóródó folyadékcseppek felületén keresztül jut a szennyvíz terébe. Oxigénbeviteli képességük általában 1,1–1,5 kg O_2/kWh.

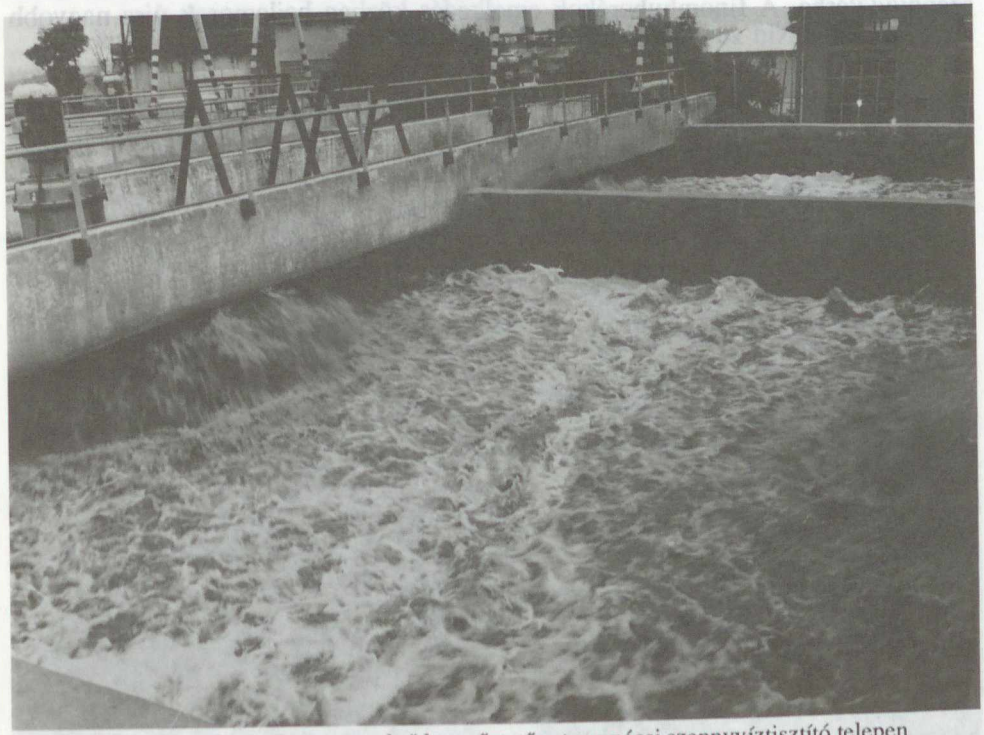
Az oxigénátadás hatékonysága nő a levegőztető berendezés fordulatszámának és bemerülési mélységének növelésével.

Közben azonban nő az energiaköltség is.

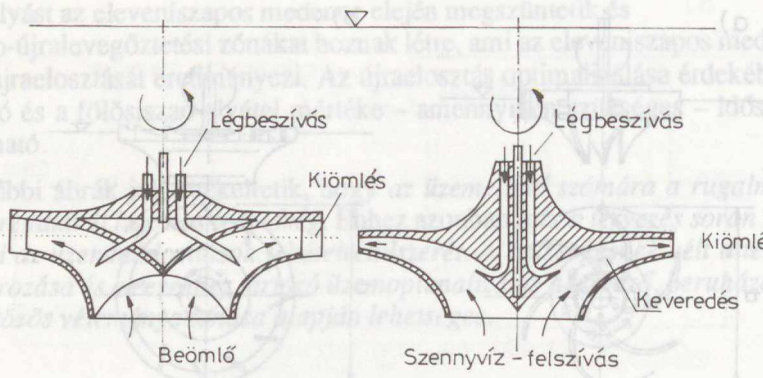
2. A *turbina-levegőztetőkben (109. ábra)* a kompresszorból vagy oxigéntermelő rendszerből származó levegő a szennyvíz felszíne alatt elhelyezett rotor lapátjainál keveredik el a felszívott szennyvízzel. A nagyméretű buborékokat a rotor aprítja fel. A turbina-levegőztető is motorikus meghajtású. A turbinás levegőztetőket gyakran használják a teljes keverésű és a tiszta oxigénes eleveniszapos folyamathoz. A



108/ a–b ábra. Függőleges tengelyű levegőztető rotorok (Tatabányai Szénbányák típusai);



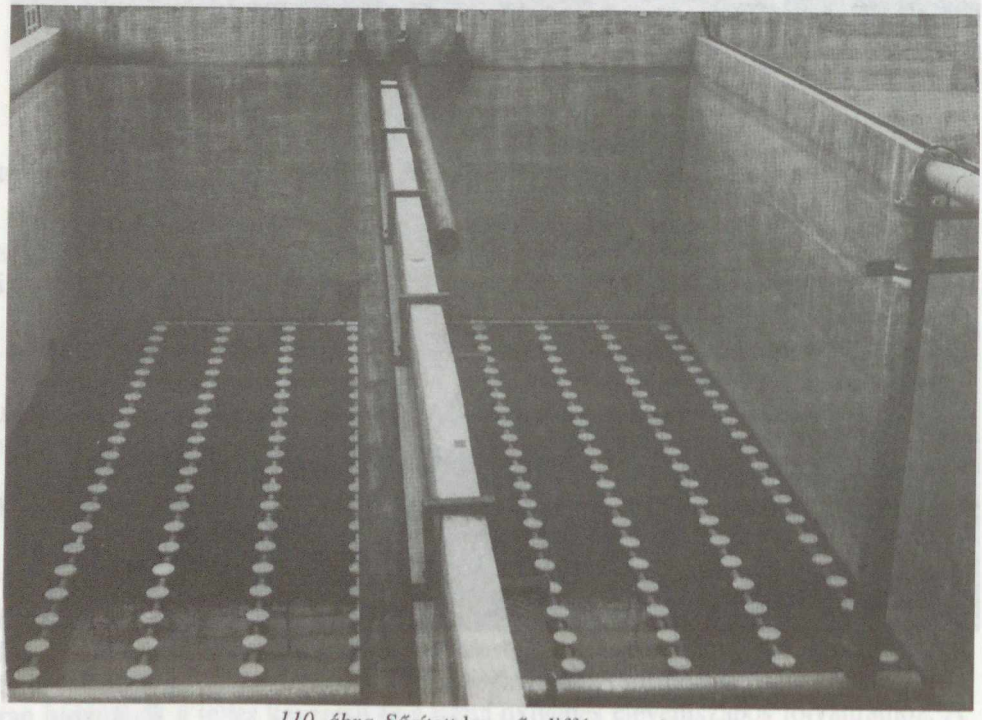
108/c ábra. Függőleges tengelyű levegőztető rotor a pécsi szennyvíztisztító telepen (fotó: dr. Solti Dezső)



109. ábra. Turbina-levegőztetők

turbina-levegőztető hatásfoka a felszíni levegőztetőknél kedvezőbb és kisebb az energiaigénye.

3. A *légbefúvásos levegőztetés (110. ábra)* általában diffúzorberendezés segítségével osztja el, és finom buborékok formájában a keverék szennyvízbe vezeti a kompresszorból érkező levegőt. Minél kisebbek a levegőbuborékok, annál nagyobb mértékű az oxigénátadás a nagyobb össz-buborékfelületen keresztül a környező szennyvíztérbe. A finombuborékok emelkedés közben hajlamosak újra nagyobb



110. ábra. Sűrített levegős diffúzorrendszer

buborékokká egyesülni. Megfelelő keverési energia és turbulencia következtében általában folyamatosan felaprózódnak.

Két szélső típus ismert: a nagybuborékos és a finombuborékos. A nagybuborékos rendszer oxigénátadási hatásfoka a finombuborékos rendszerénél lényegesen rosszabb, mert a teljes buborék–szennyvíztér érintkezési felület kisebb.

Légbefúvás a szennyvíztisztító telepen esetenként még a következő helyeken található:

- levegőztetett homok- és zsírfogóban,
- szennyvíz-előlevegőztető rendszerekben,
- levegőztetett csatornában,
- a recirkulációs iszapot elosztó műtárgyban (wet well aeration),
- aerob iszapstabilizálásnál és
- levegőztetett utótisztító tavaknál.

Tekintettel a légbefúvásos levegőztetés előnyére és terjedésére, a következőkben ezzel a rendszerrel *részletesebben foglalkozunk.*

12.4.2. A LÉGBEFÚVÁSOS LEVEGŐZTETÉS BERENDEZÉSEI, ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás oldott oxigén igényének biztosítása levegővel *viszonylag nagy energiafogyasztással jár:* az eleveniszapos szennyvíztisztító telep összes energiaigényének 50–90%-a a levegőztetésből adódik. Ezért *a gazdaságos üzemű, hatékony levegőztetési eljárások bevezetéséhez alapvető érdekeink fűződnek.* A kevésbé hatékony levegőztetési eljárásokat finombuborékos eljárásra változtatva, *mintegy 30–40%-nyi levegőztetési energiaköltség-megtakarítás érhető el.*

12.4.2.1. A FINOMBUBORÉKOS DIFFÚZOROK JELLEMZŐI

A nagybuborékos diffúzorok normálisan 6–10 mm átmérőjű buborékokat hoznak létre.

A finombuborékos diffúzorok kb. 1–3 mm átmérőjű buborékokat eredményeznek. A buborékok átmérőjét a levegőhozam is befolyásolja: ha a levegőhozam nő, a buborékok átmérője némileg nagyobbá válik.

A finombuborékos levegőelosztó berendezések (fine pore media) három csoportba sorolhatók:

- kerámiák,
- porózus műanyagok és
- perforált membránok.

Kerámiák. A legelterjedtebbek a kerámiák. A kerámia elosztóberendezés szabálytalan vagy gömb alakú ásványi szemcsékből áll, amelyeket megfelelő méretűre választanak és kötőanyaggal különböző alakúra komprimálnak. Magas hőmérsékleten kiégetik, miáltal a részecskék között kerámiakötés jön létre. Ennek eredmé-

nyeként *egymással összefüggő hézagrendszer* keletkezik, amelyben levegő áramlik. A levegőelosztó-rendszerek felszínén lévő pórusokon át lép a folyadéktérbe, miközben felaprózódik: buborékok keletkeznek.

A buborékok átmérőjét a pórusméret, a felületi feszültség és a levegőhozam befolyásolja.

Porózus műanyagok. A levegőáramlás számára a porózus műanyag diffúzorokban is *összefüggő hézagrendszer* létezik. A pórusok méretei a gyártási folyamattal befolyásolhatók. A porózus műanyag diffúzorok előnyei a kerámia anyagú diffúzorokkal szemben:

– könnyű gyártás,
– könnyebb súly,
– kedvezőbb ár,
– az anyagától függően kevésbé törik, emiatt gyakorlatilag tartósabbak.

Hátrányai:

– kisebb szilárdságú,
– érzékenyebb az öregedésre és
– kisebb a környezeti ellenállása.

A porózus műanyag diffúzorok merev (rigid) és nem merev (nonrigid) anyagúak. A merev műanyag előnye – minden más műanyaggal szemben – a könnyebb súlya (kb. 560 kg/m^3), inert összetétele és töréssel szembeni ellenállása (még fagy esetében is).

Perforált membránok. A perforált membránokban *összefüggő hézagrendszer nincs*. Ehelyett mechanikai úton kis átmérőjű, önálló nyílásokat (perforációkat) létesítenek a membránban, amelyeken át a sűrített levegő a folyadéktérbe áramolhat. A perforált membrán legfontosabb előnye, hogy felülete sima és nyílása nagyobb ellenállású az eldugulással szemben, de kémiai és biológiai eltömődése megfigyelhető. Hátránya, hogy anyagának fizikai tulajdonságai idővel változnak.

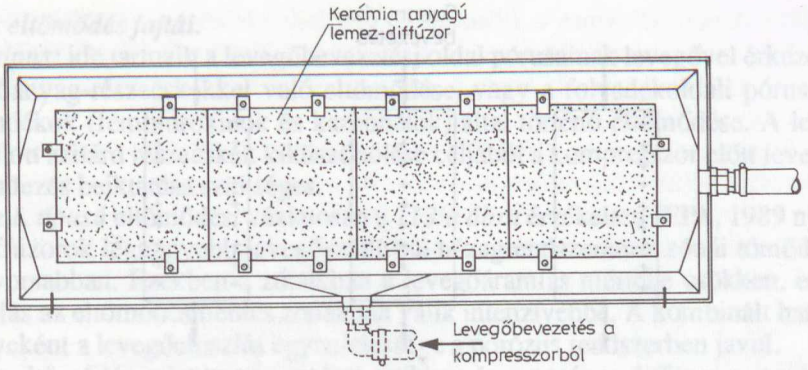
A finombuborékos diffúzorok kialakítási módjai. A finombuborékos diffúzorok négy kialakítási módja ismert: lemez, cső, dóm és tárcsa (EPA, 1989 nyomán).

A *lemez-diffúzor* jellegzetes kialakítása a *111/a ábrán* látható. A lemez-diffúzorok kerámiából és műanyagból készülnek. Méreteik a gyártócégek szerint változnak.

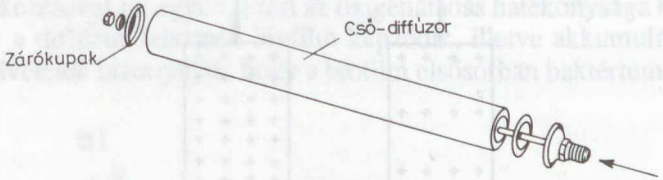
A *cső-diffúzor* általában 51–61 cm hosszúságú, külső átmérője 6,4–7,6 cm. Jellemző a merev, porózus műanyagból (vagy kerámiából) készült cső-diffúzor előfordulása *(111/b ábra)*.

A *dóm-diffúzor (111/c ábra)* lefelé hajló peremű, dóm alakú levegőztetőelem. Átmérője 18 cm, magassága 38 mm. Jellegzetes *perforált membrán korong-diffúzort* a *111/d ábra* szemléltet. Konvex vagy sík alakúak lehetnek.

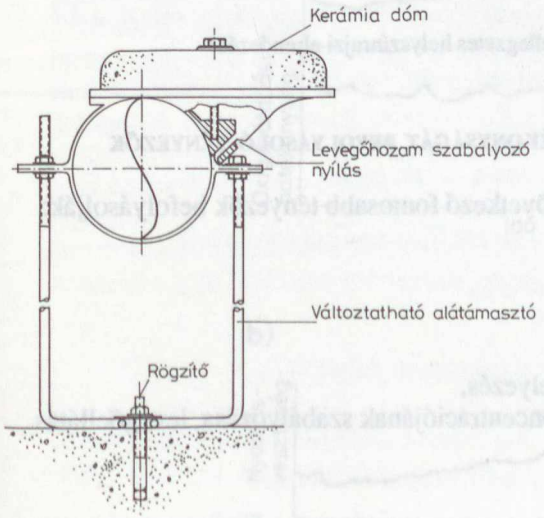
A diffúzorok helyszínrajzi elrendezésének jellegzetes eseteit a *112. ábra* szemlélteti.



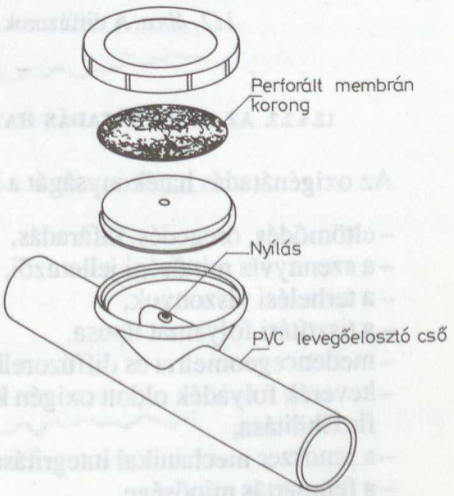
111/a ábra



111/b ábra

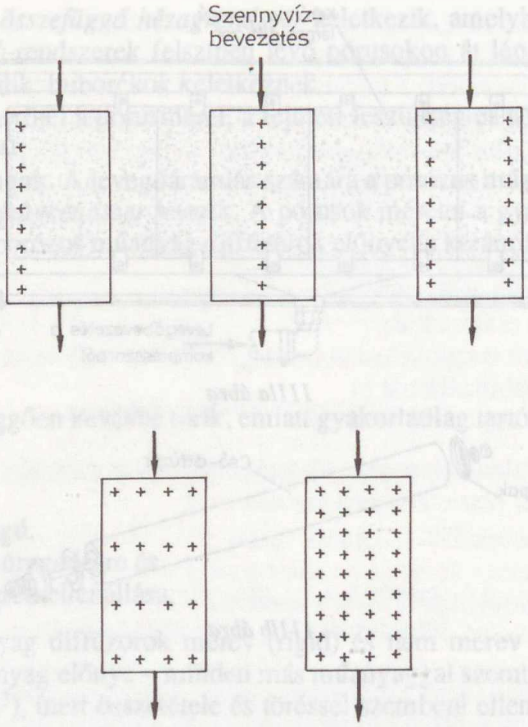


111/c ábra



111/d ábra

111/a–d ábra. A finombuborékos diffúzorok kialakítási módjai. *a:* lemez-diffúzor; *b:* cső-diffúzor; *c:* dóm-diffúzor; *d:* perforált membrán korong-diffúzor



112. ábra. A diffúzorok jellegzetes helyszínrajzi elrendezése

12.4.2.2. AZ OXIGÉNÁTADÁS HATÉKONYSÁGÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Az oxigénátadás hatékonyságát a következő fontosabb tényezők befolyásolják:

- eltömődés, öregedés, kifáradás,
- a szennyvíz minőségi jellemzői,
- a terhelési viszonyok,
- a tisztítási folyamat típusa,
- medencegeometria és diffúzorelhelyezés,
- keverék folyadék oldott oxigén koncentrációjának szabályozása, levegőellátás flexibilitása,
- a rendszer mechanikai integritása,
- a fenntartás minősége.

A diffúzor eltömődése. A finombuborékos diffúzorok érzékenyek a biofilmre és/vagy a szervetlen csapadékok lerakódására, amelyek a diffúzor üzemi jellemzőit megváltoztathatják. A porózus diffúzorok érzékenyek a levegőbevezetési oldalon a pórusok eltömődésére is, amit a levegőben lévő szennyezőanyag-részecskék okozhatnak.

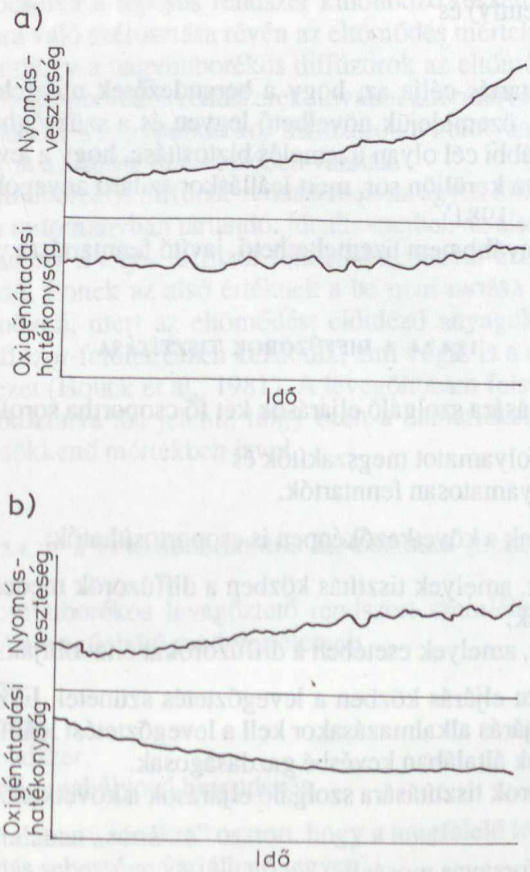
Az eltömődés fajtái.

I. típus: ide tartozik a levegőbevezetési oldal pórusainak levegővel érkező szennyezőanyag-részecskékkel való eltömődése, vagy a folyadékoldali pórusoknak a csapadékok (fémhidroxidok és karbonátok) által történő eltömődése. A levegővel szállított szilárd részecskék kiküszöbölése céljából a kompresszor előtt levegőszűrő berendezés beiktatása szükséges.

Az *I. típusú* eltömődést vázlatosan a *113/a ábra* érzékelteti (EPA, 1989 nyomán). A diffúzorok legnagyobb levegőszállítású hézagrendszerének zónái tömődnek el a leggyorsabban. Ezekben a zónákban a levegőáramlás mértéke csökken, emiatt az áramlás az eltömődésmentes zónákban válik intenzívebbé. A kombinált hatás eredményeként a levegőeloszlás egyenletessége a porózus rendszerben javul.

Az eltömődés miatt a pórusméret csökken és a porózus diffúzor nyomásvesztesége ennek megfelelően nő. Azonban a hézagméretek csökkentése finomabb buborékok keletkezésével jár együtt, ezért az oxigénátadás hatékonysága kissé nőhet.

II. típus: a diffúzor felszínén biofilm képződik, illetve akkumulálódik. A mikroszkópi felvételek bizonyítják, hogy a biofilm elsősorban baktériumokból épül fel.



113/a–b ábra. Az oxigénátadás hatékonyságának alapesetei

A biofilmek nem kötődnek a diffúzorfelszín minden lehetséges pontjához, így a biofilm–diffúzor határfelületén nagy terek léteznek. A biofilmek nagyméretű (> 0,5 mm) levegőjáratokkal vannak átszőve, amelyek a diffúzorfelületből kiindulva elágaznak a folyadéktér felőli felületének irányába.

Ha az ilyen típusú biofilm kifejlődik a finombuborékos diffúzor felszínén, a buborék-elereszto felület alapvetően megváltozik: az eredetileg finombuborékok nagyobbakká válnak, mert a biofilm felszínét áttörő nyílások a porózus diffúzor eredeti nyílásainál nagyobbak. A buborékok mérete a biofilm vastagodásával nő.

A biofilm létezése általában nem okoz gondot, de ha vastagsága nő, akkor

– a nyomásveszteség kissé nő (vagy változatlan marad), de
– az oxigénátadás hatékonysága lényegesen csökken (*113/b ábra;* EPA, 1989 nyomán).

12.4.2.3. FENNTARTÁS

Kétféle fenntartási tevékenység létezik:

– megelőző (preventív) és
– korrigáló.

A megelőző fenntartás célja az, hogy a berendezések megfelelő teljesítményszinten működjenek, üzemidejük növelhető legyen és a szükséghelyzetek elkerülhetők legyenek. További cél olyan üzemelés biztosítása, hogy a levegőellátás leállítására minél ritkábban kerüljön sor, mert leálláskor szilárd anyagok juthatnak a diffúzorba (Houck et al., 1981).

Ha a berendezés tovább nem üzemeltethető, javító fenntartásra van szükség.

12.4.2.4. A DIFFÚZOROK TISZTÍTÁSA

A diffúzorok tiztítására szolgáló eljárások két fő csoportba sorolhatók:

– a levegőztetési folyamatot megszakítók és
– a folyamatot folyamatosan fenntartók.

A tisztítási eljárások a következőképpen is csoportosíthatók:

– *in situ eljárások,* amelyek tisztítás közben a diffúzorok medencéből való eltávolítását nem igénylik,
– *ex situ eljárások,* amelyek esetében a diffúzorokat eltávolítják.

Valamennyi ex situ eljárás közben a levegőztetés szünetel. Ezzel szemben csupán néhány in situ eljárás alkalmazásakor kell a levegőztetést leállítani.

Az ex situ eljárások általában kevésbé gazdaságosak.

A kerámia diffúzorok tisztítására szolgáló eljárások a következők:

– újraégetés,
– kovasavas, foszforsavas mosás,
– lúgos mosás,

– savas mosás,
– detergens mosás,
– nagynyomású vízsugaras mosás.

In situ (a levegőztetést megszakító) eljárások:

– tisztítás lánggal,
– nagy- és kisnyomású tömlős mosatás,
– a szennyvízbefolyás visszatartása (endogén állapotok megteremtése),
– homokfúvatás,
– klóros mosatás,
– mosatás gőzzel,
– gazolinos mosatás,
– szárítás,
– ultrahangos tisztítás.

A diffúzor-eltömődés mértéke a lépcsős táplálású rendszerekben is változik: rendszerint a reaktor betáplálási végénél a legnagyobb. Nagy terhelés időszakában – a bevezetést átkapcsolva a lépcsős rendszer különböző részeibe – a terhelés egész medence hosszára való szétosztása révén az eltömődés mértékének változása minimalizálható. Minthogy a nagybuborékos diffúzorok az eltömődésre kevésbé hajlamosak, mint a finombuborékos rendszerek, további alternatíva a hibrid levegőztető-rendszer alkalmazása: a nagybuborékos diffúzorok a befolyási oldalon, a finombuborékos diffúzorok a reaktor más részében vannak.

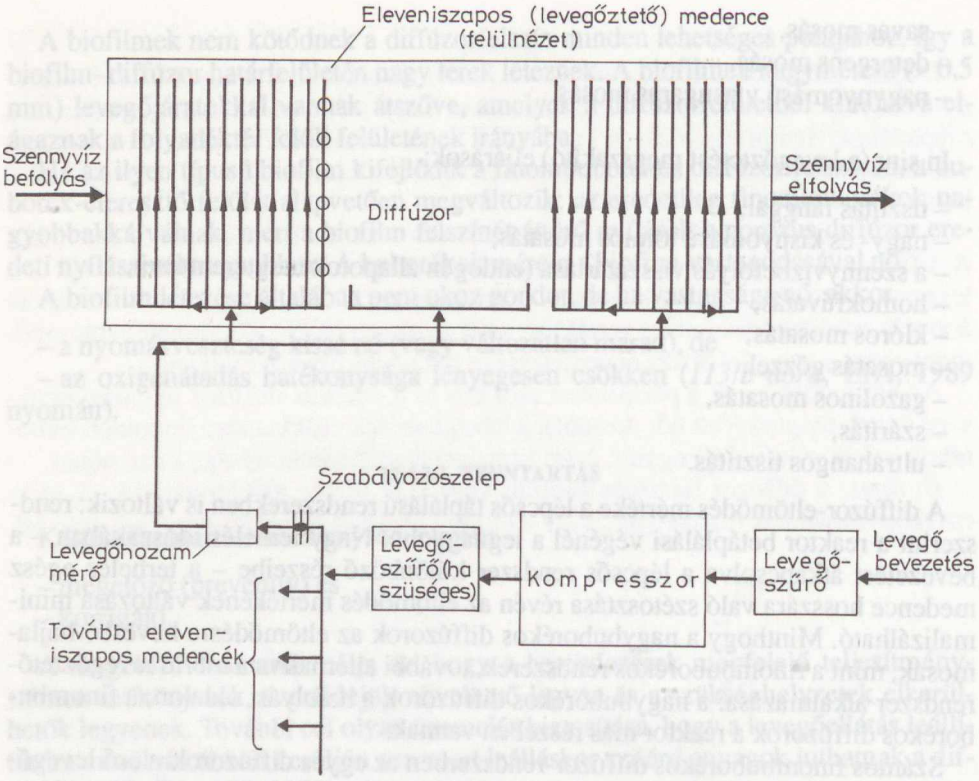
Számos finombuborékos diffúzor-rendszerben az egyes diffúzorokra eső levegőhozam bizonyos tartományban tartandó. Ideális esetben az alsó levegőhozam akkora kell legyen, amely a teljes diffúzor-felületen keresztül azonos mértékű levegőátáramlást biztosít. Ennek az alsó értéknek a be nem tartása a diffúzor-eltömődés valószínűségét növeli, mert az eltömődést előidéző anyagok akkumulációja a ki nem használt diffúzor-felületrészen kezdődik, ami végül is a diffúzor teljesítménycsökkenésére vezet (Houck et al., 1981). A levegőhozam felső határa az egyes diffúzorokra vonatkoztatva azt jelenti, hogy ezen a hatóértéken túl az oxigénátadás mértéke egyre csökkenő mértékben javul.

12.4.2.5. A FINOMBUBORÉKOS RENDSZEREK JELLEMZÉSE

Jellemző finombuborékos levegőztető rendszert szemléltet a *114. ábra* (EPA/625/1-89/023). A levegőellátó rendszer elemei:

– levegőszűrők,
– kompresszorok,
– levegőcsőrendszer,
– levegőáramlás-szabályozó berendezés.

A rendszer általában „zónákra" osztott, hogy a megfelelő levegőáramlás-eloszlás és az oxigénátadás sebessége variálható legyen.



114. ábra. Jellemző finombuborékos levegőztető rendszer

12.5. ÜZEMELTETÉSI STRATÉGIA

Az eleveniszapos telep üzemeltetőjének figyelme három *alapvető* stratégiai szempontra kell hogy kiterjedjen:

1. *A telepre érkező szennyvíz minősége*. Amint a telepre érkező szennyvíz mennyisége, minősége, koncentrációja, az alkotókomponensek aránya változik, a biológiai szennyvíztisztítást biztosító

– eleveniszapos medence és
– az utóülepítő

környezeti tényezői is változnak. Ennek megfelelően az üzemeltető a következő alapesetekkel találhatja magát szemben.

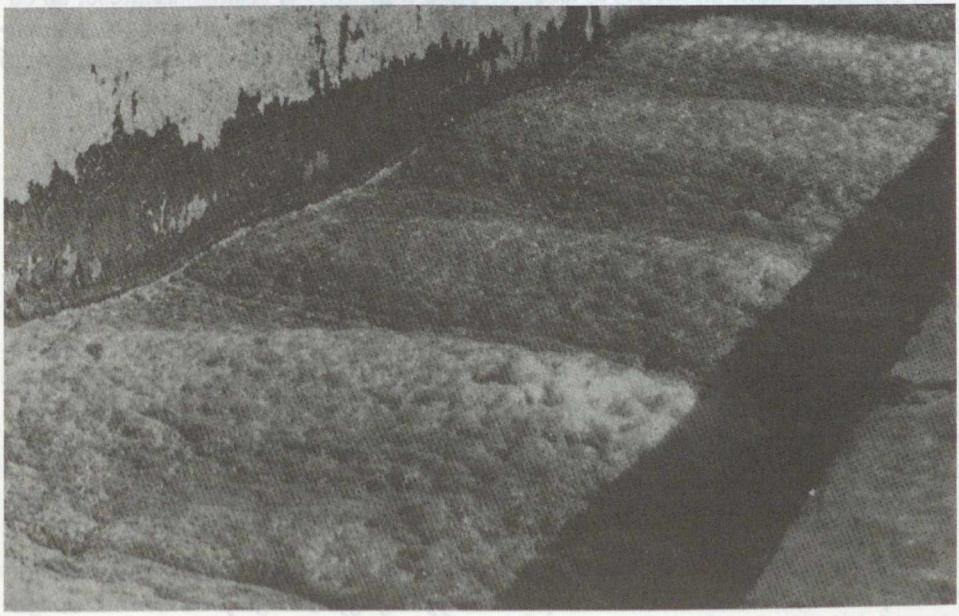
a) Ha az eleveniszapos rendszer üzeme a rutinszerűen észlelt nagy szennyvízterhelések időszakában egyensúlyban van, a BOI_5-szint < 20 mg/l és a lebegőanyag-koncentráció < 25 mg/l, akkor a telep tisztítási hatásfoka rendben lévő.

b) Ha a szennyvíz mennyisége jelentősen nő, akkor a lépcsős táplálású rendszerre (12.3.1. fejezet) való áttérés válhat szükségessé, miáltal elkerülhető az eleveniszap káros mértékű elfolyása (vesztesége) az utóülepítőből. Ez a megoldás akkor tekinthető hatékonynak, ha az utóülepítőbe táplált keverék szennyvíz szuszpendált szilárdanyag- (MLVSS-) tartalmának csökkenését eredményezi (l. *107/a–c ábra*).

c) Ha a befolyó víz szilárdanyag-terhelése nő, az eleveniszapos medencebeli keverék szennyvíz szuszpendált szilárdanyag- (MLSS-) tartalmát a sikeres biológiai tisztítás érdekében növelni kell. Ez az eleveniszap-elvétel mértékének csökkentésével érhető el.

2. Környezeti állapot az eleveniszapos medencében. Erre nézve a következő üzemeltetési szempontok az irányadók:

– a megfelelő telepi hatásfok eléréséhez 1–3 mg/l oldott oxigén és teljes – az egész eleveniszapos medence térfogatára kiterjedő – keverés szükséges,
– az 1. pont alatti szabályozás válhat szükségessé,
– ha az eleveniszapos medence vízfelszínén fehér hab jelenik meg, az iszapelvétel mértékét csökkenteni kell (8. és 9. fejezet; *115. ábra;* Ottengraf et al. nyomán, 1969),



115. ábra. Habképződés többkamrás levegőztető medencében (fotó: Ottengraf, S. P. P.)

– ha az eleveniszapos medencebeli szennyvíz felszínén vastag, sötétbarna hab jelenik meg, az iszapelvétel mértékét növelni kell (8. és 9. fejezet).

3. *Utóülepítő.* Az utóülepítőből történő iszapelvétel mértékét úgy kell beszabályozni, hogy a lebegő iszapfelhő olyan mélyen legyen, amilyen mélyen egyáltalán tartható. Szem előtt kell tartani, hogy a lebegő iszapfelhő vastagsága nő (vagy szint-

je emelkedhet) a recirkulációs iszapelvétel mértékének növelésével vagy csökkenésével, ami viszont a tartózkodási idő növelésével vagy csökkentésével van kapcsolatban. A tarózkodási idő a szennyvízhozam változtatásával is befolyásolható.

4. *Telepi elfolyás.* A zavarosságmérés az elfolyó víz minőségének gyors meghatározási módszere. Ha a telep jól üzemel, annak okait is elemezni kell.

12.5.1. NORMÁL ÁLLAPOTOKHOZ TARTOZÓ ÜZEMELTETÉS

Bármely üzemelés-változás észrevételekor az üzemeltető a következő teendőkkel találja magát szemben.

1. *A napló átvizsgálása* az oldott oxigén koncentráció, a recirkulációs és fölösiszap-szivattyúk üzeme, a recirkulációs iszap klórozásának mértéke, a fonalas mikroorganizmusok visszaszorítása céljából stb.

2. *Vizuális megfigyelések.* Az eleveniszapos medence felszínén esetlegesen megjelenő hab és annak színe; az utóülepítő felszínén esetlegesen megjelenő felúszott iszap vagy gázbuborékok; az utóülepítőben az iszapfelhő felszínének szintje stb.

3. *Laboratóriumi analízis.* Az iszaptérfogati index (SVI) számszerűsítése, az ebből levonható következtetések (8. fejezet); a keverék szennyvíz illékony szuszpendált szilárdanyag- (MLVSS-) tartalma; az iszapelvétel mértéke; a felhasznált levegő mennyisége stb. A laboratóriumi vizsgálatok:

- a telepre érkező szennyvíz mennyisége,
- a befolyás BOI_5-koncentrációja,
- a befolyás szuszpendált szilárdanyag- (lebegőanyag-, SS-) tartalma,
- az elfolyás BOI_5-koncentrációja.

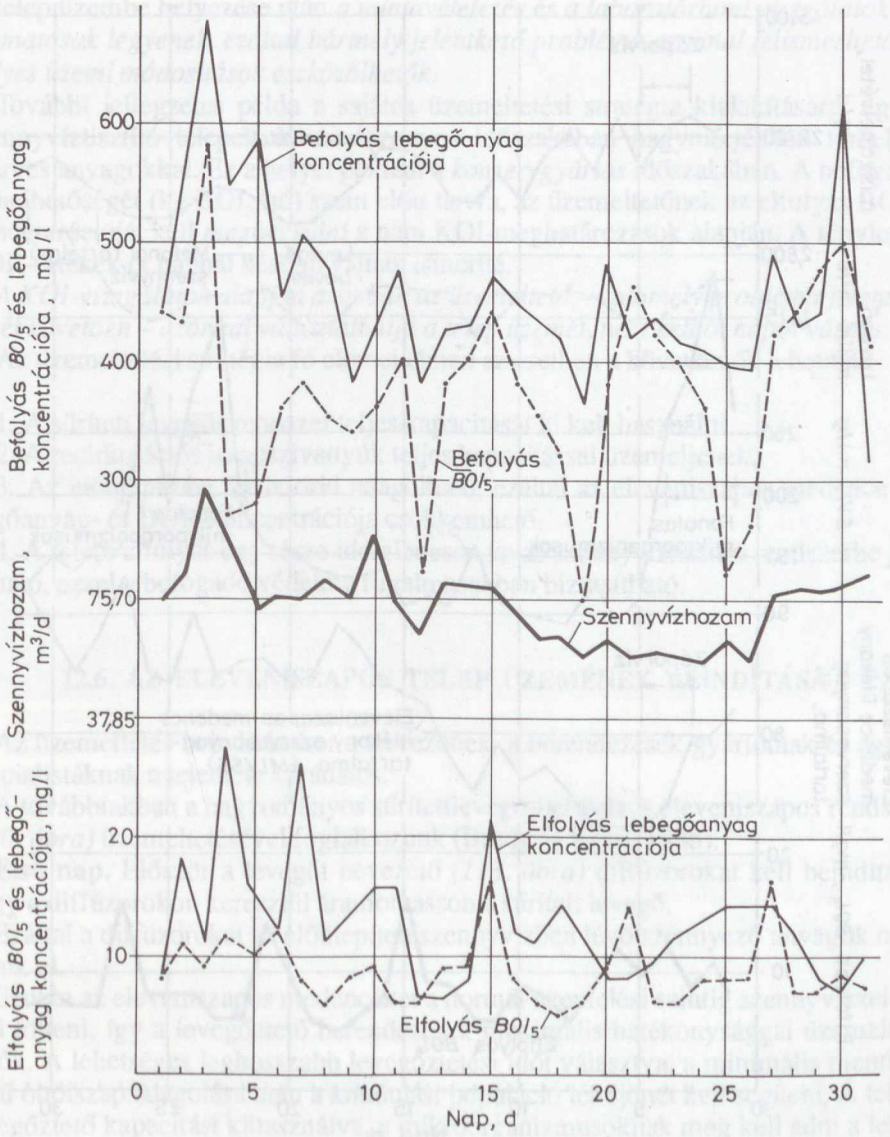
Az elfolyás szuszpendált szilárdanyag- (lebegőanyag-, SS-) tartalma az idő függvényében ábrázolható (*116. ábra;* Brady nyomán, 1988).

De a folyamatmódosítási információkra vonatkozó paraméterek, például a záporvíz, az iszapelvétel, a felhasznált levegő, az SVI, a fonalas szervezetek megjelenése, az eleveniszapos medencében lévő illékony szerves anyag (MLVSS) mennyisége, az elfolyás BOI_5-koncentrációja is grafikusan ábrázolható az idő függvényében (*117. ábra;* Brady alapján, 1988).

A laboratóriumi adatok alapján *(117. ábra)* az üzemeltetési teendők:

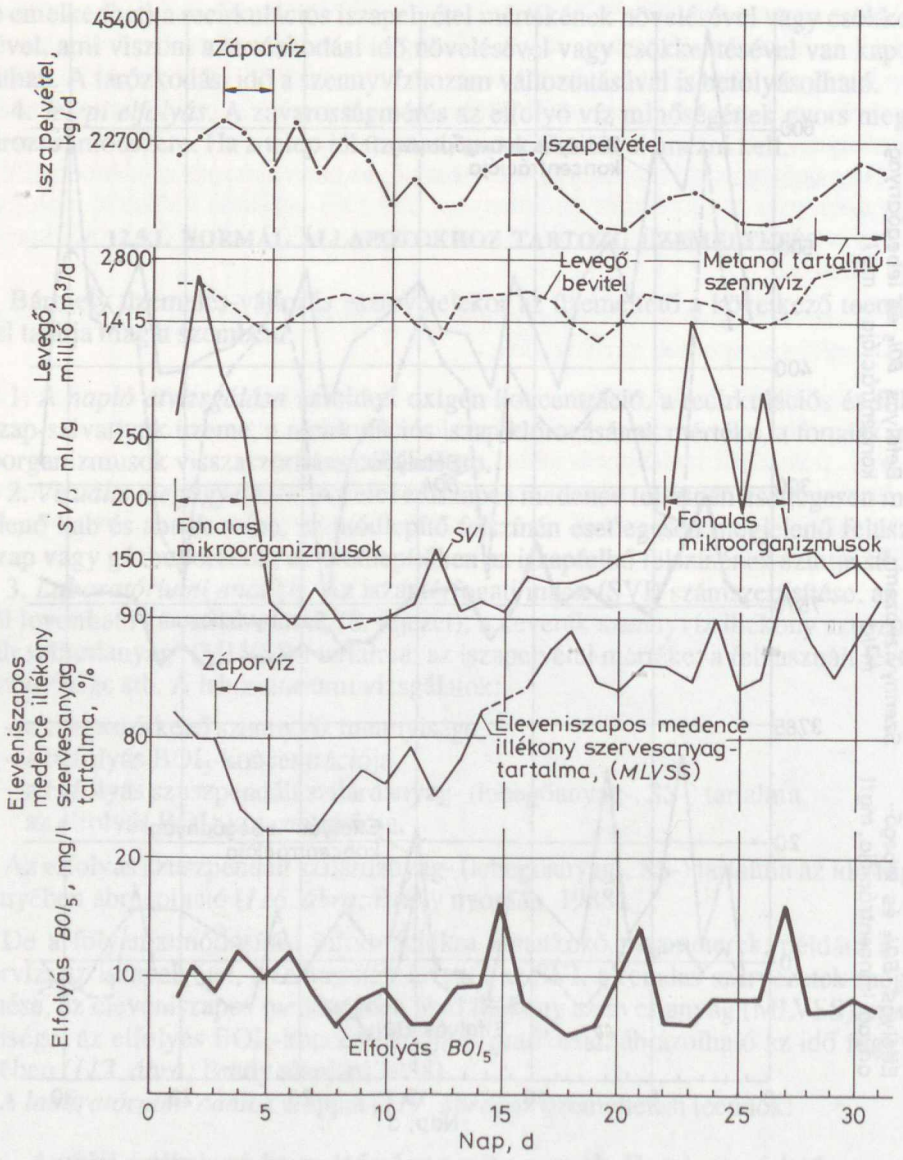
1. Az SVI-értékek a hónap első négy napján nagyok. Ennek megfelelően a mikroszkópi vizsgálatok szerint a hónap első napján *nagy tömegű fonalas mikroorganizmus* volt jelen az eleveniszapos medencében (8. fejezet). Emiatt a recirkulációs iszapot klórozták, aminek következtében az SVI-értékek normál szintre csökkentek és a fonalas mikroszervezetek nagy tömege eltűnt.

2. A hónap második napján *zápor kezdődött,* melynek intenzitása a harmadik napon tetőzött. Emiatt az újralevegőztető és a levegőztető- (eleveniszapos) medence szuszpendált szilárdanyag-tartalma 80% alá csökkent. Ezért az iszapelvételt az utóülepítőből gondosan csökkenteni kellett avégből, hogy az eleveniszapos medence illékony szervesanyag- (MLVSS-) tartalmát 80% fölé lehessen növelni.



116. ábra. Eleveniszapos rendszer szennyvízhozama, a befolyás és elfolyás, BOI_5- és a lebegőanyag-koncentrációjának időbeli változása

3. A hónap 27-ik napján a tisztítótelepre *lökésszerűen metanoltartalmú szennyvíz érkezett.* Ebből adódóan az eleveniszapos medence oldott oxigén igénye jelentősen nőtt – a metanol KOI-tartalma és a mikroorganizmusok intenzívebb aktivitása miatt. A következő napon az iszapelvétel mértékét növelni kellett avégből, hogy az eleveniszapos medence kívánt, illékony szervesanyag- (MLVSS-) tartalma fenntartható legyen, és az utóülepítőből az iszap (lebegőanyag) tisztított szennyvízzel való távozása megakadályozható legyen.



117. ábra. Eleveniszapos rendszer, folyamatszabályozási információk

Az előző három üzemelési probléma ellenére az üzemeltető folyamatosan jó minőségű elfolyó szennyvizet produkált. Ez azzal magyarázható, hogy *az üzemeltető rendelkezett üzemeltetési stratégiával: a zavaró folyamatokat az elfolyás minőségének romlása előtt azonnal kiküszöbölte, miután az eleveniszapos medencebeli környezeti állapotokat identifikálta.* Az üzemeltetőnek, a telepi üzemeltetés sajátosságaiból kiindulva, tudnia kell, melyek azok az információk, melyeket a *117. ábrának* megfelelő módon ábrázolni célszerű, miáltal a telepi stratégia kialakítható.

A telep üzembe helyezése után *a mintavételezés és a laboratóriumi vizsgálatok folyamatosak legyenek, ezáltal bármely jelentkező probléma azonnal felismerhető és helyes üzemi módosítások eszközölhetők.*

További jellegzetes példa a sajátos üzemeltetési stratégia kialakítására: egyes szennyvíztisztító telepek az év bizonyos időszakában nagymértékben terheltek szerves anyagokkal. Ez a helyet például a *konzervgyártás* időszakában. A befogadó terhelhetőségét (kg BOI_5/hó) szem előtt tartva, az üzemeltetőnek az elfolyás BOI_5-koncentrációját kell *megbecsülni* a napi KOI-meghatározások alapján. A tényleges BOI_5-értékek öt nappal később válnak ismertté.

A KOI-vizsgálatok alapján azonban az üzemeltető – valamely probléma jelentkezését követően – azonnal változtathatja a telep üzemét, nem kell öt napot várnia.

Az üzemeltetési stratégia fő elemei ebben az esetben a következők lehetnek:

1. A sűrített levegős rendszer teljes kapacitását ki kell használni.
2. A recirkulációs iszapszivattyúk teljes kapacitással üzemeljenek.
3. Az előülepítőbe ferriklorid adagolható, ezáltal az eleveniszapos medence lebegőanyag- és BOI_5-koncentrációja csökkenthető.
4. A telepi elfolyás egy része ideiglenesen tavas szennyvíztisztító rendszerbe juttatható, ezzel a befogadó védelme rugalmasabban biztosítható.

12.6. AZ ELEVENISZAPOS TELEP ÜZEMÉNEK BEINDÍTÁSA

Az üzemeltetés beindításakor a tervezőnek, a berendezések gyártóinak és egyéb specialistáknak a jelenléte kívánatos.

A továbbiakban a hagyományos sűrítettlevegő-befúvásos eleveniszapos rendszer *(100. ábra)* üzemeltetésével foglalkozunk (Brady és Kerri, 1988).

Első nap. Először a levegőt bevezető *(118. ábra)* diffúzorokat kell beindítani, hogy a diffúzorokon keresztül áramolhasson a sűrített levegő.

Ezáltal a diffúzorokat az előülepített szennyvízben lévő szennyező anyagok nem tömik el.

Ezután az eleveniszapos medencéket a normál üzemelési szintig szennyvízzel fel kell tölteni, így a levegőztető berendezések maximális hatékonysággal üzemeltethetők. A lehetséges leghosszabb levegőztetési időt választva, a minimális mennyiségű oltóiszap adagolása után a kiindulási populáció létrejöttét kell segíteni. A teljes levegőztető kapacitást kihasználva, a mikroorganizmusoknak meg kell adni a lehetőséget, hogy ülepedőképes állapotba kerüljenek.

Az eleveniszapos medencék feltöltését követően az utóülepítők feltöltése következik. Az utóülepítők teljes hidraulikai terhelésének kihasználásával a leghosszabb tartózkodási idő állítható be. Ezáltal csökkenthető a könnyű, szilárd lebegőanyagok – a gyorsan szaporodó mikroorganizmusokat is beleértve – kiöblítődése a rendszerből, és a pehelyképződés serkenthető.

Amikor az utóülepítő háromnegyed részben megtelt, az iszapkaparó berendezést és a recirkulációs szivattyúkat be kell indítani. Az iszap tartózkodási ideje az utóülepítőben 1,5 óránál nem lehet nagyobb. Ha a recirkulációs iszap szivattyúzásának mértéke a nyers szennyvíz 50%-ánál nagyobb, zavar keletkezhet, mert az utóülepí-

118. ábra. Levegőelosztó csőrendszer (szerző felvétele)

tő megnövekedett hidraulikai terhelése miatt az iszapülepítés hatásfoka csökken. Hígabb iszap esetében a recirkuláció mértéke nagyobb, mint sűrűbb iszap esetében. Azonban a híg iszap recirkulációjának növelése az eleveniszapos medencében hígabb iszapot eredményez. Az eleveniszapos medence végén a derítőszer adagolása az iszapképződést és a telepi elfolyás minőségét kedvezőbbé teszi.

A túlfolyás megindulása után (miután az utóülepítő megtelt) az elfolyó szennyvíz klórozását is meg kell kezdeni.

Az eleveniszapos medence feltöltése és a levegőztetés megindítása után az eleveniszapos folyamat is megkezdődik.

Az aerob mikroorganizmus-populáció a tápanyagok és oldott oxigén birtokában szaporodásnak indul. Két-három óra levegőztetési idő elteltével az oldott oxigén koncentráció szintjét az eleveniszapos medence *teljes terében* ellenőrizni kell. *Az O_2-koncentráció 1 mg/l-nél nagyobb legyen.* Ha az O_2-koncentráció 3 mg/l-nél nagyobb, a levegőztetés mértékét csökkenteni kell, de csak annyira, hogy a keverés mértéke megfelelő maradjon.

Miután a kívánt populáció az eleveniszapos medencében létrejött, a medencébe *elegendő oxigént kell betáplálni,* hiszen a következő körülményeket is szem előtt kell tartani:

– az oldott oxigén koncentráció általában kicsi a befolyó szennyvízben és a recirkulációs iszapban is,

– a befolyó szennyvíz szeptikus lehet, ami azonnali oxigénigényt jelent,

– a populáció, elegendő tápanyag birtokában, nagy oldott oxigén igényt idéz elő.

Az oldott oxigén koncentráció az eleveniszapos medence *végén mindenkor nagyobb legyen 1 mg/l-nél.* Az oldott oxigén koncentráció az eleveniszapos medencében kétóránként ellenőrzendő, mindaddig, amíg az oxigénkoncentráció-eloszlás megfelelő nem lesz. Az oxigénkoncentrációt ezt követően az igényeknek megfelelő időközökben kell ellenőrizni. Túlzottan nagy oldott oxigén koncentráció a kora reggeli órákban jelentkezik, amikor a szennyvízterhelés kicsi. Az oxigénellátás elégtelen lehet a délutáni és esti órákban, mert a szennyvízterhelés a nappali időszakban általában nő, ill. nagyobb.

A vízsugárrendszert mielőbb be kell kapcsolni, *mivel a detergensek miatti habzás nagymértékű lehet, mindaddig, amíg megfelelő mértékű eleveniszap nem jön létre.* Ha a vízsugárszivattyú működése akadályozott, akkor a szennyvíz felszínére kereskedelmi habtalanító szert kell juttatni.

Második nap. Az eleveniszapos medencéből vett mintát 1000 (vagy 2000) ml-es, kalibrált hengerben 30 percig kell ülepíteni. Az iszap színe az első néhány napon át valószínűleg az előülepítőből elfolyó szennyvíz színével azonos lesz. Néhány perc múlva azonban a hengerben a nagyon finom szuszpendált részecskék kezdenek enyhén barnássárga színt mutatni. A részecskék szuszpendált állapotúak maradnak, de lassan ülepednek. Egy óra múlva 10–20 ml-nyi mennyiségük a henger fenekére ülepszik, de zömük még mindig szuszpenzióban marad. Ez a folyamat azt jelzi, hogy az eleveniszapos medencében megfelelő állapot kezd kialakulni, de még több szilárd részecske (eleveniszap) szükséges a hatékony szennyvíztisztításhoz.

Harmadik–ötödik nap. A feladat csupán a megfelelő oldott oxigén koncentráció fenntartása és megfelelő iszaprecirkuláció fenntartása. A mintavételi programot a 12.9. és a 12.10. fejezetben foglaltaknak megfelelően kell megkezdeni.

Bizonyos idő szükséges ahhoz, hogy

– ülepítéskor a leülepedett iszap felett tiszta szennyvíztér jelentkezhessen,
– aktív eleveniszap keletkezzen. 24–72 óra közötti levegőztetési időszakaszban rendszerint az tapasztalható, hogy az ülepíthető iszap a szennyvíztérben nem süllyed nagyon gyorsan, de a leülepedett iszap feletti folyadéktér tisztává válik.

A könnyű eleveniszap az utóülepítőből távozó szennyvízben maradhat. Minél több iszapot vissza kell tartani, mert gyors eleveniszap-képződés csak így biztosítható. Az induláshoz szükséges mikroorganizmusok és szervetlen lebegőanyagok

– jó kerti talaj adagolásával vagy
– a szomszédos szennyvíztisztító telepről szállított eleveniszap (oltóiszap) adagolásával teremthetők meg. A kerti föld először vízzel keverendő össze. A keletkező zagyból a durva lebegőanyagokat igyekezzünk eltávolítani.

Hatodik nap. A kívánt tiszta elfolyást az utóülepítőből a hatodik napra célszerű előirányozni. Az iszapképződést az *első héten naponta* többször (Kollár, 1993) *kell ellenőrizni,* 30 perces ülepítési vizsgálattal, melynek eredményeként az iszap napi

– pelyhesedőképessége,
– ülepedőképessége és
– sűrűsödőképessége

megismerhető.

A szuszpendált iszap képződése kezdetben nagyon lassú, de a tisztítási hatásfok növekedésével egyidejűleg javul.

A mikroorganizmusok aránya kezdetben nem határozható meg. Hogy az eleveniszapos medencebeli mikroorganizmusok mennyiségéről mégis tájékozódni lehessen, *a szilárd anyagok mennyiségét* vagy mg/l-ben, vagy szárazanyag-súlyban célszerű kifejezni. Például:

összes szuszpendált szilárd anyag, kg = szuszpendált szilárd anyag, MLSS, mg/l · eleveniszapos medence térfogata, m^3 · (1 kg/1 000 000 mg) · (1000 l/1 m^3). (15)

A mintát az eleveniszapos medence elfolyási végéből kell venni. *A mintákat a napok azonos órájában, a csúcs-szennyvízhozamok időpontjában célszerű venni, így az egyes napok adatai egymással összehasonlíthatók.* Naponta a recirkulációs iszap koncentrációja is meghatározandó, az előzőekben értelmezett időpontokban.

Így a *recirkuláció* szükséges mennyisége is meghatározható. A szivattyúzásra kerülő recirkulációs iszaphozam:

az eleveniszapos medence hidraulikai terhelése az előülepített szennyvízből, l/s + az eleveniszapos medencébe vezetett recirkulációs iszap, l/s = az eleveniszapos medence teljes hidraulikai terhelése, l/s. (16)

Legyen a leülepedett MLSS mennyisége 1 l-es hengerben, 30 perc alatt, 360 ml. Így:

a recirkulációs iszaphozam, l/s = az eleveniszapos medence teljes hidraulikai terhelése, l/s · ülepíthető iszap (MLSS) mennyisége.

Az iszaprecirkulációval az eleveniszap zöme visszakerül az eleveniszapos medencébe. A recirkulációs iszap szivattyúzott mennyisége a tervezettnél kissé nagyobb legyen, hogy az eleveniszap minél hamarabb visszakerülhessen az eleveniszapos medencébe. De a recirkuláció hozama *nem lehet túl nagy sem*, mert a nagy hozamok az eleveniszapos medence és az utóülepítő tartózkodási idejét csökkentik. Ha viszont a recirkulációs iszaphozam *túl kicsi*, akkor a következő zavaró problémák jelentkeznek:

– Az eleveniszapos medencében nem lesz jelen a szennyvíz tisztításához szükséges mikroorganizmus-tömeg. Ez az eset általában az eleveniszapos rendszer beindítását követő egy-két hétre jellemző.

– Ha az utóülepítőben a tartózkodási idő túl hosszú, szeptikus iszap képződhet.

– Az utóülepítőben az iszap-akkumulálódás vastag iszapfelhő kifejlődését, ill. az elfolyó szennyvíz fokozódó iszaptartalmát idézheti elő.

12.7. ELEVENISZAP-ELVÉTEL AZ UTÓÜLEPÍTŐBŐL

Az elvétel célja, hogy az eleveniszapos medencében az elfolyó szennyvíz kívánt minőségét biztosító iszapkor fennmaradjon.

Az iszapelvétel mennyisége kg szilárd anyag/d vagy l/d, az eleveniszapos medencébe történő összes befolyás 1–20%-a lehet. A folyamatos elvétel előnyben részesítendő. Az elvétel mértékének változása egyik napról a másikra ne haladja meg a 10 vagy 15%-ot.

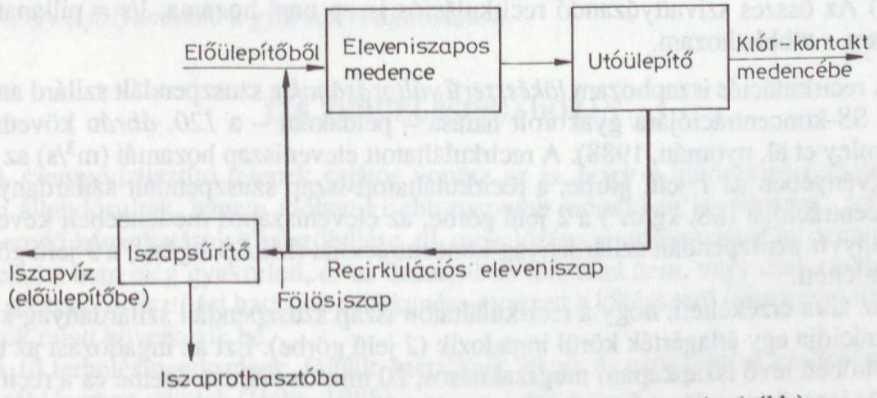
Az eleveniszap-elvétel az utóülepítőből azt jelenti, hogy a recirkulációs eleveniszap egy része

- az eleveniszapos medencébe,
- az előülepítőbe vagy
- a sűrítőbe távozik *(119. ábra)*, ahonnan az
- az aerob rothasztóba vagy
- az anaerob rothasztóba kerül.

A normál üzemű eleveniszapos telep utóülepítője a recirkulációs eleveniszapot (return activated sludge, RAS) és a fölösiszapot (waste activated sludge, WAS) az eleveniszapos medencében lévő keverék szennyvíz koncentrációjánál három-négyszer nagyobb koncentrációra sűríti. Így a recirkulációs iszap 2000–10 000 mg/l szilárdanyag-tartalmú, ami az összes szilárd anyag függvényében 0,2–1,0%-ot jelent. Ha a fölösiszap-ág közvetlenül az anaerob rothasztóba vezet, akkor a fölösiszap 10–20-szor annyi szennyvízfolyadékot tartalmaz, mintha az ág csak szilárd anyagot szállítana a rothasztóba. Valamely rothasztót ilyen feltételek esetében nehéz lenne üzemeltetni. Ehelyett a fölösiszapot az előülepítőbe célszerű vezetni, ahol az az előülepítő-iszappal keveredik, miáltal a rothasztóba jutó fölös folyadék mennyisége minimalizálható (kedvezőbb).

Az eleveniszapos medencebeli keverék szennyvíz szuszpendált szilárdiszap-tartalma (MLSS), amelyet az utóülepítőből el kell vezetni, két forrásból ered:

1. szuszpendált szilárd anyagok az előülepített szennyvízben vagy a nyers szennyvízben,
2. az eleveniszapos medencében képződő új sejttömeg.



119. ábra. A recirkulációs iszap és a fölösiszap-elvétel értelmezése (példa)

Ez azt jelenti, hogy minden kg eltávolított BOI vagy szilárd anyag egy része mikroorganizmusok formájában a rendszerben marad.

A fölösiszap képződési sebessége

– a tisztítási folyamat típusától és
– a szennyezőanyag-terhelés minőségi komponenseitől függ.

A *nagy terhelésű* eleveniszapos telep minden kg eltávolított BOI-tápanyagból 0,75 kg illékony iszapanyagot (MLVSS) képes produkálni. A *hagyományos (közepes terhelésű)* eleveniszapos telep minden kg eltávolított BOI-tápanyagból 0,55 kg, a *huzamos idejű* (kis terhelésű) levegőztető rendszer csupán 0,15 kg MLVSS produkálására képes. A BOI_5 értékét bizonyos mértékig a jelen lévő szervetlen anyagok növelik.

A *recirkulációs iszaphozam* számításának menete a következő.

a) Ismert paraméterértékek:

– az eleveniszapos medencebeli keverék szennyvíz szuszpendált szilárdanyag-tartalma (MLSS), mg/l,
– recirkulációs iszap szuszpendált szilárdanyag-tartalma, mg/l,
– előülepített szennyvíz szuszpendált szilárdanyag-tartalma, mg/l,
– átlagos napi szennyvízhozam, l/s,
– a pillanatnyi, szivattyúzott recirkulációs iszaphozam, l/s.

b) Kiszámítható paraméterértékek:

– az eleveniszapos medence szilárdanyag-mennyisége, kg,
– az előülepítőből származó szilárd anyag napi mennyisége, kg/d,
– iszapkor, d.

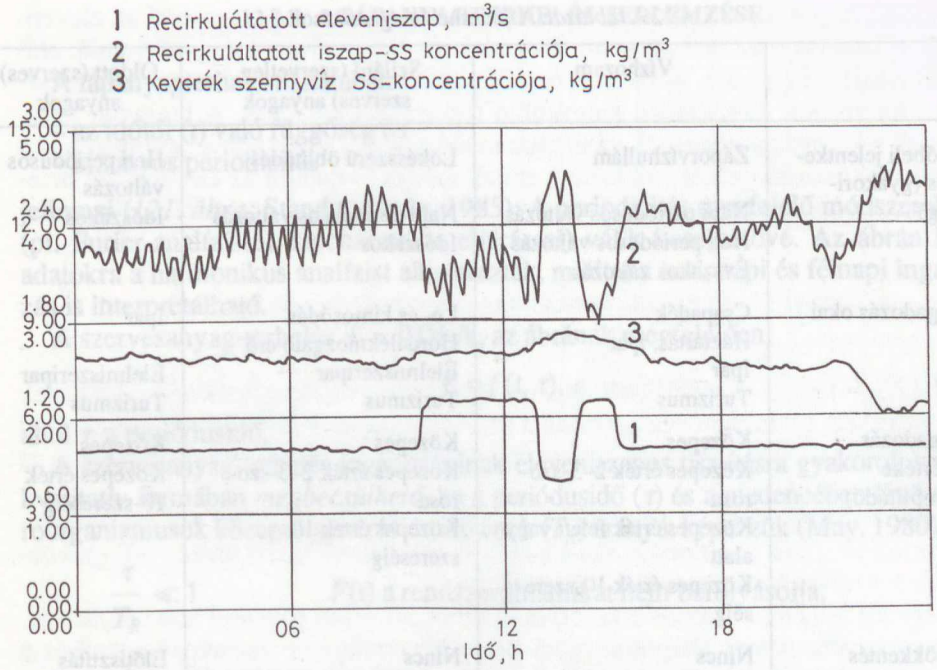
c) Szokásostól eltérő, szivattyúzandó többlet recirkulációs iszap napi mennyisége, l/d =

$$= \frac{\text{az utóülepítőből eltávolítandó többlet iszap, kg/d}}{\text{recirkulációs iszapkoncentráció, mg/l}} .$$

d) Az összes szivattyúzandó recirkulációs iszap napi hozama; l/s = pillanatnyi hozam + többlethozam.

A recirkulációs iszaphozam *lökésszerű változásának* a szuszpendált szilárd anyagok SS-koncentrációjára gyakorolt hatása – példaként – a *120. ábrán* követhető (Lumley et al. nyomán, 1988). A recirkuláltatott eleveniszap hozamát (m^3/s) az idő függvényében az *1* jelű görbe, a recirkuláltatott iszap szuszpendált szilárdanyag-koncentrációját (SS, kg/m^3) a *2* jelű görbe, az eleveniszapos medencebeli keverék szennyvíz szuszpendált szilárdanyag-koncentrációját (MLSS, kg/m^3) a *3* jelű görbe szemlélteti.

Az ábra érzékelteti, hogy a recirkuláltatott iszap szuszpendált szilárdanyag-koncentrációja egy átlagérték körül ingadozik (*2* jelű görbe). Ezt az ingadozást az utóülepítőben lévő iszapkaparó megszakításos, 20 min-os ciklusú üzeme és a recirkulációs iszaphozam lépcsőszerű változása (*1* jelű görbe) okozza. Az üzemeltető szá-



120. ábra. A recirkulációs iszaphozam lépcsőszerű változására vonatkozó szuszpendált szilárdanyag-koncentráció válasz

mára a *120. ábrá*ról az alábbi fontos következtetés adódik: a recirkulációs iszap szuszpendált szilárdanyag-koncentrációjának meghatározásához *a találomra vett minták* (grab samples) *nem szolgáltathatnak hasznos információkat, ha nem ismert, hogy a minták az ingadozás milyen fázisához tartoznak.* Az adott esetben a recirkulációs iszap szuszpendált szilárdanyag- (SS-) koncentrációja 12 min alatt több mint 3 kg SS/m³ nagyságrendet változott. A paraméterértékek gyors változása a mintavétel módjával álcázódik, mint amilyen a napi hozam súlyozott átlaga. *A folyamatos mintavételezésű (hozamarányos) műszerezés az üzemeltető számára lehetővé teszi, hogy a folyamatokra gyorsan reagálhasson.*

12.8. TERHELÉSINGADOZÁS

A szennyvíztisztító telepek sajátos vonása az is, hogy a különböző terhelések nem állandósultak, hanem időben kisebb-nagyobb mértékben ingadoznak. Az ebből eredő káros hatások kiküszöbölése, ill. megelőzése gondot okozhat az üzemeltetőnek, ha nem elég gyakorlott, és az üzemeltetés feltételei nem, vagy csak részlegesen adottak. A tisztítási hatásfok csökkenése gyakran a lökésszerű (tranziens) folyamatok miatt következik be.

A fő terhelésingadozások, fajtáik, mértékeik, okaik és csökkentési lehetőségei a *29. táblázat*ban adottak (Hahn, 1985).

29. táblázat. A fő terhelésingadozások

	Vízhozam	Szilárd (szervetlen, szerves) anyagok	Oldott (szerves) anyagok
Időbeli jelentkezés (gyakoriság)	Záporvízhullám Napi periódusos változás Heti periódusos változás Évszakos változás	Lökésszerű öblítődés Napi periódusos változás Időszakos	Heti periódusos változás Időszakos
Ingadozás okai	Csapadék Háztartás, ipar Ipar Turizmus	Le- és kimosódás Hordalékmozgató erő Élelmiszeripar Turizmus	Ipar Élelmiszeripar Turizmus
Ingadozás mértéke (amplitúdó)	Közepes Közepes érték 2–3-szorosa Közepes érték felett vagy alatt Közepes érték 10-szereséig	Közepes Közepes érték 2–3-szorosa Közepes érték 10-szereséig	Közepes Közepes érték 10-szereséig
Csökkentés lehetőségei	Nincs Csapadékvíz-tározó medence Kiegyenlítő medence Kisegítőtelep (pl. ipari előtisztítás)	Nincs Túlfolyásos csapadékvíz-tározó medence Kémiai kisegítőberendezés	Előtisztítás Kémiai, biológiai kisegítőberendezés

A lökésszerű terhelések, *amelyekkel az üzemeltetőnek tisztában kell lennie, önállóan vagy egymással kombinációban* jelentkezhetnek (Grady, 1971 és Schaezler, 1971). Ezek a következők:

1. Az eleveniszapos medencébe juttatott *tápanyagok* (oldott és kollodiális szerves anyagok) *koncentrációinak változása* (Krishnan et al., 1976; Storer et al., 1969). A szakirodalom ezt a terhelést kvantitatív lökésszerű terhelésnek is nevezi.
2. Az eleveniszapos medencébe táplált *tápanyagok minőségének lökésszerű változása* (Komolrif et al., 1966). A szakirodalom ezt a terhelést kvalitatív lökésszerű terhelésnek is nevezi.
3. *Hidraulikai lökésszerű* terhelés (George et al., 1973; Olsson et al., 1986 és Chapman, 1985).
4. *Hőmérsékleti* lökésszerű terhelés (George et al., 1973).
5. *pH* lökésszerű terhelés (George et al., 1973).
6. *Oldott oxigén* okozta lökésszerű terhelés (Thabaraj et al., 1959; Gaudy et al., 1964).
7. *Toxikus vegyületek* lökésszerű jelentkezése.

12.8.1. A TÁPANYAGTERHELÉS JELLEMZÉSE

A tápanyagterhelést általában

– az időtől (t) való függőség és
– bizonyos periodicitás

jellemzi (*121. ábra;* Stand nyomán, 1985). A periodicitás megfelelő módszerekkel (pl. Furier-analízissel, stochasztikus eljárással) válik kezelhetővé. Az ábrán lévő adatokra a harmonikus analízist alkalmazták, miáltal a heti, napi és félnapi ingadozás is interpretálható.

A szervesanyag-terhelés, $F = BOI_5/h$, az ábrának megfelelően:

$$F = f(t, \tau), \tag{17}$$

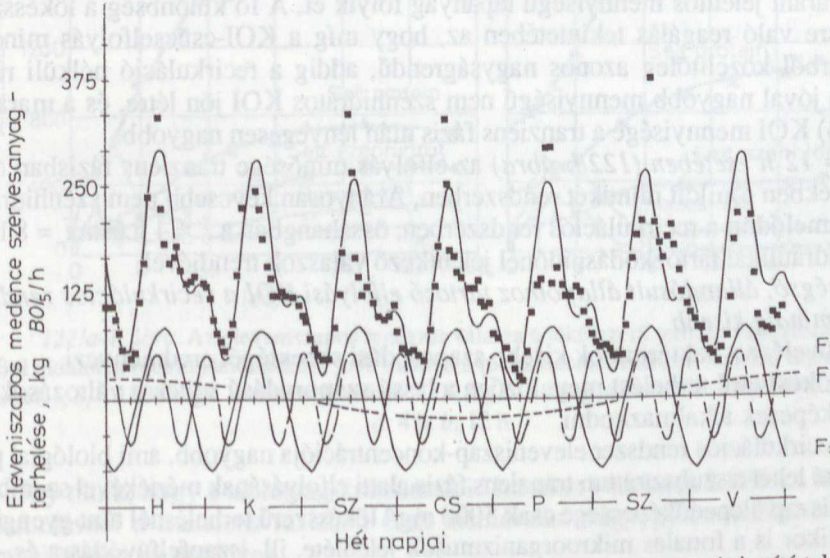
ahol τ a periódusidő.

A szervesanyag-terhelés ingadozásának eleveniszapos tisztításra gyakorolt hatása kvalitatív formában *megbecsülhető,* ha a periódusidő (τ) és a medencében lévő mikroorganizmusok közepes generációs idejének (T_R) arányát képezzük (May, 1980):

$\frac{\tau}{T_R} \ll 1$ $F(t)$ a rendszerdinamikát nem befolyásolja,

$\frac{\tau}{T_R} \cong 1$ $F(t)$ a rendszerdinamikát jelentősen befolyásolja,

$\frac{\tau}{T_R} \gg 1$ $F(t)$ a rendszerdinamikát meghatározza.



121. ábra. A szervesanyag-terhelés heti menete (schwetzingeni szennyvíztisztító telep, Németország)

A *121. ábrán* a periódusidő 12 és 24 óra. Ugyanezen nagyságrendű az eleveniszap mikroorganizmusainak generációs ideje is. Így a $\tau/T_R \approx 1$ nagyságrendű, ami gyakorlatilag azt jelenti, hogy *a terhelésingadozás a populációdinamikát befolyásolja*, ha nincs a rendszerben kiegyenlítő folyamatszabályozás. A biológiai rendszernek a környezeti tényezők változására való reagálását (response) jellemezni – a sokféle lökésszerű terhelés változása, annak módjai, valamint az eleveniszap heterogén volta (Gaudy et al., 1967; Ramanathan et al., 1969) miatt – nehéz és komplex feladat.

12.8.1.1. A TÁPANYAGKONCENTRÁCIÓ-TERHELÉS LÖKÉSSZERŰ VÁLTOZÁSÁNAK HATÁSA

A 12.3.1. fejezet már egyértelműen rávilágít a szervesanyag-terhelés mértékének szerepére. Az üzemeltetőnek azonban a szervesanyag-terhelés időbeli változásából (pl. *121. ábra*) származó hatásokkal is foglalkoznia kell, hiszen ezek a hatások is az üzemeltetés velejárói.

Ilyen irányú kutatási eredményeket példaként Krishman et al. (1976) nyomán mutatunk be. Ezen kutatások során a befolyás glukózterhelése a lökésszerű glukózterhelés (szervesanyag-terhelés) előtt 1000 mg/l.

Lépcsős terhelés esetében a befolyás 2000 és 5000 mg glukóz/l koncentrációjú. A tisztítás állandósult állapotra, teljes keverésű rendszerre vonatkozik, amikor a lökésszerű terhelés jelentkezése előtt a terhelés 1000 mg glukóz/l. A *122/a–b ábra* (Krishman et al. nyomán, 1976) a következőkre utal:

– Az átlagos hidraulikai tartózkodási idő ($\bar{t}$) növelésével, valamely lökésszerű koncentráció esetén, tranziens fázisban a rendszer válasza kedvezőbbé válik az elfolyó szubsztrátum tekintetében.

– *$\bar{t}$ = 4 h esetében (122/a ábra)* a recirkuláció nélküli és a recirkulációs rendszerből egyaránt jelentős mennyiségű tápanyag folyik el. A fő különbség a lökésszerű terhelésre való reagálás tekintetében az, hogy míg a KOI-csúcselfolyás mindkét rendszerből közelítőleg azonos nagyságrendű, addig a recirkuláció nélküli rendszerben jóval nagyobb mennyiségű nem szénhidrátos KOI jön létre, és a maradék (elfolyó) KOI mennyisége a tranziens fázis után lényegesen nagyobb.

– *$\bar{t}$ = 12 h esetében (122/b ábra)* az elfolyás minősége tranziens fázisban csak kismértékben romlott mindkét rendszerben. Arányosan kevesebb nem szénhidrátos KOI termelődött a recirkulációs rendszerben, összhangban a $\bar{t}$ = 4 h és a $\bar{t}$ = 8 h átlagos hidraulikai tartózkodási időnél jelentkező válaszok trendjével.

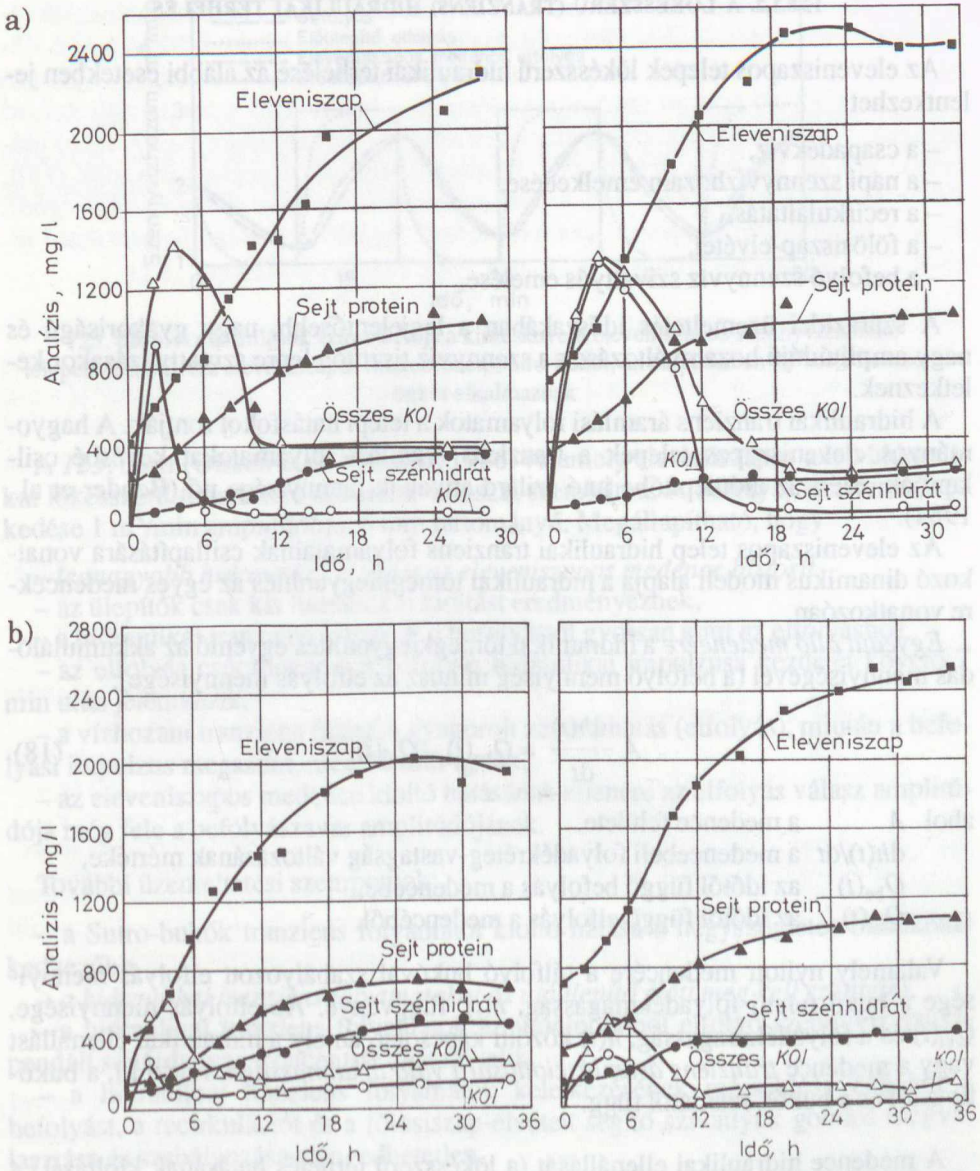
– *A végső, állandósult állapothoz tartozó elfolyási KOI a recirkulációs rendszerekben mindig kisebb.*

– $\bar{t}$ növelése a baktériumok kisebb szaporodási sebességét eredményezi.

– A lökésszerű terhelést megelőzően a lassú szaporodású sejtek a változásokhoz jobban képesek alkalmazkodni.

– A recirkulációs rendszer eleveniszap-koncentrációja nagyobb, ami biológiai puffer hatású lehet a szubsztrátum tranziens fázis alatti elfolyásának mértékével szemben.

– Az iszap ülepedőképessége csak 5000 mg/l lökésszerű terhelésnél tűnt gyengülőnek, amikor is a fonalas mikroorganizmusok jelenléte, ill. iszapfelfúvódásra és -felúszásra való hajlama vált nyilvánvalóvá.



122/a–b ábra. Az eleveniszapos rendszer válasza a lökésszerű terhelésváltozásra. Bal oldalon a recirkuláció nélküli, jobb oldalon a recirkulációs rendszer. Kezdeti tápanyag-terhelés, S_i = 1000 mg/l, tranziens fázisban 5000 mg/l · $\bar{t}$ átlagos hidraulikai tartózkodási idő. *a:* 4 h; *b:* 12 h

– Úgy tűnik, hogy a tápanyag-koncentráció hirtelen változása 200%-os lökésszerű terhelésnél a tranziens fázisban csak kismértékű vagy gyakorlatilag zéró tápanyagelfolyást eredményez.

Az eleveniszapos telepek lökésszerű hidraulikai terhelése az alábbi esetekben jelentkezhet:

– a csapadékvíz,
– a napi szennyvízhozam emelkedése,
– a recirkuláltatás,
– a fölösiszap-elvétel,
– a befolyó szennyvíz szivattyús emelése.

A szárazidei üzemeltetés időszakában a legjelentősebb, nagy gyakoriságú és nagy amplitúdójú hozamváltozások a szennyvíz tisztítótelepre szivattyúzásakor keletkeznek.

A hidraulikai tranziens áramlási folyamatok a telepi hatásfokot rontják. A hagyományos eleveniszapos telepek a tranziens áramlási folyamatokat kevésbé csillapítják, ezért az utóülepítőbe jutó szilárd anyagok mennyisége nő (Bender et al., 1984).

Az eleveniszapos telep hidraulikai tranziens folyamatainak csillapítására vonatkozó dinamikus modell alapja a hidraulikai tömegkiegyenlítés az egyes medencékre vonatkozóan.

Egyedül álló medencére a hidraulikai tömegkiegyenlítés egyenlő az akkumulálódás mennyiségével (a befolyó mennyiség mínusz az elfolyás mennyisége):

$$A \frac{\mathrm{d}h(t)}{\mathrm{d}t} = Q_{be}(t) - Q_{el}(t), \qquad (18)$$

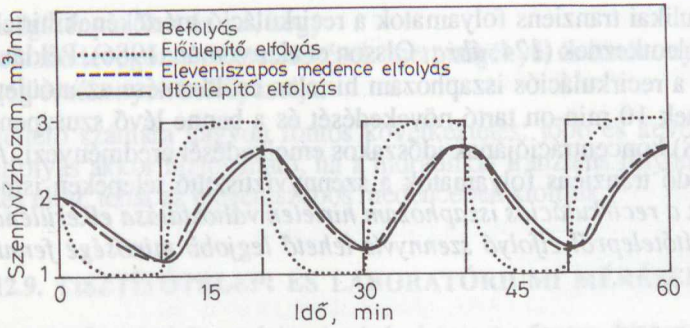
ahol A a medence felülete,
$\mathrm{d}h(t)/\mathrm{d}t$ a medencebeli folyadékréteg-vastagság változásának mértéke,
$Q_{be}(t)$ az időtől függő befolyás a medencébe,
$Q_{el}(t)$ az időtől függő elfolyás a medencéből.

Valamely nyitott medencére a túlfolyó bukóval szabályozott elfolyás mennyisége a bukó feletti folyadékmagasság, $h(t)$, függvénye. Az elfolyás mennyisége, $Q_{el}(t)$ és a folyadékmagasság, $h(t)$ közötti kapcsolat, amely a hidraulikai ellenállást vagy a medence *tranziens áramláskioltására való alkalmasságát* fejezi ki, a bukótípustól és a bukók számától függ.

A medence hidraulikai ellenállását (a lökésszerű terhelés hatásának kioltását) a következő tényezők szabályozzák:

– a bukó,
– a bukó típusa,
– a bukók száma,
– a bukó mérete és
– a medence felszínének területe.

A tranziens hidraulikai folyamatokkal szemben a legnagyobb ellenállású valamennyi bukótípus közül a Sutro-bukó [5. feje



123. ábra. Az áramlások szimulációja a kirkeskoveni eleveniszapos szennyvíztisztító telepen (Dánia). Az eleveniszapos medencében Sutro-bukót, az ülepítőkben 90°-os Thomson-bukót alkalmaznak

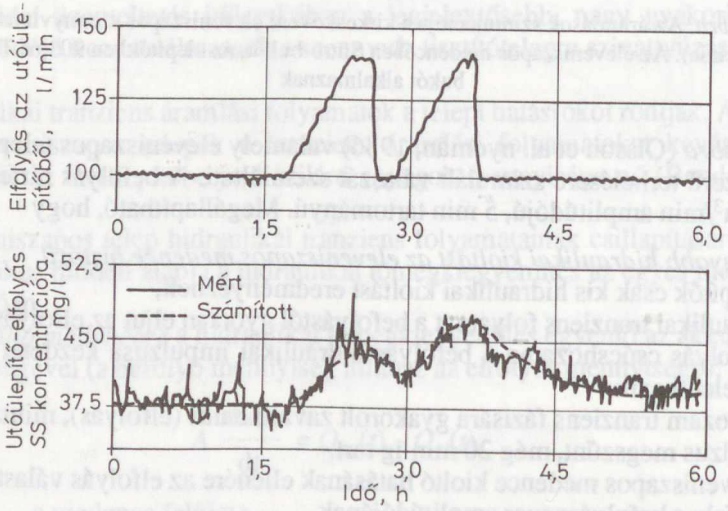
A *123. ábra* (Olsson et al. nyomán, 1986) valamely eleveniszapos telep hidraulikai lökésszerű terhelésére szimulált válaszát szemlélteti. A befolyás hirtelen növekedése 1 m^3/min amplitúdójú, 5 min tartományú. Megállapítható, hogy

– *legnagyobb hidraulikai kioltást az eleveniszapos medence biztosít,*
– az ülepítők csak kis hidraulikai kioltást eredményeznek,
– a hidraulikai tranziens folyamat a befolyástól gyorsan eljut az elfolyáshoz,
– az elfolyás csúcshozama a befolyás hidraulikai impulzusa kezdetét követő 7 min után jelentkezik,
– a vízhozam tranziens fázisára gyakorolt zavaró hatás (elfolyás), miután a befolyási impulzus megszűnt, még 20 min-ig tart,
– az eleveniszapos medence kioltó hatásának ellenére az elfolyás válasz amplitúdója még fele a befolyászavar amplitúdójának.

További üzemeltetési szempontok:

– a Sutro-bukók tranziens folyamatot kioltó hatása a négyszögletes bukóknál kedvezőbb,
– *a hidraulikai tranziens folyamatokat az utóülepítő előtt meg kell szüntetni,*
– a hidraulikai tranziens folyamatok az utóülepítőből elfolyó szennyvíz szuszpendált szilárdanyag-koncentrációját növelik,
– a hidraulikai tranziens folyamatok keletkezésének mérséklése céljából a befolyást, a recirkulációt és a fölösiszap-elvételt segítő szivattyúk gondos megválasztása és szabályozása elengedhetetlen,
– a befolyást biztosító szivattyúkat gyakran a csapadékos időszak szennyvízhozamaira méretezik, be-, ill. kikapcsolásuk pedig az elosztó műtárgy folyadékszintje által vezérelt. Az ilyen szivattyúk üzemeltetése a szárazidei időszakban jelentős hidraulikai lökésszerű terhelés okozója. Ezért a befolyást biztosító szivattyúk és elosztóműtárgyak méretezése, üzemeltetése és szabályozása a nedves- és szárazidei szennyvízmennyiség és *kombinált hatásának figyelembevétele alapján* valósítható meg,
– a kis szennyvíztisztító telepek szennyvízhozama általában nagymértékben ingadozik, ezért a *szennyvízhozam kiegyenlítése* fokozottabban lehet indokolt,

– a hidraulikai tranziens folyamatok a recirkuláció mértékének hirtelen csökkenésekor is jelentkeznek (*124. ábra;* Olsson et al. nyomán, 1986). Például a *124. ábra* esetében a recirkulációs iszaphozam hirtelen csökkentése az utóülepítő elfolyó szennyvizének 10 min-on tartó növekedését és a benne lévő szuszpendált szilárd anyagok (SS) koncentrációjának időszakos emelkedését eredményezi. A recirkulációhoz kötődő tranziens folyamatok a szennyvíztisztító telepeken ismertek (Hill, 1985). Ezért *a recirkulációs iszaphozam hirtelen változtatása elkerülendő avégből, hogy a tisztítótelepről elfolyó szennyvíz lehető legjobb minősége fenntartható legyen.*



124. ábra. A recirkulációs iszaphozam hirtelen csökkentésekor az utóülepítő elfolyása és annak SS-koncentrációja időszakosan nő (kirkeskoveni eleveniszapos szennyvíztisztító telep)

12.8.1.3. KIOLTÁSI TRANZIENS FOLYAMATOK

Az üzemeltetéssel kapcsolatos szempontok:

– A hagyományos eleveniszapos telepek hidraulikai tranziens folyamatokat kioltó kapacitása általában korlátozott. Az előülepítőbeli felúszott iszap lefölözésével kapcsolatos nehézségek elkerülése céljából a folyadékfelszín szintjének változását minimalizálni kell.

– A legtöbb eleveniszapos medencében csak nagyon kis folyadékszint-változást engednek meg. Így a recirkuláció vagy a telepi befolyást biztosító szivattyúk által okozott tranziens hidraulikai folyamatok kevésbé csillapíthatók *a szennyvíz utóülepítőbe jutása előtt* (Hill, 1985).

– Az eleveniszapos telepek hidraulikai tranziens folyamatokat kioltó képessége biztosítható az eleveniszapos medence vízszintes keresztmetszetének és az elfolyási oldal bukóinak megfelelő kialakításával: a vízszintes keresztmetszet növelése és az elfolyóoldali bukók hidraulikai ellenállásának növelése a tranziens folyamatok kioltásának mértékét növeli. Figyelembe kell azonban venni

– a gazdasági tényezőket és azt, hogy
– egyes felszíni levegőztető berendezések energiaigényét és hatékonyságát a merülési mélység érzékenyen befolyásolja.

Az üzemeltető számára nagyon fontos következtetés: jobb és kevésbé változó minőségű elfolyás akkor biztosítható, ha a hidraulikai tranziens folyamatokat már az utóülepítés előtt, tehát az eleveniszapos medencében kioltjuk.

12.9. TISZTÍTÓTELEPI ÉS LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK

A folyamatos *telepi* és *laboratóriumi mérések* szerepe fontos, hiszen ezáltal állapítható meg, hogy a tisztítótelepről kikerülő tisztított szennyvíz minősége kielégíti-e a követelményeket. Ha a kívánt minőség nem biztosítható, az üzemelőnek meg kell határozni, milyen tényező vagy tényezők változtak meg és zavarták meg a telepi hatásfokot. A legfontosabb tényezők, amelyek leginkább *megváltozhatnak:*

– az eleveniszapos medence BOI- (vagy KOI-) terhelése nagyobbá vált,
– a telepre befolyó szennyvíz nehezebben lebontható, vagy lebonthatatlan komponenseket tartalmaz,
– a fölösiszap-elvétel mértéke kisebb vagy nagyobb,
– nem megfelelő az iszapkoncentráció az eleveniszapos medencében (MLSS),
– a recirkuláció nem megfelelő mértéke az eleveniszapos medence iszapkoncentrációját (MLSS) károsan befolyásolja,
– a telep elejére visszavezetett rothasztó iszapvíz nem megfelelő lebegőanyagtartalma vagy a túl gyors visszavezetés,
– az oldott oxigén koncentráció lecsökkenése az eleveniszapos medencében,
– a szennyvíz-hőmérséklet emelkedése vagy süllyedése.

A *napi* telepi és laboratóriumi mérések, analízisek az üzemeltetőket segítik abban, hogy a legmegfelelőbb üzemelési tartományokat meghatározhassák, ill. ellenőrizhessék, jelzik a rendellenességeket, elősegítik azok forrásainak identifikálását.

A napi alapon történő mérések a következők (Brady, 1988):

1. Szuszpendált lebegőanyagok és az illékony tartalom
   a) előülepítő-elfolyás,
   b) eleveniszapos medence keverék szennyvize,
   c) recirkulációs iszap,
   d) utóülepítő-elfolyás.

2. BOI_5, KOI, TOC (a szennyvízben lévő összes szerves szén)
   a) telepi befolyás,
   b) előülepítő-elfolyás,
   c) utólepítő-elfolyás
   (KOI ajánlott a szennyvíz szennyezettségi mértékének a meghatározásához, mert a meghatározás csupán néhány órát igényel és az eleveniszapos folyamatok szabályozásához is alkalmazható.
   A BOI_5-meghatározás hátrányai: (1) az eljárás hibáinak szórása nagy; (2) a meghatározás 5 napig tart, ami hosszú időszak.)

3. Oldott oxigén
   a) eleveniszapos medence keverék szennyvize,
   b) utóülepítő-elfolyás,
   c) telepi elfolyás.
4. Ülepíthető szilárd anyagok
   a) telepi befolyás,
   b) eleveniszap ülepíthetőségének vizsgálata,
   c) rothasztó iszapvíz,
   d) telepi elfolyás.
5. Hőmérséklet
   a) befolyás,
   b) eleveniszapos medence keverék szennyvize,
   c) (telepi) elfolyás.
6. pH és redoxpotenciál
   a) befolyás,
   b) előülepítő-elfolyás,
   c) eleveniszapos medence,
   d) telepi elfolyás.
7. Átlátszóság (Secchi-korong) vagy zavarosság (zavarosságmérő)
   a) utóülepítő.
8. Klórigény
   a) utóülepítő-elfolyás.
9. Coliform-csoport baktériumok
   a) telepi elfolyás.
10. Mérőberendezések leolvasása és számítások
    a) napi szennyvízhozam,
    b) levegőztetett szilárd anyag súlya,
    c) az eleveniszapos medencébe jutó KOI- és BOI-mennyiség,
    d) befolyó szennyvíz lebegőanyag-súlya,
    e) recirkulációs iszaphozam (koncentráció),
    f) fölösiszap-hozam,
    g) eleveniszapos medencébe kerülő levegő (diffúzor-levegős rendszer); különböző sebességgel történő üzemeltetés (mechanikai levegőztetés),
    h) iszapkor (átlagos sejttartózkodási idő),
    i) rothasztóba jutó iszap szilárdanyag-súlya,
    j) a rothasztó iszapvíz szilárdanyag-súlya,
    k) energiafogyasztás.
11. Napi megfigyelések
    a) szagok,
    b) befolyás, annak színe,
    c) előülepítő,
    d) eleveniszapos medence: turbulencia, szín, felszíni hab és felúszott iszap,

e) utóülepítő: elfolyás tiszta vagy zavaros; a felúszott iszap fajtája,
f) recirkulációs iszap: szín és szag,
g) berendezések és motorok: megfelelő üzemelés, vibrációk, hangok és hőmérséklet,
h) szennyvízbevezetés helye feletti és alatti befogadószakasz minősége.

12. Alkalmanként a mikroszkópos vizsgálatokat az eleveniszap-pehely szerkezetének meghatározására is ki kell terjeszteni.

12.10. MIKROBIOLÓGIAI ANALÍZIS

Minthogy az eleveniszapos eljárás nagyon komplex és a szennyvízhozam minősége folyamatosan változik, az üzemeltető számára a mikrobiológia is az egyik eszköz, amellyel a telepi elfolyás követelményeinek kielégítését segítheti. A rendszerben lévő mikroorganizmusok

– fajtáinak és
– mennyiségének

ismerete az üzemeltetőt képessé teszi a folyamatváltozások pontosabb meghatározására. *A mikroszkóp használatával a mikrobiológiai változások számos esetben már akkor felismerhetők, amikor az elfolyás minősége még jó, és mielőtt a laboratóriumi analízisek számottevő változásra utalnának.*

12.10.1. MINTAVÉTEL

A mikroszkópi vizsgálatokhoz az eleveniszapos medencéből vett *mikrominták* egyediek kell legyenek. Vételük mindennap azonos órában történjék, az iszaptérfogati index meghatározásához szükséges egyedi minta vételével egyidőben. Ezáltal az üzemeltető a mikroszkópi megfigyeléseket az iszaptérfogati index (SVI) változásával kapcsolatban tudja hozni. Átlagminták nem alkalmasak. Ne használjunk szennyvizet valamely mintavételi csőből mikroszkópi vizsgálatok céljára. A mikroszkópi mintavételhez 100–300 ml térfogatú műanyag palack alkalmas.

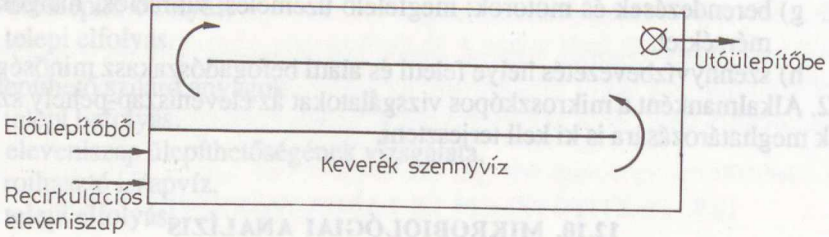
12.10.2. MINTAVÉTELI HELYEK

A mintavétel helye mindig azonos legyen. *A hely az eleveniszapos medencében ott legyen, ahol a mikroorganizmusok „éhesek". Ezáltal a mikroszervezetek egészséges volta és a tápanyag-felhasználási készség felől tájékozódni lehet.*

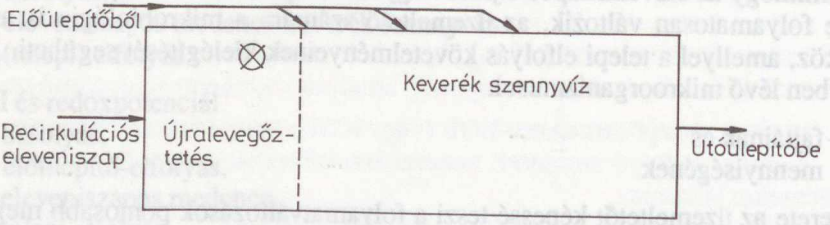
A sajátos mintavételi helyekről a négyféle eleveniszapos üzemeltetési mód esetében a *125/a–d ábra* tájékoztat (Bahlier nyomán, 1988).

A hagyományos eleveniszapos medencében (125/a ábra) legyen a medence négyszögletes vagy kör alaprajzú, párhuzamos vagy soros kapcsolású, *a mintát az elfolyási hely közeléből kell venni, ahol a tápanyag már felhasznált, így a baktériumok „éhesek".*

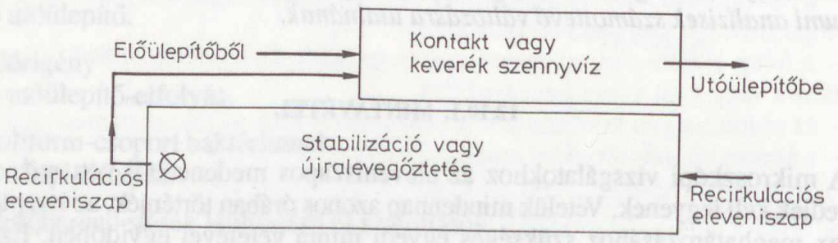
a) HAGYOMÁNYOS



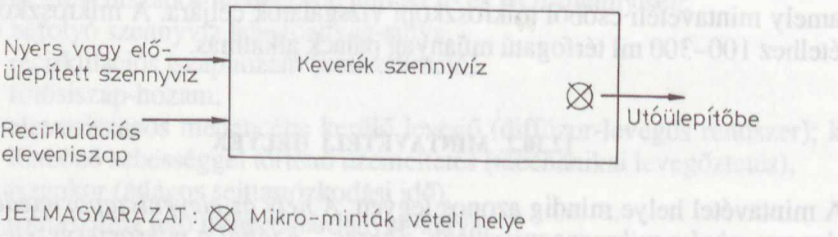
b) LÉPCSŐS TÁPLÁLÁS



c) KONTAKT STABILIZÁLÁS



d) HUZAMOS IDEJŰ LEVEGŐZTETÉS



125/a–d ábra. **Mintavételi helyek a különböző eleveniszapos rendszerekben**

A lépcsős táplálású eleveniszapos rendszerben (125/b ábra) két külön zóna van:

– keverék szennyvíz és
– újralevegőztetési zóna.

A keverékszennyvíz-zónában a baktériumok oldott és kolloidális szerves anyagokat abszorbeálnak és adszorbeálnak, ami azt jelenti, hogy bizonyos mennyiségű tápanyag bediffundál a sejtbe (abszorpció), míg a tápanyagok másik része a sejtfal külső oldalán adszorbeálódik, hogy azután hasznosítható formájú tápanyaggá válhasson. Miután a baktériumok az utóülepítőben szeparálódnak, a recirkuláció révén visszajutnak az újralevegőztetési zónába, ahol az adszorbeált tápanyag már felhasznált. *A baktériumok az újralevegőztetési zóna végén már „éhesek". Így a legjobb mintavételi hely az újralevegőztetési zóna végén van,* mielőbb a baktériumok tápanyaghoz jutnak. De *a mintavételi hely ne legyen nagyon közel az előülepített – tápanyaggal teli – szennyvíz keverékszennyvíz-térbe való bevezetési helyéhez, mert gyakran fordul elő tápanyag-visszakeveredés.*

A kontakt stabilizációs rendszer (125/b ábra) üzemelési módja bizonyos mértékig a lépcsős rendszeréhez hasonló. A kontakt zóna a lépcsős rendszer keverékszennyvíz-zónájához hasonló. A stabilizációs zóna a lépcsős táplálású rendszer keverékszennyvíz-zónájához hasonló. A stabilizációs zóna a lépcsős táplálású rendszer újralevegőztetési zónájához hasonló.

A kontakt stabilizációs medencében a baktériumok és a tápanyagellátás közötti kontaktidő nagyon rövid. Az adszorpció sebessége nagy és a baktériumok általi szervesanyag-abszorpció kismértékű.

Miután az eleveniszap az utóülepítőben leülepszik, a baktériumok a recirkuláció révén visszajutnak a stabilizációs zónába, hogy az előzőleg felvett adszorbeált szerves anyagon élhessenek. *A stabilizációs zóna végén minden tápanyag felhasználódik, ezért itt a mikromintavétel helye.*

A huzamos idejű levegőztető medencében a mintavétel legjobb helye az elfolyásnál van (125/d ábra).

A minták vételük után 15 min-on belül a laboratóriumba szállítandók és az analízishez előkészítendők. Bizonyos baktériumok érzékenyek az oldott oxigén hiányára és könnyen elhalnak, ha a minta túl öreg.

12.11. AZ ELEVENISZAPOS RENDSZEREK ÜZEMELÉSI ZAVARAI, A ZAVAROK OKAI, AZ OKOK FELISMERÉSE ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSE

Az eleveniszapos rendszer üzemeltetése, amint a 9., 10. és 11. fejezetben már hangsúlyoztuk, a legtöbb tisztító- és kezelőrendszernél összetettebb. *Olyan bonyolult, sok tényező által befolyásolt folyamatváltozások játszódnak le, amelyek felismerése, a folyamatmódosítások megválasztása, a telepi elfolyás kívánt minőségének folyamatos biztosítása képzett, rutinos és felelősségérzettel rendelkező üzemeltetőket igényel. Az az üzemeltető, aki a tudományt lebecsüli, annak értékét nem méri fel, az üzemeltetéssel kapcsolatos gyakorlati ismereteket nem birtokolja, a jövőben feladatkörét egyre kevésbé képes betölteni. Ezzel kapcsolatban azt sem lehet eléggé hangsúlyozni, hogy a nem kellő szakértelmű üzemeltetés a környezetvédelmi célkitűzések jelentős részének megvalósítását eleve lehetetlenné teszi.*

Az üzemeltetési igények természetét, sokféleségét jól érzékelteti a *30. táblázat*, amely az eleveniszapos rendszerek üzemelési zavarait, azok okait, az okok felismerését és kiküszöbölésük ajánlott módjait tartalmazza (Szilágyi, 1993; Solti, 1993; Szombati, 1993; Culp et al., 1978; Brady et al., 1989; Kollár, 1993).

30. táblázat. Az eleveniszapos rendszerek üzemeltetési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölésük módjai

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Biológiai tisztítás hatásfoka (aktivitás) csökken	Nagy hidraulikai és szervesanyag-terhelés, alacsony oxigén koncentráció	Terhelésmérés, labormérés	Terhelés csökkentése, légbevitel növelése
	Gyárak, üzemek lökésszerű szennyvizei	Labormérés	Szennyező forrás felkutatása, kizárása
	Üzemi fegyelmezetlenség	Mechanikai vagy elektromos mennyiségmérés	Az előírt terhelés beállítása, O_2-bevitel növelése
	Levegőztető egységek leálltak, áramszünet, kábelhiba (oxigénhiány)	Szemrevételezés, elektromos mérés, O_2-mérés	Intézkedés áramszolgáltató felé, elektromos hiba behatárolása, elhárítás
	Levegőztető egy-egy hajtóműve leáll (O_2-hiány)	Műszeres mérés Próbakapcsolás	A hibás hajtómű vagy elektromotor cseréje
	Recirkulációs arány csökkenése	30 perces ülepítés	A recirkulációs arány 100% fölé emelése, majd 2–3 óra üzem után az előírt értékre állítása
	Toxikus szennyvíz lökésszerű betáplálása	Laborvizsgálat Aktivitásmérés	A toxikus forrás felderítése és kizárása
	pH lúgos vagy savas irányba történő változása	pH-mérés	pH-beállítás
	Hőmérséklet-csökkenés		
	Eleveniszapban fajszelekció következik be (indikátorszervezetek hiánya)		
Szervesanyag-lebontás sebessége csökken	Berothadás, anaerob anyagcsere, nehézfémek hatása	Laborvizsgálat	Előklórozás, a toxikus koncentráció csökkentése hígítással

30. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
A nitrifikáció megszűnik	Kis oxigénkoncentráció, a pH < 6,0	Laborvizsgálat	Oxigénkoncentráció növelése, mésztejadagolás
Vékony, fehér színű hab az eleveniszapos medence felszínén	Kis iszapkoncentráció (MLSS), nagy detergens- (ANA-) tartalom	Laborvizsgálat MLSS-szemrevételezés	Fölösiszap-elvétel csökkentése az MLSS növelése céljából Szilikonolaj-adagolás
Sárgásbarna hab az eleveniszapos medence felszínén (vízsugárral nem tüntethető el)	Nagy iszapkoncentráció Az iszap tartózkodási ideje az eleveniszapos medencében túl hosszú	Ha az iszap tartózkodási ideje > 9 nap, valószínűleg ez az ok	Fölösiszap-elvétel mértékének növelése az iszap tartózkodási idejének csökkentése céljából
A recirkulációs iszap bűzös	Holt terek a rendszerben, ahonnan pangó iszap jut az iszap körforgásába	Mikroszkópos vizsgálat; kénbaktériumok jelenlétének vizsgálata (pl. Thiothrix spp.)	A holt terek felderítése, megszüntetése
	Sok az eleveniszap az utóülepítőben	30 perces ülepítés, iszapszintmérés	Fölösiszap-elvétel, szükség esetén a recirkuláció mértékének növelése
	Utóülepítő kotrójának elhasználtsága (holt tér, pangás)	Víz leeresztése, szemrevételezés	Kotrólapát és gumilemezének javítása, cseréje
Iszapfelfúvódás	Nagy tömegű fonalas mikroorganizmus az eleveniszapban	Labormérés (Mohlmann-index)	Szervesanyag-terhelés tartós növelése több napon át
		Mikroszkópos vizsgálat	Eredménytelenség esetén a rendszer fertőtlenítése
Iszapfelúszás az utóülepítő felszínére	Felületi terhelés nagy	Mérés (bukógát stb.)	A túlterhelés okának felderítése és megszüntetése
	Holt terek az utóülepítőben	Az utóülepítő leürítése, szemrevételezés	Holt terek felderítése, megszüntetése
	Fonalas mikroorganizmusok uralkodnak az eleveniszapos medence keverék szennyvizében (bulking sludge)	SVI, ha <100, a fonalas mikroorganizmusoknak nincs szerepük	(1) Ha az O_2<1 mg/l az eleveniszapos medencében, az O_2-koncentráció növelendő
		Mikroszkópi vizsgálat	(2) pH növelése a 7,0 értékig

30. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
			(3) Tápanyagok pótlólagos adagolása max. a következő arányokig: 100 mg BOI_5/l : 5 mg összes nitrogén/l; 100 mg BOI_5/l : 1 mg foszfor/l; 100 mg BOI_5/l : 0,5 mg vas/l
			(4) 5–60 mg/l klór adagolása a recirkulációs iszaphoz, míg SVI < 150 tartományba kerül
			(5) 50–200 mg/l hidrogén-peroxid adagolása az eleveniszapos medencébe, míg SVI < 150 tartományba kerül
			(6) Iszap tartózkodási idő (iszapkor, SRT) növelése
			(7) Recirkuláció növelése
	Denitrifikáció az utóülepítőben; nitrogéngáz-buborékok az iszaprészecskékhez kapcsolódnak; iszapcsomók felúsznak	NO_3^--koncentráció az utóülepítőbe befolyó szennyvízben; ha NO_3^- nincs, akkor a nitrát nem lehet ok	(1) Recirkuláció-mérték növelendő
			(2) Az O_2-koncentráció az eleveniszapos medencében növelendő
			(3) Az iszaptartózkodási idő (SRT) csökkentendő
A tisztított szennyvíz lebegőanyag-tartalma nagy	A rendszer huzamosabb ideig alulterhelt (totál oxidáció)	Labormérés	A hidraulikai és szervesanyag-terhelés növelése
	Keletkező nitrogén az iszappelyheket felúsztatja	Labormérés	Mint az előző
	Mint „iszapfelúszás utóülepítőben" alatt	Labormérés	Mint iszapfelúszás alatt

30. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Iszapindex túl nagy Fonalas mikroszervezetek nincsenek	Szervesanyag-terhelés Toxikus szennyvíz	Labormérés (Mohlmann-index)	Levegőztetés növelése Recirkuláció csökkentése Fölösiszap intenzív elvétele Recirkulációs iszap klórozása (5 mg/l-adag)
Gyenge, kicsi pelyhek (pinpoint-pelyhek) az utóülepítőből elfolyó szennyvízben	Túlzott mértékű turbulencia az eleveniszapos medencében	Oldott oxigén koncentráció az eleveniszapos medencében	Levegőztetés mértékének csökkentése
SVI kedvező, de az utóülepítőből elfolyó szennyvíz zavaros	Túloxidált iszap	Az iszap külső megjelenése	Iszapelvétel növelése az utóülepítőből az iszap tartózkodási idejének (SRT) csökkentése céljából
	Anaerob állapotok az eleveniszapos medencében	Oldott oxigén koncentráció az eleveniszapos medencében	Oldott oxigén koncentráció növelése az eleveniszapos medencében
	Toxikus, lökésszerű terhelés	Iszap mikroszkopikus ellenőrzése inaktív protozoák szempontjából	Az eleveniszapos medence újraoltása más telepről származó iszappal (ha lehetséges); ipari szennyvizekkel kapcsolatos előírások betartása
A recirkulációs iszap koncentrációja kicsi (< 8000 mg/l)	A recirkuláció mértéke nagy	Recirkulációs iszapkoncentráció; szilárdanyag-egyensúly az utóülepítőben; ülepíthetőségi vizsgálat	Recirkuláció mértéke csökkentendő
	Fonalas mikroszervezetek elszaporodása	Mikroszkópi vizsgálat, O_2-vizsgálat, pH-, nitrogénkoncentráció	O_2-koncentráció növelése, pH emelése, nitrogénpótlás, klóradagolás
	Actynomicites szervezetek uralkodó volta	Mikroszkópi vizsgálatok, oldott vas tartalom	Vasvegyület-adagolás, ha az oldott vas < 5 mg/l

30. tábl. folyt.

ɛmelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
eleveniszaɔ medence az ülepítő-iszap hőjéből szárɹzó, visszafortott sötét iszat tartalmaz	Elégtelen levegőztetés	Eleveniszapos medence oldott oxigén koncentrációja	(1) A levegőztetés mértéke növelendő még egy kompresszor beiktatásával (2) Terhelés csökkentése, még egy eleveniszapos medence üzembe helyezésével (3) Levegőztető csőrendszer ellenőrzése repedés szempontjából (4) Eltömődött diffúzor(ok) tisztítandó(k)
ɹ keverék zennyvíz szuszɔendált szilárdɹnyag-koncentɾációja (MLSS) lényegesen eltér az egyes medencékben	Egyenlőtlen szennyvízbevezetés az egyes medencékbe	Szennyvízbevezetés az egyes medencékbe	A bevezetett mennyiségek és/vagy bevezető tolózárak szabályozása az egyenletes bevezetés érdekében
Iszapfelhő túlfolyik az utóülepítő minden részéből	Elégtelen recirkuláció	Recirkulációs szivattyú outputja	(1) Ha a recirkulációs szivattyú rosszul üzemel, másik szivattyú helyezendő üzembe; javítás (2) Ha a szivattyú jó állapotú, a recirkuláció mértéke növelendő, miközben az iszapfelhő mélysége ellenőrzendő; 0,3–1,0 m mély iszapfüggöny állítandó be. Ha az iszapfüggöny vastagsága nő, a recirkuláció mértéke növelendő (3) Recirkulációs vezeték tisztítandó (ha eltömődött)

30. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	A szennyvíz egyenlőtlen eloszlása az utóülepítőben, ezáltal egyenlőtlen hidraulikai terhelés	Az utóülepítőkbe jutó szennyvíz mennyisége	Bevezető tolózárak és/vagy zsilipek állítása az egyenletes elosztás céljából
	Utóülepítők hidraulikai csúcsterhelése	Túlfolyás mennyisége hidraulikai csúcsterheléskor, ha az > 40 $m^3/m^2 \cdot d$, valószínűleg ez az ok	Kiegyenlítés beiktatása szükséges a rendszerben, vagy a telep kapacitása növelendő
	A szilárdanyag-terhelés nagyon nagy az utóülepítőben	A terhelés ne lépje túl a 6 $kg/m^2 \cdot d$ értéket	Az MLSS-koncentráció csökkentendő a fölösiszapelvétel növelésével
A lebegő iszapfelhő-elfolyás az utóülepítő bukóján csak az utóülepítő egy részén jelentkezik	Egyenlőtlen áramláseloszlás az utóülepítőben	Elfolyást biztosító bukó	Elfolyást biztosító bukók szintjeinek beállítása
Az eleveniszapos medence keverék szennyvizének pH-ja ≤ 6,7. Az iszap sűrűsége csökken	Nitrifikáció jelentkezik, a szennyvíz lúgossága alacsony	Elfolyó NH_3 Befolyó és elfolyó lúgosság	(1) Ha a nitrifikáció nem igényelt, az iszapkor a fölösiszap-mennyiség növelésével csökkentendő (2) Lúgosságot növelő vegyszer (mész vagy nátrium-bikarbonát) adagolandó
	Savas szennyvíz jut az eleveniszapos medencébe	Befolyás pH-értéke	A forrás felderítendő és a savas szennyvíz tisztítótelepre jutása megakadályozandó
Recirkulációs rendszer felszíni levegőztetőinek eltömődése	Elégtelen rácsszűrés	Előülepített szennyvíz lebegőanyag-tartalma	Finomabb rácsszűrő beiktatása Előülepítő hatásfokának növelése
Homok- (grit-) akkumulálódás az eleveniszapos medencében	Homokfogó hiánya, a meglévő homokfogó elégtelen hatásfoka, hidraulikai csúcsterhelése	Előtisztítás	Homokfogó kapcsolandó a rendszerbe Homokfogó kívánt hatásfokának biztosítása
A recirkulációs és fölösiszap mennyisége vagy szabályozása elégtelen	Mérőberendezések hiánya		Recirkulációs és fölösiszaphozam-mérő berendezés beiktatása

30. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Felületi levegőztetők szennyvizet fröcskölnek a járdákra, amelyek síkossá válnak	Elégtelen tervezés	Szemrevételezés	Védőberendezések létesítése
Általános üzemzavarok jelentkezése	Merev üzemeltetés	Üzemelésrugalmasság beiktatása a mérések alapján	A rendszer módosítása: cső-, lépcsős vagy kontakt stabilizációra való átváltás
A tisztított szennyvíz minősége ingadozik	Terhelésingadozás A nyers szennyvíz minősége változik	Szennyvízmennyiség mérése Be- és elfolyó szennyvíz vizsgálata	Mennyiségi és minőségi kiegyenlítés Iszapmunka megfelelő értéken tartása (tartózkodási idő · iszapkoncentráció)
Tartósan opalizált a tisztított szennyvíz („flokk"-szétesés)	pH-érték 8,0–9,0 között van Egyoldalú tápanyagkínálat	Átlátszósági vizsgálat Tápanyagvizsgálat	pH-korrekció végrehajtása Tápanyag-kiegészítés
Lokálisan oldott oxigénhiány	Hidraulikai holt tér	Oldott O_2 „térkép" készítése	Áramlástani beavatkozás Levegőztető elemek telepítése
Tartós oldott oxigén hiány	Hidraulikai és/vagy szervesanyag-túlterhelés	Oldott O_2 mérés	Medence térfogatnövelése Oxigénbeviteli kapacitás növelése (újabb gépegységek beépítése, hatékonyabb befúvóelemek alkalmazása)
Zsírgolyók és zsíros hab képződik a levegőztető medencében	Nincs zsírfogás Az előülepítő uszadék lefölözője nem jól működik	Extrakttartalom mérése Vizuális megfigyelés	Zsírfogó berendezés üzembe helyezése Előülepítő uszadék fogásának javítása
Nagymértékű habképződés (kifolyik a levegőztető medencéből)	A nyers szennyvíznek nagy a detergens-, fenol- vagy oldószertartalma	Vizuális észlelés	Habzásgátló adagolása Vízpermettel a hab megtörése
Az elfolyó tisztított szennyvíz minősége nem a biológiai terhelésnek megfelelő	Ipari behatás következtében a szennyvíz biológiailag bonthatatlan hányada nagy	Bonthatósági vizsgálat	A kérdéses anyag kibocsátásának megszüntetése Háziipari szennyvízarány növelése

30. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
Nitrifikációs rendszerben a nitrifikáció csökken	Terhelésnövekedés Toxikus lökés	Tisztított szennyvízből nitráttartalom-vizsgálat	Terhelés csökkentése Recirkuláció növelése
Biológiai foszforeltávolítás hatásfoka gyenge	Rövid az anaerob medencében a tartózkodási idő Könnyen bontható szubsztrát hiánya (acetát, propionát) Nitrát jelenléte	Kémiai vizsgálatok (P, NO_3^-, illósav)	Az anaerob medence térfogatának bővítése Nitráteltávolításra anoxikus medence beállítása
Denitrifikáció hatásfoka elégtelen	Az anoxikus medencetérfogat elégtelen A nyers szennyvíz szervesanyag-tartalma kevés Az anoxikus tér és a levegőztető medence között a recirkuláció elégtelen	Tisztított szennyvíz nitráttartalma	Anoxikus medence térfogatának növelése Recirkuláció növelése
	Diffúzor-levegőztetők		
Finombuborékos diffúzor	Külső eltömődés	Biológiai hártya	Levegőelosztó cső (header) emelése, diffúzor eltávolítása, diffúzor ledörzsölése és lemosása
	Belső eltömődés	Szennyeződések az elosztórendszerből	Levegőelosztó cső emelése, diffúzor eltávolítása, diffúzor ledörzsölése és lemosása Levegőszűrők beiktatása, gyakoribb tisztításuk
Durvabuborékos diffúzor	Külső eltömődés	Biológiai hártya	Levegőztető cső emelése Diffúzor ledörzsölése és lemosása Havonta egyszer a normál levegőhozam 2–3-szorosának megfelelő levegőmennyiség fúvandó 15 percen át a diffúzorokba, a diffúzor nyílásainak kifúvása céljából

30. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	Eltörött diffúzor	Beépítéskor túlfeszítés történt Szerkezeti hiba	Új diffúzor beépítése
Finom- és durvabuborékos diffúzorok	Rongyok, haj, szálas anyagok akkumulálódása	Előtisztítás hatásfoka elégtelen, normál állapotok	Emelendők a levegőelosztó csövek és a diffúzorok tisztítandók
	Elégtelen diffúziós viszonyok, vagy oxigénátadás	Eltömődött diffúzorok	Diffúzorok tisztítása
		Nem megfelelő diffúzor-elrendezés	Diffúzor-elrendezés módosítása
		Túl kevés diffúzor	További diffúzorok beépítése vagy másfajta diffúzorok beiktatása
Levegőszállítás kicsi	Fúvóprobléma Elzárószerelvény helytelen beállítása	Szemrevételezés	Helyes beállítás
Nagy buborékok a medence kis felületén	Membránszakadás	Leürítés, szemrevételezés	Membráncsere
Levegőelosztás nem egyenletes	Membráneltömődés	Szemrevételezés	Légfúvó leállítása, újraindítása
	Kondenzvíz-lecsapódás a vezetékben		Vízlefúvató vezeték szelepének nyitása
A sűrített levegős eleveniszapos medencében a felszálló buborékok nagyon nagy méretűek és a medence egyes részeiben felhalmozódnak	Diffúzorok eltömődése	Vizuális megfigyelés	Diffúzorok tisztítása vagy cseréje Levegőellátó berendezés ellenőrzése A kompresszor előtt levegőtisztító beiktatása a szennyezett levegő okozta eltömődés elkerülése érdekében
Holt terek az eleveniszapos medencében	Diffúzorok eltömődése	Szemrevételezés	Diffúzorok tisztítása Levegőtisztító beiktatása a kompresszor elé a szennyezett levegő okozta diffúzor-eltömődés megakadályozása céljából

30. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	Elégtelen mértékű levegőztetés (kis oldott oxigén koncentráció)	Oldott oxigén koncentráció és a recirkuláció mértékének ellenőrzése	A levegőztetés mértékének növelése az 1–3 mg/l oldott oxigén koncentráció biztosítása céljából
Oldott oxigén koncentráció lecsökken a levegőztető medencében	Terhelésnövekedés Megnőtt az iszapkoncentráció a levegőztetőben (endogén légzés)	Oldott oxigén mérése Iszapkoncentráció (üledéktérfogat) folyamatos ellenőrzése	Az oxigénbevitel növelése Iszapelvétel Levegőellátó rendszer átvizsgálása, a szükséges beavatkozások elvégzése
	Befújt levegőmennyiség csökkenése (légellátó rendszer kapacitásának csökkenése: előszűrők vagy befúvó eltömődése, gépek vagy zárószerelvények meghibásodása)	Vizuális észlelés (buborékkép) Levegőmennyiség mérése	
Tömör hab képződése (főleg légbefúvásos rendszerekben)	Nocardia-elszaporodás az eleveniszapban	Vizuális észlelés	Anoxikus zóna beiktatása A hab megtörése vízpermettel

12.12. IRODALOM

Activated Sludge Press (1974), Part, I. II. IIA és IIIB. *U.S. EPA National Training and Operational Technology Center*, May.

Bahlier, P. V. (1988): Microbiology for Activated Sludge. In: *Operation of Wastewater Treatment Plants*. Vol. 2. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water Programs.

Bender, J. H., Crosby, R. M. (1984): Hydraulic Characteristics of Activated Sludge Secondary Clarifiers. *Project Summary*, U.S. EPA 600/52-84-131.

Brady, J. (1989): Activated Sludge. In Kerri, K. D.: *Operation of Wastewater Treatment Plants*. Vol. 1., EPA. California State University, Sacramento.

Chapman, D. T. (1985): Final Settler Performance during Transient Loading. *J. WPCF*, Vol. 57.

EPA (1974): Process Design Manual for Upgrading Existing Wastewater Treatment Plants. *EPA-625/1-71-004a*, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.

EPA (1989): Design Manual Fine Pore Aeration Systems. EPA/625/1-89/023.

Gaudy, A. F. Jr. et al. (1967): Kinetic Behaviour of Heterogeneous Populations in Completely Mixed Reactors. *Biotechnol. and Bioeng.*, IX, 387.

Gaudy, A. F. Jr., Turner, B. G. (1964): Effect of Airflow Rate on Response of Activated Sludge to Quantitative Shock Loading. *J. WPCF*, Vol. 36, No. 6, June.

George, T. K. and Gaudy, A. F. Jr. (1973): Response of Completely Mixed Systems to Hydraulic Shock Loads. *J. Environ. Eng. Div., Proc. Amer. Soc. Civil Engr.*, 99. EE5, 593.
George, T. K. and Gaudy, A. F. Jr. (1973): Transient Response of Completely Mixed Systems to Changes in Temperature. *Appl. Microbiol.*, 26, 796.
George, T. K. and Gaudy, A. F. Jr. (1973): Response of Completely Mixed Systems to pH Shock. *Biotechnol. and Bioeng.*, XV. 933.
Grady, C. P. L. Jr. (1971): A Theoretical Study of Activated Sludge Transient Response. *Proc. 26th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., W. Lafayette, Ind.*, 318.
Hahn, H. H. (1985): Die Bewältigung von Belastungschwankungen mit chemischen Mitteln. In *Belastungschwankungen auf Kläranlagen: Auswirkungen und Möglichkeiten zur Reduktion.* Institut für Siedlungswasserwirtschaft Universität Karlsruhe. H. 41.
Hegg, B. A., De Mers, L., Barber, J. (1989): Retrofitting POTWs. Handbook. *EPA/625/6-89/020*, July.
Hill, R. D. (1985): Dynamics and Control of Solids Liquid Separation in the Activated Sludge Process. *Ph. D. thesis*, Rice University, Houston, Tax.
Houck, D. H., Boon, A. G. (1981): Survey and Evaluation of Fine Bubble Dome Diffuser Aeration Equipment. *EPA*-600/2-81-222, NTIS No. PB82-105578, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. Sept.
Kollár Gy. (1982): *A tapolcai szennyvíztisztító telep próbaüzemének vizsgálata.* BME Szakvélemény. Budapest.
Komolrit, K. and Gaudy, A. G. Jr. (1966): Biochemical Response of Continuous-Flow Activated Sludge Processes to Qualitative Shock Loadings. *J. Water Poll. Control Fed.*, 38, 85.
Krishnan, P., Gaudy, A. F. Jr. (1976): Response of Activated Sludge to Quantitative Shock Loading. *J. WPCF*, Vol. 48, No. 5, May.
Lumley, D. J., Balmér, P., Adamsson, J. (1988): Investigation of Secondary Settling at a Large Treatment Plant. *Wat. Sci. Techn.*, Vol. 20, No. 4/5.
May, R. M. (1980): *Theoretische Ökologie.* Verlag Chemie, Weinheim.
Okun, D. A. (1949): System of Bio-Precipitation of Organic Matter from Sewage. *Sew. Works J.*, 21, 5.
Olsson, G., Stephenson, J., Chapman, D. (1986): Computer Detection of the Impact of Hydraulic Shocks on Plant Performance. *J. WPCF*, Vol. 58, No. 10, October.
Ottengraf, S. P. P., Rietema, K. (1969): The Influence of Mixing on the Activated Sludge Process in Industrial Aeration Basins. *J. WPCF*, Vol. 41.
Öllős G. (1991): *Szennyvíztisztítás.* AQUA Kiadó, Budapest.
Ramanathan, B., Gaudy, A. F. Jr. (1969): Effect of High Substrate Concentration and Cell Feedback on Kinetic Behaviour of Heterogeneous Populations in Completely Mixed Systems. *Biotechnol. and Bioeng.*, XI. 207.
Schaezler, D. J. et al. (1971): Effects of the Growth Rate on the Transient Responses of Batch and Continuous Microbial Cultures. In *Biological Waste Treatment.* (R. P. Canale Ed.) *Biotechnol. and Bioeng. Symp.*, No. 2, 107.

12.13. KÉRDÉSEK

1. Mi az eleveniszapos szennyvíztisztítás és célja? (12.1. és 12.2. fejezet.)
2. Miként jellemezhető az eleveniszap? (12.1. fejezet.)
3. Miként jellemezhető és számítható az eleveniszapos medencebeli szuszpendált lebegőanyag-tartalom, MLVSS? [12.1. fejezet; (14) egyenlet.]
4. Mi a szerepe a T/M aránynak az eleveniszapos szennyvíztisztításban és miként számítható? (12.1. fejezet.)
5. Milyen a stabilizált szennyvíz? (12.1. fejezet.)
6. Miként jellemezhetők a mikroorganizmusok és lebontó tevékenységeik? (12.1. fejezet.)
7. Miért kell levegőt adagolni az eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerbe? (12.2. fejezet.)
8. Hogyan alakul az eleveniszapos rendszer oldott oxigén igénye, ha a befolyó szennyvíz szerves-anyag-tartalma nő? (12.2. fejezet.)

9. Milyen tényezők okozhatnak kedvezőtlen környezeti tényezőket az eleveniszapos medencében? (12.1 és 12.2. fejezet.)
10. Mit kell tenni, ha az eleveniszapos medencében záptojás szag (H_2S) jelentkezik? A szagérzékelés és a vizuális észlelések gyakran első jelzések az üzemeltető számára, hogy valamely folyamat-rendellenességre lehet számítani. Igaz ez? (12.1. és 12.2. fejezet.)
11. Az eleveniszapos eljárás iszapkor szerinti osztályozása. (12.3. fejezet.)
12. Miként számítható az iszapkor? (12.3. fejezet.)
13. Milyen a kontakt stabilizációs rendszer? (12.3.1. fejezet; *102. ábra.*)
14. Milyen a teljes keverésű rendszer? (12.3.1. fejezet és *103. ábra.*)
15. Milyen a cső- és sorba kapcsolt áramlású rendszer? (12.3.1. fejezet; *103/a–c ábra.*)
16. Milyenek a lépcsős táplálású rendszerek? (12.3.1. fejezet; *105/a–b, 106/a–b, 107/a–c ábra.*)
17. Levegőztető rendszerek. (12.4. fejezet.)
18. Miért előnyös a légbefúvásos levegőztetés alkalmazása? (12.4. fejezet.)
19. Milyen finombuborékos diffúzorfajták léteznek? (12.4.2.1. fejezet.)
20. Diffúzorok eltömődése, tisztítása. (12.4.2.2.–12.4.2.4. fejezet.)
21. Miért kell a diffúzorokat az eleveniszapos medence fenekének közelében elhelyezni? (12.4.2.1. fejezet.)
22. A finombuborékos diffúzorok miért tömődnek el könnyen? (12.4.2.2. fejezet.)
23. Miért kell levegőszűrő a kompresszor előtt? (12.4.2.2. fejezet.)
24. Miért kell, hogy a diffúzorokat kiszolgáló valamennyi levegőszállító cső azonos szinten legyen? (12.4.2.1. fejezet.)
25. Hogyan indítható be az eleveniszapos rendszer üzeme? (12.6. fejezet.)
26. Miért kell a telepi elfolyás kezdetén a klórozó berendezést üzembe helyezni? (12.6. fejezet.)
27. Hogyan választható meg a recirkulációs iszaphozam a telep beindításának időszakában? (12.6. fejezet.)
28. Miért kell a kompresszorokat beindítani, mielőtt az előülepített szennyvíz az eleveniszapos medencébe jut? (12.6. fejezet.)
29. Az oldott oxigén koncentráció és a szuszpendált szilárdanyag-koncentráció az eleveniszapos medence mely pontjaiból vett minták alapján határozható meg? (12.6. fejezet.)
30. Hogy határozható meg az eleveniszapos medence összes szuszpendált szilárdanyag-súlya? [12.6. fejezet; (15) egyenlet.]
31. Hogy határozható meg az eleveniszapos medence teljes hidraulikai terhelése? [12.6. fejezet; (16) egyenlet.]
32. Miért kell az eleveniszapos rendszerből a fölösiszapot eltávolítani? (12.7. fejezet.)
33. Hol van az iszapelvétel legkedvezőbb helye az eleveniszapos rendszerben? (12.1., 12.7. fejezet; *99. ábra.*)
34. Hogyan számítható a recirkulációs iszaphozam? (12.7. fejezet.)
35. Mi a recirkulációs iszaphozam lökésszerű változásának hatása az eleveniszapos rendszerben? (12.7. fejezet; *120. ábra.*)
36. Milyen fő lökésszerű terhelések befolyásolják az eleveniszapos rendszer tisztítási folyamatait? (12.8. fejezet.)
37. Milyen lökésszerű hidraulikai terhelések léteznek az eleveniszapos tisztítótelepen? (12.8.1.2. fejezet.)
38. Milyen módszerekkel olthatók ki a lökésszerű hidraulikai terhelések? (12.8.1.2., 12.8.1.3. fejezet; *123. ábra.*)
39. Milyen tisztítótelepi és laboratóriumi mérések (analízisek) szükségesek? (12.9. fejezet.)
40. Mi a szerepe az eleveniszapos telepeken a mikrobiológiai analíziseknek? (12.10. fejezet.)
41. A mikroszkópi vizsgálatok mikrominta-vételi helyeinek megválasztási elve. (12.10.1. fejezet; *125. ábra.*)
42. Milyen fő üzemelési problémák jelentkezhetnek eleveniszapos szennyvíztisztító telepeken? *(30. táblázat.)*

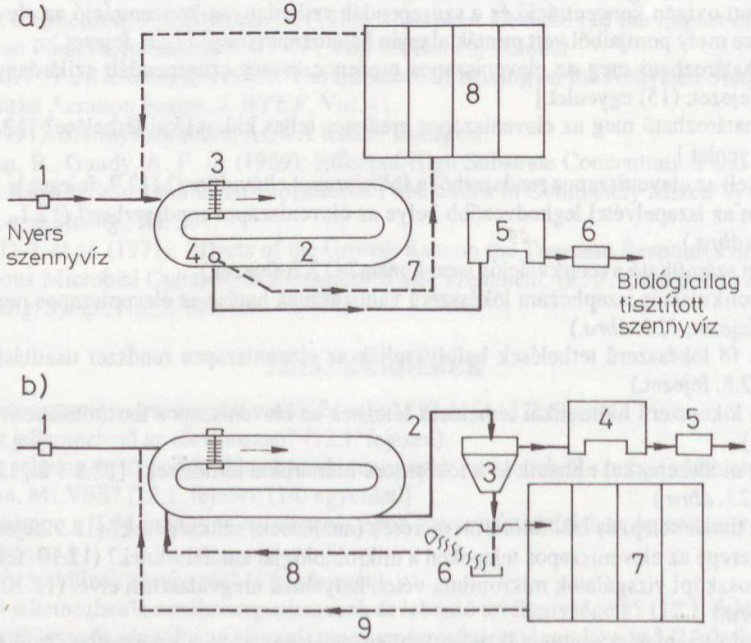
13. OXIDÁCIÓS ÁROK

13.1. KIS ÉS NAGY TERHELÉSŰ RENDSZER

Az oxidációs árok az eleveniszapos eljárás egyik módosított változata. Rendszerint huzamos idejű (extended-aeration) kis terhelésű vagy nagy terhelésű (high-rate) eleveniszapos rendszerként üzemeltetik.

Huzamos idejű (totál oxidációs) *árkos rendszerben*, vagyis amire az iszapszaporodási görbe endogén respiráció-szakasza érvényes, amint a *126/a ábra* érzékelteti, utóülepítő nincs. Az ilyen rendszerre a viszonylag kis szervesanyag-terhelés (0,1–0,4 kg $BOI_5/m^3 \cdot d$ és hosszú levegőztetési időtartam (20–30 h) jellemző. A levegőztetés általában szakaszos üzemű.

Nagy terhelésű árkos rendszerben nagy a térfogati szervesanyag-terhelés (1,6–2,2 kg $BOI_5/m^3 \cdot d$), és nagy a keverék szennyvíz szuszpendált lebegőanyag koncentrációja (MLSS): 2000–6000 mg/l. Egyes telepeken 6000–8000 mg/l is lehet. Az ilyen rendszer nagy tápanyag/mikroorganizmus arány alkalmazását teszi lehetővé (0,4–



126/a–b ábra. Kis terhelésű *(a)* és nagy terhelésű *(b)* árkos eleveniszapos rendszer működési elve

1,5). A hidraulikai tartózkodási idő a 3–24 h tartományba esik. Amint a *126/b ábra* szemlélteti, ebben a rendszerben utóülepítő és recirkuláció van.

Előülepítőt vagy homokfogót az oxidációs árkos rendszerben általában nem alkalmaznak. A szervetlen anyagok, mint a homok és az iszap, az oxidációs árokban maradnak, és a szennyvíziszap árokból való eltávolításakor vagy az árok tisztításakor kerülnek ki a rendszerből.

A pálcás rácsra a mechanikai berendezések (rotor, szivattyúk) védelme miatt van szükség. Komminutort vagy barminutort esetlegesen alkalmaznak a rács után vagy a rács helyett.

Az oxidációs árokban a szennyvíz hosszabb ideig tartózkodik, így adott tápanyagkészlet és oldott oxigén jelenlétében az eleveniszap mikroorganizmusai (biomassza) a szennyvizet biológiailag tisztítják.

A *126/a ábra* a hagyományos, *kis terhelésű* megoldást tükrözi, amelynek jellemzői:

– rács (1) alkalmazása,

– a trapézszelvényű árokban (2) a szennyvizet vízszintes tengelyű rotor (3) mozgatja, ill. levegőzteti,

– az iszapot és a tisztított szennyvizet az iszapcsapda (4) segítségével vezetik el az árokból,

– a tisztított szennyvizet szükség szerint fertőtlenítik (5), majd mérőaknán (6) vezetik keresztül,

– a fölösiszap (7) iszapszikkasztó ágyra (8) kerül,

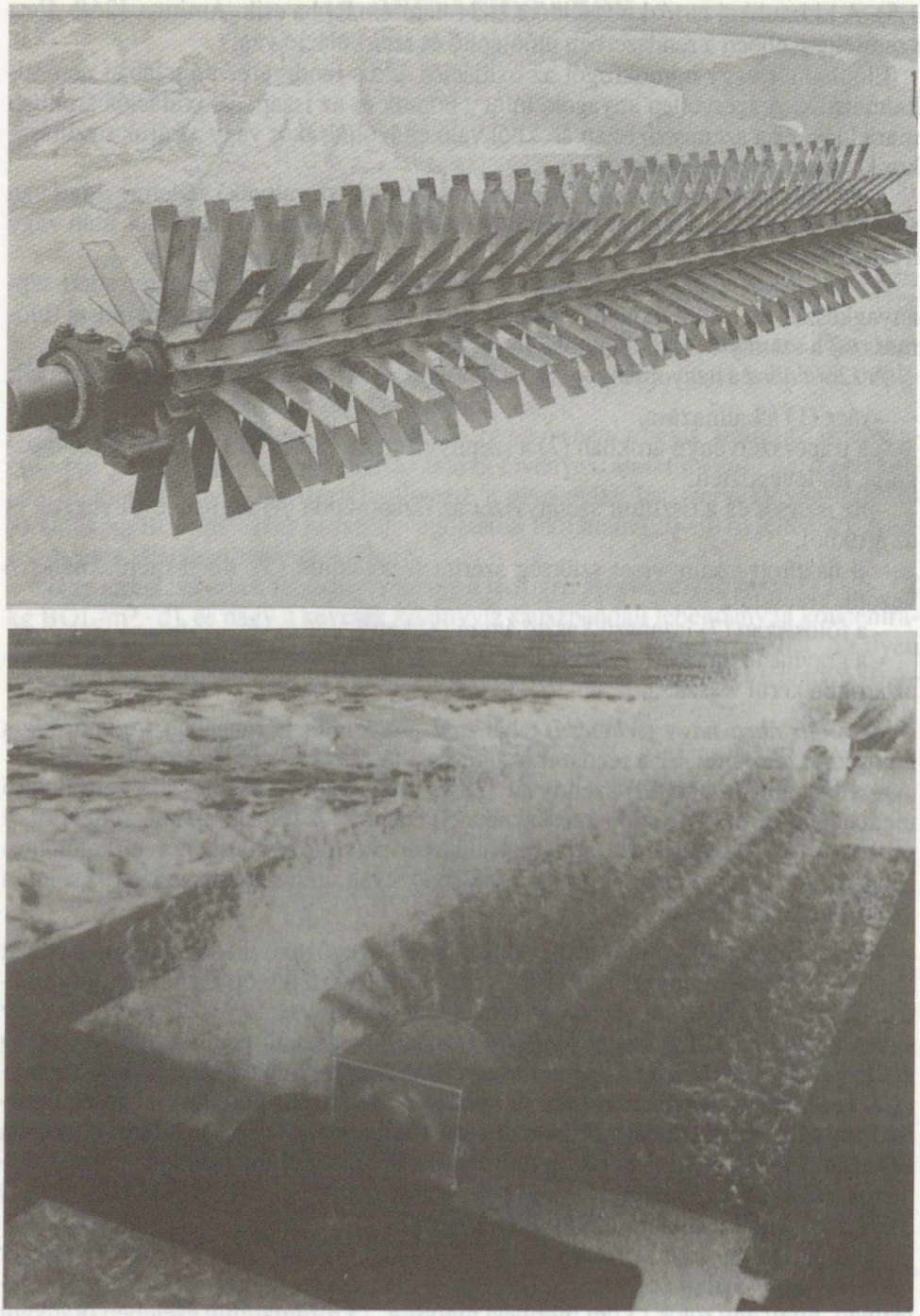
– a gravitáció hatására szeparálódott iszapvíz (9) – a nyers szennyvízhez keverve – az árokba kerül vissza.

A *126/b ábra nagy terhelésű*, tehát már utóülepítőt is magában foglaló árkos rendszert szemléltet. Ez a rendszer is alkalmaz rácsot (1). A rendszer jellemzői:

– a tisztított (szeparált) szennyvíz (2) az utóülepítőbe (3), onnan a fertőtlenítő medencébe kerül (4), majd a mérőaknán (5) halad át. A fölösiszap az utóülepítőből szivattyú (6) közvetítésével az iszapszikkasztó ágyra (7) kerül. A recirkuláltatott iszap (8) az árokba kerül vissza. A szikkasztóágyak drénezett iszapvize (9) szintén az árokba kerül vissza.

Az oxidációs árok az eleveniszapos rendszer levegőztető medencéjének szerepét tölti be. A nyers szennyvíz az árokban már előzőleg kifejlődött aktív mikroorganizmusokkal keveredik. A vízszintes tengelyű forgókefe (rotor; *127. ábra*) – vagy egyes esetekben a függőleges tengelyű felszíni levegőztető berendezés – *az aerob élő szervezetek részére az oxigént a szennyvízbe juttatja, ugyanakkor az árok szennyvizét keveri és azt az árok terében áramoltatja.* Az átlagos áramlási sebesség a szilárd anyagok szuszpendált állapotban tartása céljából 0,3–0,50 m/s, ami egyben a *képződő pelyhek* megfelelő oldott oxigénnel való ellátását is biztosítja. A rotor harmadik célja a nyers szennyvíz nagyobb szennyező anyagainak darabolása, vagyis ilyen irányú szerepe a komminutorhoz hasonló.

A rotor által az áramló szennyvízbe bevitt oxigén mennyisége elsősorban a rotor merülési mélységétől és forgási sebességétől függ. (Közelítő számításokhoz feltételezhető, hogy egy rotor 13 cm merülési mélység, 75 fordulat/min esetében óránként 2000 g oxigént juttat a szennyvízbe. Az árok végei megfelelő görbületűek, így elkerülhetők a holt terek, ill. a szélek menti erózió.



127. ábra. Vízszintes tengelyű forgókefe oxidációs árokban

Minthogy az oxidációs árok zárt reaktorrendszer, az illékony szuszpendált szilárd anyagok (biomassza, MLVSS) mennyisége fokozatosan nő. Ezért a folyamatból bizonyos mennyiségű iszapot időszakonként el kell távolítani. Az eltávolított iszap az árokban lévő keverék szennyvíz (mixed liquor), vagyis az eleveniszap, a nyers szennyvíz és a recirkuláltatott iszapkeverék szuszpendált szilárdanyag- (mixed liquor suspended solids; MLSS-) koncentrációját csökkenti, *miáltal a mikroorganizmusok aktívabbak.*

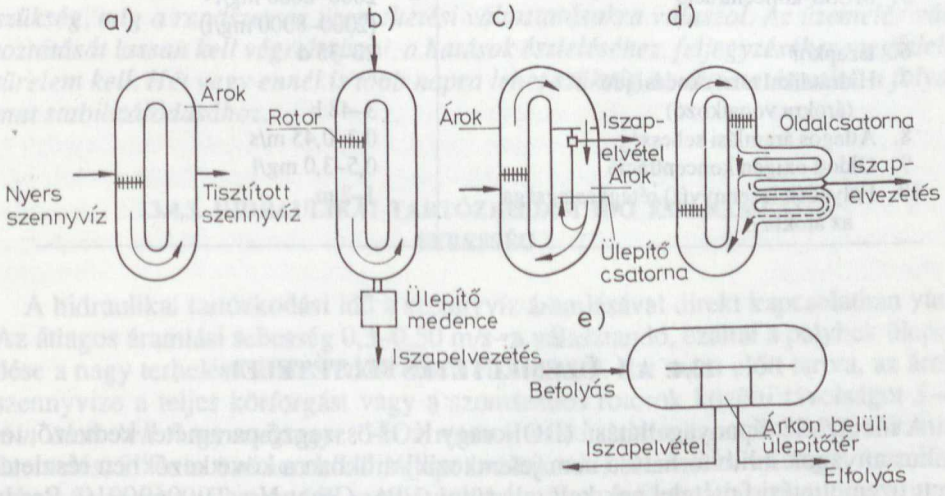
Mind a friss iszap, mind a tisztítás közben formálódó bakteriális pehely olyan mértékig oxidálódik, hogy a fölösiszap szikkasztó ágyakra juttatható vagy tározható anélkül, hogy jelentős, kifogásolható szag képződne. Így iszaprothasztóra nincs szükség.

13.2. ISZAPELVÉTEL AZ ÁRKOS RENDSZERBŐL

Az *iszap szeparálása* a tisztított szennyvízből sokféle módon lehetséges. Erre a *128/a–e ábra* mutat példákat: *a* ábra: a szakaszos üzemű, hagyományos árokban az ülepítés az árokban megy végbe; *b* ábra: a hagyományos árokhoz külön ülepítőmedence kapcsolható; *c* ábra: az árokhoz ülepítőcsatornát kapcsolnak; *d* ábra: a folyamatos üzemű árkos rendszerben a fő árokhoz két ülepítő oldalcsatornát csatlakoztatnak. Egyes esetekben az iszap és a szennyvíz szeparálását szolgáló utóülepítőt *magában az oxidációs árok terében alakítják ki* (*e ábra;* Bender, 1986).

Ezáltal önálló (vagy önálló jellegű – *c* és *d* ábra) ülepítőre nincs szükség. Ez az alternatíva az árkos rendszerben lévő alulméretezett utóülepítő esetében különösen alkalmas. Az ároktérfogat csökkenése ezen alternatíva esetében nem jelentős, hiszen az árokban a tartózkodási idő 20 h vagy ennél is hosszabb. A befolyás az árokban lévő utóülepítőbe

– a fenéken,
– a végén vagy
– az oldalán



128/a–e ábra. Iszapszeparálási módok az árkos szennyvíztisztító rendszerben

lehetséges. Az ülepített szennyvíz az ülepítéshez szükséges, falakkal elhatárolt, lassú mozgású térből túlfolyóval vagy vízbe merült bukóval vezethető el. Az ülepített iszap a keverék szennyvízzel együtt a lemezes feneken keresztül távolítható el. Ezért az iszapkezelés előtt sűrítő alkalmazására lehet szükség.

Az önálló utóülepítővel rendelkező rendszer nagy terhelésű oxidációs árkának fenekéről az iszap szivattyúval távolítható el recirkuláltatás és/vagy fölösiszap-elvétel céljából. Az utóülepítő felszínére felúszott iszap, elvátolítása után, az árokba vezethető vissza további tisztítás céljából, de szóba kerülhet az elásása is.

A fölösiszap (a telepnagyságtól függően)

- iszapágyakon víztelenithető,
- tartályokban tározható,
- lagúnákban tartható,
- feltöltésbe helyezhető.

Az eleveniszap kifejlődését követően habprobléma kevésbé jelentkezik.

A hideg időjárás az árkos rendszer hatásfokát kisebb mértékben befolyásolja, *ami az árokban kialakuló nagy eleveniszap-koncentrációnak köszönhető.*

13.3. JELLEMZŐ ÜZEMELÉSI PARAMÉTER-TARTOMÁNYOK

Amint a 12. fejezetben tárgyalt eleveniszapos rendszerekre, úgy az árkos rendszerre is csak üzemelési paraméter-tartományok adhatók meg.

1. Szennyvízhozam-terhelés	300–20 000 m^3/d
2. BOI_5-terhelés	200–800 kg $BOI_5/d \cdot m^3$ szennyvíz
3. BOI_5-eltávolítás hatásfoka	90–98%
4. T/M-arány	0,03–0,045 kg $BOI_5/d \cdot 0{,}454$ kg MLVSS
5. MLSS-koncentráció	2000–6000 mg/l (2000–8000 mg/l)
6. Iszapkor	20–35 d
7. Hidraulikai tartózkodási idő (árokra vonatkozó)	3–48 h
8. Átlagos áramlási sebesség	0,3–0,45 m/s
9. Oldott oxigén koncentráció	0,5–3,0 mg/l
10. Folyadék (szennyvíz) rétegvastagsága az árokban	1–2 m

13.4. AZ ÜZEMELTETÉS FELTÉTELEI

A megfelelő tápanyagellátású (BOI- vagy KOI-összegző paraméter kedvező, toxikus anyagok inhibitorhatása nem jelentkezik) árokban a következőkben részletezett üzemeltetési feltételeknek kell teljesülni (EPA, Grant No. T900690010, Brady et al., 1989).

13.4.1. OLDOTT OXIGÉN KONCENTRÁCIÓ

A szennyvíz kedvező tisztításához a hagyományos oxidációs árkos rendszerben az oxigénkoncentráció 0,5–2,0 mg/l tartományban tartandó, *4,5 m távolságra a rotortól, felvízoldali irányban.* A túllevegőztetés energiaveszteséget eredményez, és a fölös oxigénkoncentráció pontszerű pehely (pin-point floc; *42/a–c ábra*) képződését segíti, amely nem ülepszik és az utóülepítő túlfolyóján könnyen átjut. Rotoros levegőztetéskor az árok túlfolyását szabályozó bukóél szintje változtatható. Minél mélyebbre merül a rotor a szennyvízben, annál több oxigén jut a szennyvízbe, azonban az energiafogyasztás növekedését is szemmel kell tartani.

13.4.2. MEGFELELŐ KÖRNYEZET

Az árkos szennyvíztisztítás a hosszú levegőztetési időtartamú medencében 2000–6000 mg/l lebegőanyag-koncentrációra tervezhető, ami azt jelenti, hogy *a rendszer mikroorganizmus-tömege (biomassza) nagy.*

Az oxidációs árok szilárd élőanyag-tartalma a recirkulációs iszap (return sludge) és a fölösiszap (waste sludge) mennyiségének szabályozásával befolyásolható. *Fontos szem előtt tartani, hogy a szilárd élő anyagok (solids = biomassza) aerob (vagy anaerob) állapot melletti tönkremenetele (deterioration) addig tart, amíg azok az utóülepítőben vannak. A recirkulációs iszap mennyiségét tehát úgy kell megválasztani, hogy a mikroorganizmusok egészséges állapotúak legyenek, amikor az árokba kerülnek.* Ha az iszap az utóülepítőben sötét színű,

– vagy a recirkuláltatott iszap mennyiségét kell növelni (hogy az iszap ne maradhasson az utóülepítőben túl hosszú ideig),
– vagy az oxidációs árok oldott oxigén koncentrációja túl kicsi.

Az árkos szennyvíztisztítás biológiai tisztítási folyamat lévén, *számos napra van szükség, míg a rendszer az üzemeltetési változtatásokra válaszol. Az üzemelés változtatását lassan kell végrehajtani, a hatások észleléséhez, feljegyzéséhez megfelelő türelem kell. Hét vagy ennél is több napra lehet szükség a változtatás után, a folyamat stabilizálódásához.*

13.4.3. HIDRAULIKAI TARTÓZKODÁSI IDŐ ÉS ÁRAMLÁSI SEBESSÉG

A hidraulikai tartózkodási idő a szennyvíz áramlásával direkt kapcsolatban van. Az átlagos áramlási sebesség 0,3–0,50 m/s-ra választandó, ezáltal a pelyhek ülepedése a nagy terhelésű árkos rendszerben elkerülhető. Ezt szem előtt tartva, az árok szennyvize a teljes körforgást vagy a szomszédos rotorok közötti távolságot *3–6 min alatt kell hogy megtegye.* Ha a rotorok szakaszosan üzemelnek (pl. 30 min üzemelés, 30 min üzemen kívüli állapot váltakozik), az árokbeli átlagos áramlási sebességek úgy választandók meg, hogy bármilyen leülepedett anyag újra szuszpendált állapotba kerüljön.

13.4.4. HIDRAULIKAI TERHELÉS CSAPADÉKOS IDŐSZAKBAN

Egyes árkos tisztítótelepeken a nagy csapadékok vagy a hóolvadás olyan többlet keverékszennyvíz-hozamokat eredményez, amelyek a tervezett hidraulikai terhelés 3–4-szeresét is kiteszik. Ez a záporvíz által hígított, kisebb BOI- és KOI-koncentrációjú szennyvíz árkos rendszerbe jutásával társul.

A hidraulikai túlterhelések az utóülepítő kapacitását meghaladhatják, miáltal az az iszap megfelelő ülepítésére alkalmatlanná válhat.

Az abnormális üzeművé vált ülepítő hatásfokának helyreállítása céljából derítőszereket (pl. alumíniumszulfátot, ferrikloridot és polimereket) lehet adagolni. Az alumíniumszulfát adagolásakor a recirkuláltatott iszap térfogata nő és az iszap pH-ja csökkenhet.

A hidraulikai túlterhelések káros hatásai ellen más módszerrel is lehet védekezni: az árok egy vagy több rotorját le kell állítani. Ily módon *az árok ülepítővé válik, így a lebegőanyagok az utóülepítőtől távol tarthatók.* Ha az árokban a keverék szennyvíz mennyisége a tervezettre csökken, a rotor(ok) újra indítható(k) és ezáltal a normál üzem helyreáll.

13.4.5. A HIDEG IDŐSZAK HATÁSA

Az árkos rendszert téli időszakban is megfelelően kell üzemeltetni, ami azt jelenti, hogy valamennyi mechanikai berendezés normál üzemét biztosítani kell. A jégképződés elleni védekezés szóba jöhető, gazdaságos módja lehet a rotor és a bukó lefedése védőtetővel. A normál szennyvíz hőmérséklete általában elegendő hőellátást biztosít a lefedett légtérben, miáltal a jégképződés kiküszöbölhető.

Néha az árokban áramló szennyvíz felszínén jég képződik, a rotor folyamatos működtetése azonban a szennyvíz felszín alatti áramlását biztosítja. Az alacsony hőmérsékleten a tisztítás teljes mértékű marad, csupán az ammóniumvegyületek nitrifikációja kisebb mértékű, továbbá az iszapmineralizáció sebessége csökken. A BOI és a szuszpendált szilárd anyagok eltávolítása következetesen biztosítható, azt általában a nyers szennyvízmennyiség évszakos, napi és órai változása sem befolyásolja számottevő mértékben (Matsui et al., 1986).

A rotor és a bukó lefedése szemlélet és hozzáállás kérdése. El kell jutni ahhoz a felfogáshoz, hogy *az optimális üzemeltetés feltételeit, a klimatikus viszonyokat is figyelembe véve, ki kell elégíteni. A lefedés éppen olyan tervezési feladat, mint például a megfelelő hidraulika, szervesanyag-terhelés stb.* A beruházási és üzemeltetési költségek, valamint a tisztításból származó haszon a lefedéssel kapcsolatban is optimalizálandó.

13.5. VIZUÁLIS MEGFIGYELÉSEK

Szín. Az árokbeli keverék szennyvíz színét naponta fel kell jegyezni. A megfelelően működő árokban a szennyvíz színe *sötétbarna.*

Ha az MLSS színe az árok megfelelő üzembe helyezése után megváltozik, *világosbarnává* válik, az az MLSS-koncentráció csökkenését, túl nagy mértékű iszap-

elvételt, ill. a telepi hatásfok csökkenését jelzi. *Az iszapelvételi mérték csökkentésével, még mielőtt a színváltás markánsan jelentkezik, elérhető, hogy a telepi elfolyás minősége az MLSS-koncentráció csökkenése miatt nem romlik.*

Ha az MLSS színe *feketévé* válik, akkor az árok oldott oxigén koncentrációja elégtelen, és anaerob állapot jön létre. Ilyenkor a rotor merülési mélységét növelni kell.

Szag. A normál üzemű árok gyakorlatilag szagtalan, ha mégis észlelhető valami, az földszag. A *záptojás jellegű szag* jelzi, hogy

– az árok anaerobbá vált,
– az oldott oxigén koncentráció növelendő,
– az átlagos áramlási sebesség az iszapülepedés megakadályozása céljából növelendő.

A szag a gyenge karbantartás miatt is jelentkezhet (zsír, szilárd anyagok akkumulálódása az árok szélén vagy az utóülepítőben).

Oxidációs árok esetében a szag sokkal gyakrabban a gyenge karbantartás és nem pedig a gyenge üzemeltetés miatt jelentkezik.

Átlátszóság. A megfelelő üzemű árok esetében néhány méter távolságban a rotor felvízoldalán 0–5 cm-nyi „tiszta" szennyvízréteg figyelhető meg.

Jól üzemeltetett árok esetében az árok és az utóülepítő felszínén hab nem észlelhető. Hab általában elégtelen MLSS-koncentráció miatt jelentkezik. A habképződés legtöbbször csak az árok beüzemelésének időszakában figyelhető meg, majd fokozatosan eltűnik.

A nagyon tiszta telepi elfolyás kitűnő üzemre utal. A zavaros elfolyás gyakran üzemelési problémát jelez.

13.6. A TELEP BEINDÍTÁSA

1. Az árok vízzel vagy szennyvízzel való feltöltése.
2. Oltóiszap adagolása (közeli eleveniszapos szennyvíztisztító telepről).
3. Minden tisztítandó szennyvíz árokba vezetése.
4. Ha a szennyvíz felszíne a rotorkerület alsó szintjét eléri, a rotort be kell indítani.
5. Szennyvízzel való feltöltéskor, meleg évszakban, ha a feltöltés 1–2 napig tart, szagproblémák jelentkezhetnek.
6. A telep beindításakor a fejlődő MLSS színe sötétszürke, ami még elégtelen baktériumpopulációra utal. Ha ez a szín napokig változatlan, a recirkuláció ellenőrzendő.
7. Ha a szennyvíz felszíne a rotort eléri, az utóülepített szennyvíz telepi elfolyását nem kell megindítani. Az elfolyás csak akkor indítható be, ha a szennyvíz felszíne a rotor maximális merülési mélységét és a motor maximális terhelését eléri.
8. Az árok beindításának időszakában az ingadozó telepi elfolyás elégtelen biológiai tisztításra utal. Az elfolyó szennyvíz ekkor klórozandó.

9. Már a beindítás időszakában szükség van a szennyvízminőség vizsgálatára. A mérendő paraméterek:

– tényleges szennyvízhozam,
– befolyó BOI_5- és
– befolyó KOI-koncentráció.

10. Az MLSS-koncentráció beállításához 3–15 nap szükséges.

11. Az oldott oxigén koncentráció meghatározásához a mintákat a rotortól felvízoldali irányban mért 4,5 m távolságban kell venni. Itt az O_2-mennyiség 0,5 mg/l-nél kisebb nem lehet. Amíg az MLSS-koncentráció a változás miatt *napi* alapon még nem határozható meg, úgy *napi* alapon meg kell határozni a 30 min-os ülepíthetőségi vizsgálatokat.

12. Az árkos rendszer üzembe helyezéséhez idő szükséges, sokszor egy hónapnál is több, ha oltóiszap nem áll rendelkezésre.

13.7. AZ ÁROK ÜZEMÉNEK LEÁLLÍTÁSA

Az árok üzemének leállítása szükséghelyzetben, például javítási igény felmerülésekor válik szükségessé.

Ekkor a következők tartandók szem előtt:

1. A leállást úgy kell beütemezni, hogy a mikroorganizmusok a lehető legrövidebb ideig maradjanak oldott oxigén nélkül, hiszen

2. a szagemisszió és a mikroorganizmus-kultúra pusztulása a rotor leállását követő két órai időtartam után jelentkezik. A mikroorganizmus-kultúra tönkremenetele 10 percen belül megindul, *de könnyen visszaáll, ha a leállás négy óránál nem hosszabb.*

3. Ha lehetséges, egy rotor üzemeljen folyamatosan.

4. Ha az oxidációs árok üzeme szezonális, és a leállás az üzemidőn kívül esedékes, a berendezést az időjárás és a nedvesség ellen védeni kell.

13.8. AZ ÁROK TISZTÍTÓKÉPESSÉGE

Az oxidációs árok tisztítóképességét illetően általában az a tapasztalat, hogy *az oxidációs árok BOI_5-eltávolító képessége 90–98%-ra becsülhető* (*129. ábra;* Brady et al., 1989).

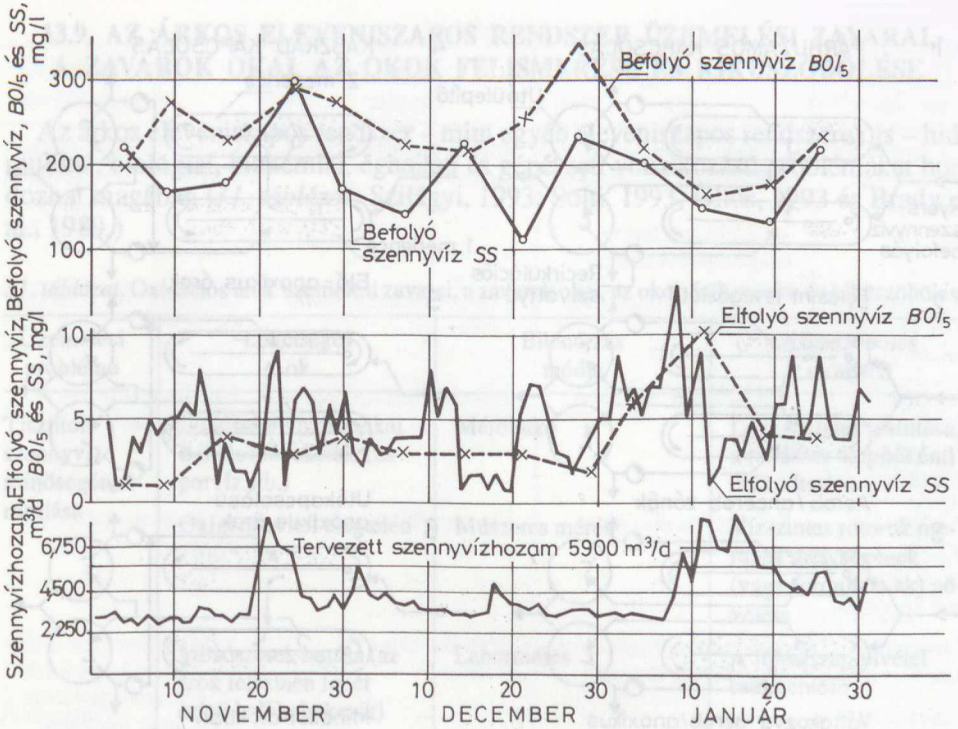
Az oxidációs árok feladata a szennyvíz szerves anyagainak oxidálásán túlmenően

– a nitrifikáció és
– a dentrifikáció is.

Ezért az árkos rendszer befolyó szennyvizének BOI_5-értéke

– a széntartalmú anyagok oxigénigényét és
– a nitrifikáció oxigénigényét egyaránt tartalmazza.

Az aerob, anoxikus zónák szerepe, az árkos rendszerek paralel, ill. kaszkádszerű üzemeltetésével kapcsolatos kombinációk lehetséges hatásai a nitrifikációra, ill. a nitrifikáció–denitrifikációra Feyen *130. ábrán* vázolt kutatásai alapján jól érzékelhetők. *A példaként szereplő 6 féle kombináció* a következő:



129. ábra. Az oxidációs árok teljesítőképessége napi mérések alapján

1. Párhuzamos üzemmód nitrifikációval, a denitrifikációra való különösebb törekvés nélkül. A rendszer közel minden részében, minden időben aerob állapot uralkodik.

2. Párhuzamos üzemmód nitrifikációval, az anoxikus zónákban szimultán denitrifikációval. A levegőbevitelt szabályozható, függőleges tengelyű rotorok biztosítják oly módon, hogy az árok végső zónájában anoxikus állapot legyen.

3. Párhuzamos üzemmód váltakozó aerob és anoxikus periódusokkal. A függőleges és a vízszintes tengelyű rotor felváltva működik. A levegőztetés és az üzemeltetés időtartama azonos.

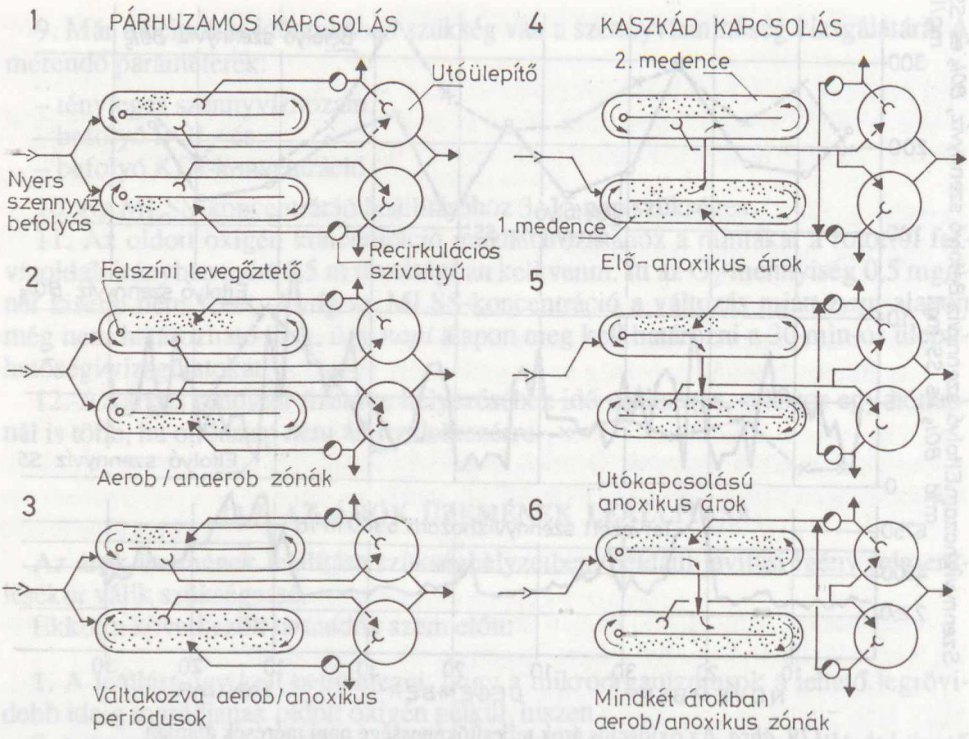
4. Kaszkádos üzemmód, ahol az első lépcső denitrifikál. Az 1. medencébe a nyers szennyvizet és a recirkulációs iszapot vezetik be. A szennyvizet nem levegőztetik, azt csak a vízszintes tengelyű rotor mozgatja. A 2. medence levegőztetett, azonban a levegőztetési feltételekből kifolyólag a medence végső zónájában anoxikus állapot jön létre.

5. Az 1. medence levegőztetett. A 2. medencében csak a vízszintes tengelyű rotor működik, ami a szennyvizet mozgatja.

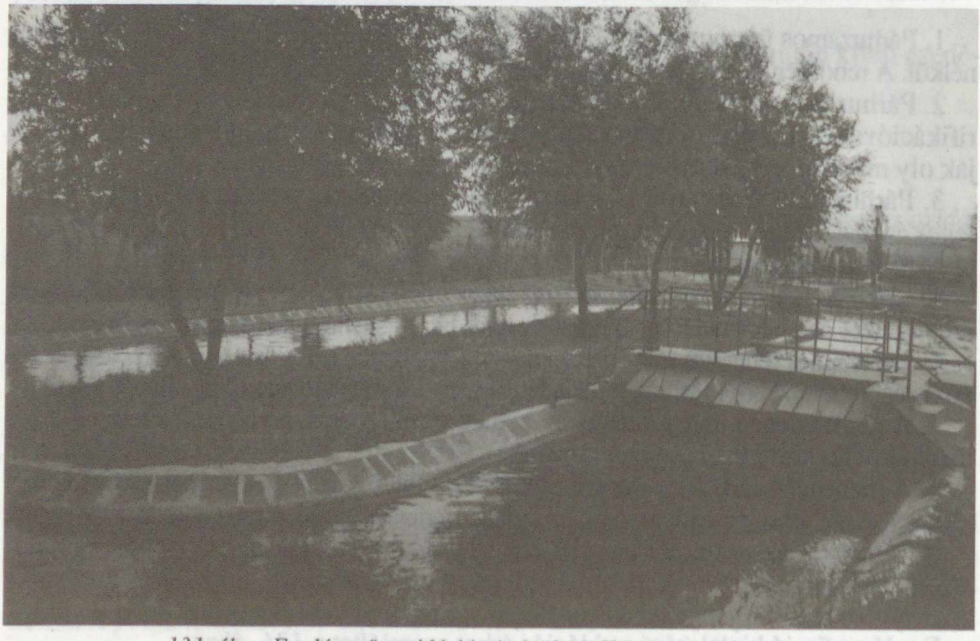
6. A medencék (árkok) sorba kapcsoltak. A felületi levegőztetők üzeme olyan mértékű oxigénellátást biztosít, melynél mindkét medence végső zórája anoxikus állapotú.

A *129. ábra* az üzemelőt *eligazítja*, a napi analízisadatok alapján az árkos rendszer üzeme követhető, ha kell, módosítható. A *130. ábra* jelzi, hogy az üzemeltető a szennyvíztisztítási igényeket számos eljáráskombináció segítségével elégítheti ki.

Egylépcsős, jó kialakítású oxidációs árkot szemléltet a *131. ábra*.



130. ábra. Árkos üzemeltetési kombinációk



131. ábra. Egylépcsős oxidációs árok (fotó: Kőrösmezey László)

13.9. AZ ÁRKOS ELEVENISZAPOS RENDSZER ÜZEMELÉSI ZAVARAI, A ZAVAROK OKAI, AZ OKOK FELISMERÉSE ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSE

Az árkos eleveniszapos rendszer – mint egyéb eleveniszapos rendszerek is – hidraulikai, biológiai, biokémiai, éghajlati és gépészeti vonatkozású problémákat hordozhat magában (*31. táblázat;* Szilágyi, 1993; Solti, 1993; Öllős, 1993 és Brady et al., 1989.)

31. táblázat. Oxidációs árok üzemelési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja(i)
Tisztított szennyvíz minőségének romlása	Lökésszerű hidraulikai terhelésnövekedés (záporvíz stb.)	Mérőbukó	Levegőztetés leállítása, a rendszer ülepítőkénti működtetése
	Oxigénbevitel elégtelen	Műszeres mérés	Vízszintes rotorok merülési mélységének (vagy fordulatának) növelése
	Mosószerek hatása (az árok felszínén fehér színű hab keletkezik)	Labormérés	A fölösiszap-elvétel csökkentése
	Kevés a fölösiszap-elvétel	30 min-os ülepítés	Fölösiszap-elvétel növelése
	Túl sok vagy kevés recirkuláció	Mikroszkópi vizsgálat 30 min-os ülepítés	A recirkulációt úgy kell beállítani, hogy a mikroorganizmusok aktív állapotba kerüljenek vissza az árokba
Utóülepítőben iszapfelúszás	Hosszú iszapkor az utóülepítőben	30 min-os ülepítés a recirkulációs iszapból	Fölösiszap-elvétel növelése
	A rendszerben nagy az iszapkoncentráció	30 min-os ülepítés	Fölösiszap-elvétel növelése
	Nagy az O_2-koncentráció (Ülepítő felszínén világos színű aprópelyhes iszap)	Mikroszkópi vizsgálat	Oxigénbevitel csökkentése a rotor bemerülési mélységének csökkentésével
	Holt terek az utóülepítőben (Felszálló iszap)	Leeresztés, szemrevételezés	Holt terek felderítése, megszüntetése
	Iszap térfogatsúlyának csökkenése	30 min-os ülepítés + Mohlmann-index	Polimer, alumíniumszulfát–vasklorid-oldat adagolása

31. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja(i)
Az iszap színe sötét az utóülepítőben	Utóülepítőben hosszú a hidraulikai tartózkodási idő Az árokban kicsi az oxigénkoncentráció	Szemrevételezés, labormérés	Recirkuláció növelése, oxigénbevitel növelése
Az iszap az utóülepítőből elfolyik	Túl nagy az oxigénkoncentráció	Szemrevételezés, labormérés	Oxigénbevitel csökkentése
Az árok felszínén fehér, dús hab képződik	Kis iszapkoncentráció	Szemrevételezés, labormérés	Fölösiszap-elvétel csökkentése
Az árok felszínén vékony, sötét hab képződik	Túl nagy az iszapkoncentráció	Szemrevételezés, labormérés	Fölösiszap-elvétel növelése
Pangó vízterek, ülepedés	A rotor nem biztosítja a megfelelő áramlást	Áramlási sebesség mérése	Rotor bemerülési mélységének és/vagy fordulatszámának növelése Új rotorok beépítése Hidraulika javítása
Oxigénkoncentráció kicsi	A rotor oxigénbevitele elégtelen Szervesanyag-terhelés nő	Oldott oxigén mérése Oldott oxigén koncentráció mérése Az eleveniszap színe fekete (vizuális)	Rotor bemerülési mélységének és/vagy fordulatszámának növelése Rotorcsere
Elégtelen iszapkoncentráció	Recirkuláció mértéke elégtelen Fölösiszap-elvétel	Menzúrás ülepedésvizsgálat Iszapkoncentráció mérése	Recirkuláció mértékének növelése Fölösiszap-elvétel szüneteltetése
Úszóiszap az árok felszínén	Elégtelen hatásfokú rácsszűrés	Vizuális megfigyelés	Úszóiszap lefölözése Finomabb pálcaközű rács felszerelése Nyers szennyvíz-kibocsátók ellenőrzése
Gyenge iszapülepedés	Az árokban nagy az iszapkoncentráció Az iszapstruktúra megváltozott (fonalas szervezetek jelenléte) Hidraulikai túlterhelés	Ülepedésvizsgálat (SVI) Iszapkoncentráció mérése	Fölösiszap fokozottabb elvétele Rotor időszakos leállítása Derítőszerek adagolása
A rotor nem működik megfelelően	Tartós hideg miatti jégréteg	Szemrevételezés	Lefedés

31. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja(i)
Az árok falainak épsége nem megfelelő	A hideg megbontja az árokfalat	Szemrevételezés	Gyors javítás
Recirkuláció nem megfelelő	Dugulás	Szemrevételezés	Vízsugárral vagy csatornatisztítási módszerrel a dugulás megszüntetése
Jégképződés az árok felszínén	Rendkívüli hideg	Gyakori szemrevételezés	A jég eltüntetése a felszínről Hosszan tartó hideg időszakok (ill. régió) esetén az árok és az utóülepítő fölé könnyű elemekből álló fedél létesíthető (ekkor a hőháztartás már megakadályozza a jégképződést)
Pontszerű pelyhek képződnek, melyek az utóülepítőből könnyen távoznak	Fölös oldott oxigén koncentráció	Rotor merülési mélysége	Az árok túlfolyását szabályozó bukóél szintjének változtatása (rotor merülési mélységének növelése)
Az árok hidraulikai túlterhelése	Túl nagy átlagos áramlási sebesség	Sebességmérés	Egy vagy több rotor leállítása – időszakosan
Az árok MLSS-színe fekete	O_2-koncentráció elégtelen	Aerob vagy anaerob állapot	A rotor merülési mélysége növelendő
Záptojás jellegű szag (az árokban)	Aanaerob állapot O_2-koncentráció elégtelen Átlagos áramlási sebesség kicsi	Aerob vagy anaerob állapot O_2-koncentráció Áramlási sebesség Az árok fenekére leülepedett iszap	O_2-koncentráció növelendő Átlagos áramlási sebesség növelendő
Árok beindításának időszakában a telepi elfolyás minősége ingadozó	Elégtelen biológiai tisztítás	O_2-koncentráció	A telepi elfolyás klórozása

31. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja(i)
Úszó anyagok (plasztik stb.) az utóülepítő felszínén	Előülepítő hiánya	Szemrevételezés	A merülőfal megfelelő elhelyezése a szintszabályozó bukó környezetében
Nagy BOI_5-, KOI- és szuszpendált szilárdanyag-tartalom a telepi elfolyásban	Hidraulikai túlterhelés nagycsapadékos, hóolvadásos, nagymértékű infiltráció időszakában	Utóülepítő hidraulikai kapacitása Fázisszétválasztási folyamat felborulása	Alumíniumsó, vasklorid, polimerek adagolása az utóülepítőbe Alumíniumsó adagolásakor a recirkuláció-hányad növelendő, és a recirkulációs iszap pH-ja emelendő Egy vagy több rotor időszakos leállítása
A mikroorganizmus-aktivitás télen kisebb mértékű	Hideg időszak MLSS-koncentráció nem megfelelő	MLSS-koncentráció mérése	Az MLSS-koncentráció évszakonkénti változtatása: télen legyen a legnagyobb (ha teljes nitrifikáció szükséges)
		Vízszintes tengelyű rotor	
Motor leáll	Környező levegő hőmérséklete túl magas	Hőmérséklet ellenőrzése	Hőmérséklet-csökkentés ventilátorral
	Rotor merülési mélysége miatt túlzott energiafelvétel	Merülési mélység ellenőrzése	A rotor merülési mélységének beállítása
	Motorrövidzárlat vagy kiégés	Túlterhelés ellenőrzése	Motor javítása
	Motor melegérintésre	Száraz csapágy	Csapágy kenése
		Fölös kenőanyag	Kenőanyag eltávolítása és megfelelő mérés
		Kikopott csapágyak	Csapágyak cseréje
		Túlzott energiafelvétel (motorterhelés)	Rotor merülésének leállítása
Fordulatcsökkentő áttétel	Csiszolódás, széttöredezés, zizegés, sivító zaj	Alacsony olajszint	Olajleeresztés és/vagy -töltés Szivárgás ellenőrzése, javítás

31. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja(i)
		Fordulatcsökkentő alkatrészek részben vagy teljesen kopottak	Fordulatcsökkentő alkatrészek cseréje
Csapágy	Csiszolódás vagy tompa ütődések	Elégtelen csapágykenés	Rutinszerű csapágykenés
		Kikopott csapágyak	Csapágy(ak) cseréje

13.10. IRODALOM

Bender, J. H. (1986): Assessment of Design Tradeoffs When Using Intrachannel Clarifiers. Paper presented at the *59th Annual Water Pollution Control Federation Conference, Los Angeles, CA*, October.

Brady, J., Gudgel, R. H. (1989): Oxidation Ditches. In Kerri K. D.: *Operation of Wastewater Treatment Plants*. Vol. I., EPA, Technical Training Grant No. 5TT1-WP-16-03, 1970.

Feyen, H. A. (1987): Betriebsergebnisse der Optimierungsversuche zur Stickstoffentfernung in der ARA Würselen-Euchen. In *GWA*, H. 98, Aachen.

Kollár Gy. (1992): *A Komáromi Sörgyár Rt. szennyvíztisztító telepének vizsgálata*. BME Kutatási jelentés.

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

Matsui, K., Kimata, T. (1986): Performance Evaluation of the Oxidation Ditch Process. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 18, Tokyo.

Solti D. (1993): Írásos közlés. 1993.

Szilágyi M. (1993): Írásos közlés. 1993.

13.11. KÉRDÉSEK

1. Az oxidációs árkos rendszerek fajtái. (13.1. fejezet.)
2. Miért ívesek az oxidációs árok végei? (13.1. fejezet.)
3. Mi a célja a vízszintes tengelyű levegőztető rotornak? (13.1. fejezet.)
4. Melyek az iszapelvétel módjai az árkos rendszerből? (13.2. fejezet.)
5. Mekkora az átlagos áramlási sebesség az árokban? (13.4.3. fejezet.)
6. Mi a teendő az árok túlzott mértékű hidraulikai terhelésekor? (13.4.4. fejezet; *31. táblázat.*)
7. Miként kell az árkot üzemeltetni hideg időszakban? (13.4.5. fejezet; *31. táblázat.*)
8. Milyen szín- és szagproblémák adódhatnak az árkos rendszer üzemeltetésekor? (13.5. fejezet; *32. táblázat.*)
9. Miként indítható meg az árok üzeme? (13.6. fejezet.)
10. Mikor kell a vízszintes tengelyű rotort beindítani? (13.6. fejezet.)
11. Melyek a jó üzemeltetés jellemzői? (13.4. fejezet.)
12. Milyen feltételek esetében nitrifikál, ill. denitrifikál az árkos rendszer? (13.8. fejezet; *130. ábra.*)
13. Hogyan szabályozható az oldott oxigén az árokban? (13.1. fejezet.)
14. Milyen napi megfigyelések szükségesek az árkos rendszer hatékonyságának megítéléséhez? (13.3 fejezet.)

14. FERTŐTLENÍTÉS

14.1. A FERTŐTLENÍTÉSI IGÉNY

A *fertőtlenítés* helye a biológiai szennyvíztisztító rendszerben az *1. ábrán* látható.

A lakótelepekről, kórházakból, ipari létesítményekből a szennyvízgyűjtő csatornahálózatba kibocsátott folyékony és szilárd szennyező anyagok sokfajta mikroorganizmust is tartalmaznak. Ezek egy része nem okoz betegséget; hasznosak, mert a szennyvíz szerves anyagait oxidálják. Az emberből és a különböző állati szervezetekből származó *betegségek átvitelének veszélye* – a szennyvízbe kerülő patogén baktériumok transzportálódása miatt – azonban *fennáll.*

A szennyvízben lévő mikroorganizmusok mennyiségének csökkentését nemcsak a tisztítórendszer végén időszakosan alkalmazott fertőtlenítés, hanem a biológiai szennyvíztisztító rendszer valamennyi tisztítási művelete is kisebb-nagyobb hatékonysággal elősegíti *(32. táblázat).*

A mechanikai és a biológiai tisztítás a patogén mikroorganizmusokat a *33. táblázat* szerinti hatékonysággal képes eltávolítani.

32. táblázat. A szennyvíztisztítási műveletek mikroorganizmus-eltávolító hatékonysága

Tisztítási művelet	Mikroorganizmus-eltávolítás, %
Rácsszűrés	10–20
Homokfogás	10–20
Előülepítés	25–75
Kémiai kicsapatás	40–80
Csepegtetőtestes tisztítás	90–95
Eleveniszapos tisztítás	90–98
Klórozás (fertőtlenítés)	98–99

33. táblázat. A mechanikai és biológiai tisztítás mikroorganizmus-eltávolító hatékonysága

Mikroorganizmusok	Eltávolítás	
	Mechanikai	Biológiai
	tisztítással, %	
Összes coliform	<10	90–99
Fekál coliform	35	90–99
Shigella sp.	15	91–99
Salmonella sp.	15	96–99
Escherrichia coli	15	90–99
Entamoeba histolytica	10–15	10
Vírus	<10	76–99

A *32.* és *33. táblázat*ban szereplő eltávolítási hatékonyság egyben azt is jelzi, hogy a tisztítási műveletek a patogén mikroorganizmusok jelentős mennyiségét is csökkentik. *Csökkentésüket a számukra kedvezőtlen környezet* és a természetes elhalás okozza. A tisztítási folyamatok végén azonban még a 98–99%-os eltávolítás is jelzi, hogy *még mindig viszonylag jelentős számú mikroorganizmus marad a szennyvízben.*

A *fertőtlenítés* célja, hogy a tisztított szennyvízből *valamennyi patogén* (kórokozó) *mikroorganizmus biztonsággal eltávolítható legyen.*

A *sterilizálás* valamennyi mikroorganizmus elölését jelenti, amire azonban a szennyvíztisztítás esetében nincs szükség, de technikai, gazdasági szempontból nem is lehetséges.

A *nyers szennyvízben* lévő patogén és indikátor mikroorganizmusok jellemző koncentráció-tartományait a *34. táblázat* tartalmazza.

34. táblázat. A nyers szennyvízben lévő patogén és indikátor mikroorganizmusok jellemző koncentráció-tartományai

Mikroorganizmusok	Koncentráció, szám/100 ml	
	Minimum	Maximum
Összes coliform[1]	1 000 000	–
Fekál coliform[2]	340 000	49 000 000
Fekál streptococcus	64 000	4 500 000
Vírus	0,5	10 000

Megjegyzés:

[1] A *coliform* a baktériumok egyik fajtája. A coliform baktériumok jelenléte olyan jelzésnek tekintendő, amely a patogén bakteriális szennyeződés *lehetőségére* utal. A coliform baktériumok fő tartózkodási helye az emberi bélcsatorna, de a melegvérű állatok bélcsatornájában, a talajban, a levegőben és a vízi környezetben is jelen lehetnek.

[2] A *fekál coliformok* olyan coliformok, melyek a különböző meleg vérű állatok ürülékében találhatók.

A szennyvízben szokásosan előforduló patogén mikroorganizmusok a *35. táblázat*ban adottak (Hawkes, 1971).

35. táblázat. A szennyvíz szokásos patogén szervezetei

Szervezet	Betegség	Megjegyzés
Ascoris spp., Enterobius spp.	Nematoda-féreg	Emberre ragályos, elfolyó szennyvízből és szikkasztott iszapból
Bacillus anthracis	Anthrax	Szennyvízből A spórák a tisztításnak ellenállnak
Brucella spp.	Brucellózis Malta-láz az emberen Járványszerű elvetélés, koraszülés, birkák, szarvasmarhák, kecskék esetében	Általában a fertőzött tej átvitelével, vagy érintkezés révén Szennyvíz is vélhetően okozhatja

35. tábl. folyt.

Szervezet	Betegség	Megjegyzés
Entamoeba histolytica	Dizenteria	Szennyezett víz, iszap révén terjed Meleg égöv alatt általános
Leptospira icetero-haemorrhagiae	Leptospirosis	Szennyvíz, patkányok terjesztik
Mycobacterium tuberculosis	Tuberkolózis	Szennyvízből és szennyezett folyóvízből izolálva
Salmonella paratyphi	Paratyphoid-láz	Járványos időszakban a szennyvízben és az elfolyó szennyvízben általános
Salmonella typhi	Typhoid-láz	Járványos időszakban a szennyvízben és az elfolyó szennyvízben általános
Salmonella spp.	Ételmérgezés	A szennyvízben és az elfolyó szennyvízben általános
Schistosoma spp.	Schistosomiasis	Valószínűleg megfelelő szennyvíztisztítással elölhető
Shigella spp.	Bacillus okozta dizentéria	Elsősorban a szennyezett vizek okozzák
Taenia spp.	Tape-féreg	Tojások nagyon ellenállóak Szennyvíziszapban van jelen, szarvasmarhákra veszélyes öntözött területen vagy iszappal trágyázott területen
Vibrio cholerae	Kolera	Szennyvíz és szenyezett víz terjeszti
Vírus	Poliomyelitis, hepatitis	Elfolyó szennyvízben található Átviteli módja ismeretlen

Minthogy a szennyvízben lévő patogén mikroorganizmusok identifikálása nagyon időigényes és nehéz, jelenleg *a mikroorganizmusok coliform-csoportját fogadják el indikátorként.*

A patogén mikroorganizmusok biztonságos elpusztítása a leginkább alkalmazott klóros fertőtlenítéssel azért lehetséges, mert *a patogén mikroorganizmusok a klóros oxidációra jóval érzékenyebbek, mint az egyéb mikroorganizmusok.* A klór nem szelektív oxidálószer. Az oxidáció hatása a mikroorganizmusok

– klórral (vagy egyéb fertőtlenítőszerrel) szembeni érzékenységétől és
– a szennyvízbeli klór koncentrációjától,
– a kontaktidőtől, valamint
– a szennyvízben lévő sokféle, a klórral reakcióba lépő vegyületektől függ (l. *132–134. ábra* összehasonlítandó). *A klór mint fertőtlenítőszer* viszonylag kis koncentráció esetében is rendkívül hatékony.

A klór pozitív fertőtlenítő hatásán kívül azonban a befogadókban negatív hatásai is lehetnek:

– egyrészt közbenső és végtermékek is képződnek, amelyek a környezetre nézve toxikusak lehetnek,

– másrészt a maradék kötött klór a szennyvízzel együtt a befogadóba kerülve, az ottani élő szervezetekre toxikus hatással van. *Ez utóbbi probléma a szennyvíz deklórozásával* (14., 15. fejezet) *küszöbölhető ki.*

Magyarországon a szennyvíz fertőtlenítése általánosan nem kötelező. Szem előtt kell azonban tartani: ha nincs fertőtlenítés, akkor *a befogadó védelme közegészségügyi szempontból egyes esetekben nincs biztosítva.*

Tekintettel a szennyvíz-fertőtlenítés hazai szemléletére és gyakorlatára, *e fejezetben csak a klóros fertőtlenítéssel foglalkozunk.* Ezen belül is a fertőtlenítés számos vonatkozását, a berendezéseket, az üzemeltetés egyes kérdéseit a megfelelő szakirodalomra való hivatkozással tekintjük át. A szennyvíz-fertőtlenítés részletezése Öllős: Szennyvíztisztítás c. könyvének 7. fejezetében adott.

14.2. DEFINÍCIÓK

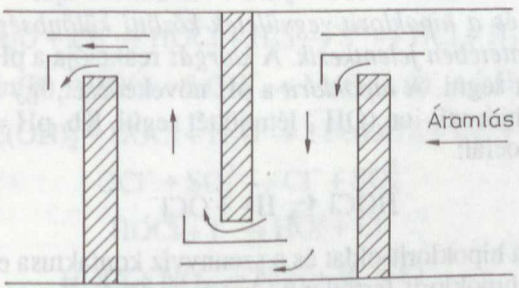
Az oldott *szabad klór* (Cl_2) a vízzel (szennyvízzel) reakcióba lép; hipoklóros sav (HOCl) és sósav (HCl) keletkezik. A szennyvízben a szabad klór rendszerint valamely ammónia- vagy nitrogénvegyülettel, vagy más szerves vegyületekkel lép reakcióba; ennek eredményeképpen kötött klórvegyületek keletkeznek.

Klórigény: a klórigény a szennyvízbe adagolt klór mennyisége, mg/l, és valamely kontaktidő után a szennyvízben maradt (maradék) klór mennyisége, mg/l, közötti *különbség.* A klórigényt az adagolt mennyiség, a kontaktidő, a hőmérséklet, a pH, valamint a szennyező anyagok tulajdonságai (pl. szerves nitrogénvegyületek jelenléte) és mennyiségei befolyásolhatják.

A *maradék klór* az a klórmennyiség, amely valamely kontaktidő és adott állapot (pl. szennyvízminőség) mellett még a szennyvízben jelen van.

A *szerves klórvegyületek* a klórral reakcióba lépett szerves vegyületek. Ezek a szerves klórvegyületek általában az élő vagy élettelen szerves anyagokból, vagy azokhoz társultan keletkeznek.

A *klór-kontaktmedence (132. ábra)* terelőfalakkal ellátott, aminek következtében a fertőtlenítéshez elegendő kontaktidő (tartózkodási idő) áll rendelkezésre. A medence teljes keverésű.



132. ábra. Klór-kontaktmedence merülőfalának és egyéb terelőfelületeinek célszerű kialakítása a „teljes keverés" érdekében

A szennyvíz fertőtlenítésekor – ami a szennyvízre savas hatással van [(19) és (20) egyenlet] – egyes esetekben alkalikus vegyszer (mint a mész) adagolandó a kontaktmedencébe a savas hatás kiegyensúlyozására.

A *klórszükséglet* az a klórmennyiség, amely valamely célra (például a coliformbaktériumok mennyiségének csökkentéséhez) szükséges. Bizonyos klórmaradék is identifikálható kell legyen a szennyvízben, továbbá azt is tekintetbe kell venni, hogy egyes vegyületek is lebontódnak.

A klór-dioxid – a szennyvíz szokott pH-tartományában – a szabad klórénál (Cl_2) *gyengébb oxidálószer*.

A *nagyon reaktív klór* gyakran *mellékreakciók*at idéz elő. Ezek a mellékreakciók a tulajdonképpeni fertőtlenítési reakciók *előtt* jelentkeznek, és a szennyvíz klórigényének jelentős részét felhasználják.

14.3. KLÓR-REAKCIÓK

14.3.1. SZABAD KLÓR (Cl_2)

A szabad klór (Cl_2) és a tiszta víz közötti reakció:

$$Cl_2 + H_2O \leftrightarrows HOCl + HCl. \qquad (19)$$

A klórgáz vizes oldatban gyorsan, másodperceken belül hidrolizál és az egyensúly létrejön (Lifshitz et al., 1960).

A HOCl az OCl^--ionnál 40–80-szor erősebb oxidáló vegyület. A szennyvízben a Cl_2, HOCl és HCl arányát a pH szabályozza.

14.3.2. HIPOKLORIT (OCl^-)

A hipoklorit-vegyületeket a szennyvízben rendszerint *nátrium-hipoklorit (NaOCl) formájában alkalmazzák* (Aieta et al., 1986):

$$2\,NaOCl + 2\,H_2O \rightarrow 2\,NaOH + HOCl + OCl^- + H^+. \qquad (20)$$

A klórgáz (Cl_2) és a hipoklorit-vegyületek közötti különbség a mellékreakciók (side reaction) tekintetében jelentkezik. A *klórgáz* reakciója a pH csökkentését, így a HOCl képződését segíti. A *hipoklorit* a pH növekedését, így a nátrium-hidroxid képződése révén a hidroxil-ion (OH^-) létrejöttét segíti. Kb. pH = 10 feltétel létezésekor a HOCl disszociál:

$$HOCl \leftrightarrows H+ + OCl^-. \qquad (21)$$

Ez a pH-állapot a hipoklorit-oldat és a szennyvíz kontaktusa esetében csak rövid ideig tart. Mivel a hipoklorit fertőtlenítő hatékonysága viszonylag gyenge, a *nátrium-hipoklorit-oldat minél nagyobb hígítású legyen. Ez a szennyvíz fertőtlenítésekor különösen fontos.*

14.3.3. KLÓR-DIOXID (ClO_2)

A klór-dioxid a tiszta vízzel a következő reakcióba lép:

$$2\,ClO_2 + H_2O \rightarrow ClO_3^- + ClO_2^- + 2\,H^+. \quad (22)$$

A klór-dioxid oxidációs kapacitása a szennyvíztisztításban csak részlegesen hasznosítható, mert a szennyvíz redukáló anyagai (klorid-ion, Cl^- és szulfid-ion, S^{2-}) elektronokat képesek átadni, ami a klór-dioxid kloritté (ClO_2^-) redukálását eredményezi:

$$ClO_2 + e^- = ClO_2^- . \quad (23)$$

Ezért szennyvíz esetében a klór-dioxid a klórnál gyengébb oxidáló vegyület. Tiszta, pH > 8,5 tartományú vizekben a klór-dioxid nagyon hatékony oxidáló vegyület. A klór-dioxid az ammóniával nem lép reakcióba. A klór-dioxidot inkább a víztisztításhoz alkalmazzák, mert kevésbé idéz elő rákkeltő, íz- és szaganyagokat.

14.4. A KLÓROLDATOK ÉS A SZENNYVÍZ SZENNYEZŐ ANYAGAI KÖZÖTTI REAKCIÓK

A klór a szennyvíz *számos* szennyező anyagával reakcióba lép, különösen azokkal, melyek *redukáló anyagok* (Glabisz, 1967; Lin et al., 1971). Ezek a gyorsan végbemenő reakciók klórt emésztenek fel, ami a klóros fertőtlenítést akadályozza. Az ilyen reakciókat *klórigény-reakciók*nak nevezzük.

Ezen anyagok egy része, amint a következő fejezetek érzékeltetik, a szennyvíz klóros fertőtlenítését jelentősen befolyásolják.

14.4.1. REAKCIÓK SZERVETLEN REDUKÁLÓ ANYAGOKKAL

A klór és a szervetlen redukáló anyagok közötti tipikus reakciók egyszerűsített formában (pl. Anbar et al., 1959):

$$H_2S + HOCl \rightarrow S + H_2O + H^+ + Cl^- \quad (24)$$

$$H_2S + 4\,HOCl \rightarrow SO_4^{2-} + 6\,H^+ + 4\,Cl^- \quad (25)$$

$$H_2O + Cl_2 \rightarrow HOCl + H_2S \rightarrow S^\circ \rightarrow HCl + H_2O \quad (26)$$

$$Mn(II) + HOCl + 3\,OH^- \rightarrow MnO_2 + Cl^- + 2\,H_2O \quad (27)$$

$$2\,Fe(OH)_2 + HOCl + H_2O \rightarrow 2\,Fe(OH)_3 + Cl^- + H^+ \quad (28)$$

$$OCl^- + SO_3^{2-} \rightarrow Cl^- + SO_4^{2-} \quad (29)$$

$$HOCl + I^- \rightarrow HOI + Cl^- \quad (30)$$

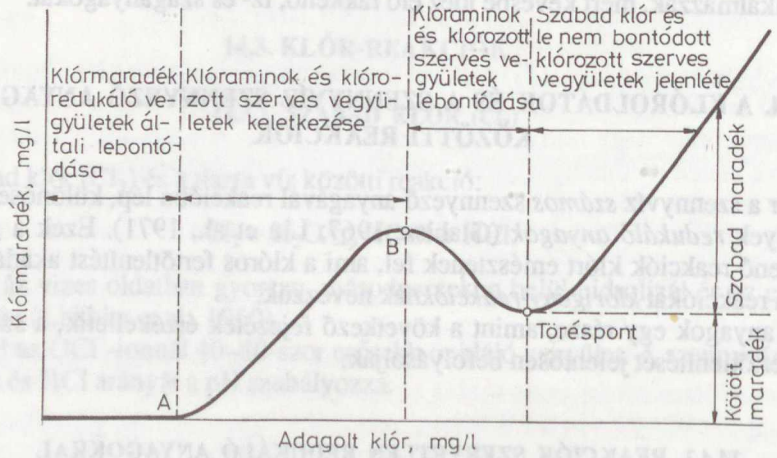
$$HOCl + NO_2^- \rightarrow NO_3^- + H^+ + Cl^- \quad (31)$$

$$HOCl + Br^- \rightarrow HOBr + Cl^- \quad (32)$$

A klór reakciói

– az ammóniával és

– a nitrogéntartalmú szerves vegyületekkel (minthogy ezek az anyagok minden szennyvízben jelen vannak) nagyon fontosak. *A reakciók számos reaktív közbenső terméket* (monoklóramint, diklóramint stb.) *eredményeznek.* Ha a reakciók teljesen lejátszódnak, akkor nitrogéngáz (N_2) vagy nitrát (NO_3^-) keletkezik. A vizes klór reakciói a szabad ammóniával (NH_3) *töréspont reakciók* néven ismertek (Griffin, 1941 és Baker, 1959). A „töréspont" kifejezés az adagolt klór és a szennyvízben észlelt összes aktív klór kapcsolatának koordináta-rendszerben történő ábrázolásakor kapott görbe alakjából adódik *(133. ábra).*



133. ábra. Törésponti görbe értelmezése

A keletkező klóramin-reakciókat

– a pH és

– a kezdeti klór/ammónia arány befolyásolja.

A reakciók (Baker, 1959):

$$NH_3 + HOCl \rightarrow NH_2Cl + H_2O, \quad (33)$$

$$NH_2Cl + HOCl \rightarrow NHCl_2 + H_2O, \quad (34)$$

$$NHCl_2 + HOCl \rightarrow NCl_3 + H_2O, \quad (35)$$

ahol NH_2Cl a monoklóramin, $NHCl_2$ a diklóramin és NCl_3 a triklóramin.

A szennyvizekre általában jellemző pH-tartományban ($6{,}5 < pH < 7{,}5$) a

– monoklóramin és

– a diklóramin

együtt van jelen. $pH < 5{,}5$ tartományban csak egyedül a diklóramin, $pH < 4{,}0$ tartományban csak a triklóramin van jelen.

A monoklóramin és a diklóramin fertőtlenítő tulajdonságú vegyületek. *A diklóramin a monoklóraminnál erőteljesebb oxidáló vegyület.*

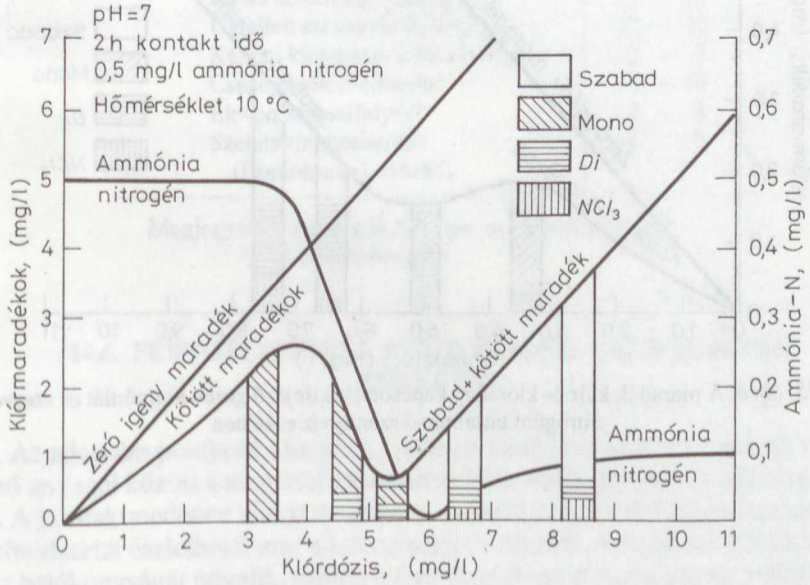
A szennyvíz klóros fertőtlenítésekor szem előtt kell tartani: ha a klórdózis elegendő

– a szervetlen vegyületekkel és
– a nitrogéntartalmú vegyületekkel

való reakcióhoz, akkor a még szennyvízben maradt klór az élő vagy élettelen szerves anyagokkal is reakcióba lép és szerves kötött klórvegyületek vagy a klór egyéb kötött formái keletkeznek. *Mindezen reakciók lejátszódása után a még szennyvízben maradt klór a legnagyobb oxidációs potenciálú, szabad aktív klór.* Ez a rendelkezésre álló klór a pH-tól függően oldott gáz (Cl_2), hipoklóros sav (HOCl) vagy hipoklorit-ion (OCl^-) formájában lehet jelen, de nem foglalja magában a klórozott szerves vegyületeket. *Ez az eset a nitrogéntartalmú szennyvizek tisztításakor ritkán fordul elő.*

A törésponti klórozáskor addig kell klórt adagolni a szennyvízhez, amíg a *törésponton* a teljes klórigény kielégítetté válik. A töréspontot túli további klór adagolása már felhasználatlan klórként van jelen, ami az adagolt klórmennyiséggel arányos. *A szabad aktív klór jelenléte azért szükséges, mert a szennyvíz fertőtlenítése csak így biztosítható.* Az *ammóniatartalmú* szennyvíz klóros fertőtlenítéséhez tartozó törésponti görbe és a törésponti reakciók a *133. ábrán* értelmezhetők. Törésponti klórozáskor minden mg/l-nyi szennyvízben levő ammónia-nitrogénhez 10 mg/l klór adagolandó. *Az üzemeltetőnek azonban gondolni kell arra, hogy a hatékonyabb előtisztítás a törésponti klórozás eléréséhez szükséges klórdózist eleve csökkenti.*

A maradék klórkomponensek és a klóradag kapcsolatát kifejező görbe *ammóniát tartalmazó* szennyvíz esetében a *134. ábrán* látható.



134. ábra. A maradék klór és a klóradag kapcsolatát kifejező görbe ammóniát tartalmazó szennyvíz esetében

A maradék klórkomponensek és a klóradag kapcsolatát kifejező görbe ammóniát és szerves nitrogént is tartalmazó szennyvíz esetében a *135. ábrán* értelmezhető. Ha a szennyvízben szerves nitrogén is van, amely a klórral reakcióba lép, akkor a törésponti görbe alakja a *134. ábrán* lévő görbéhez képest jelentősen megváltozhat.

Az ábrák alapján megállapíthatók a következők:

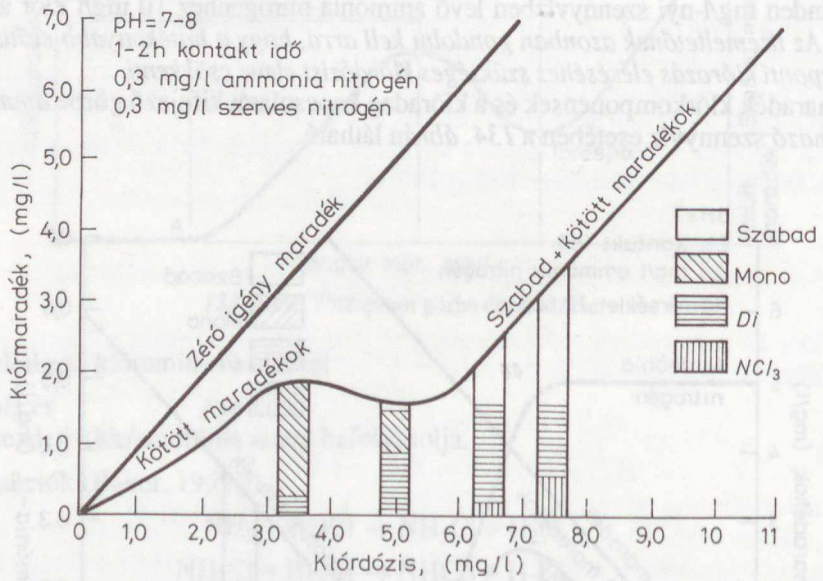
1. A szervetlen és szerves anyagok együttes igénye a *klórigény*. A klórigény a következő képletből határozható meg:

$$\text{Klórigény, mg/l} = \text{Klórdózis, mg/l} - \text{Maradék aktív klór, mg/l.} \qquad (36)$$

2. A *maradék klór* a szabad aktív klór és a kötött formában jelenlévő klór összessége.

3. A klórigény és a maradék klór összege a klórdózis. A klórdózis a következő képletből határozható meg:

$$\text{Klórdózis, mg/l} = \frac{\text{Klóradag, mg klór/d}}{\text{Szennyvízhozam, l/d}}. \qquad (37)$$



135. ábra. A maradék klór és klóradag kapcsolatát kifejező görbe ammóniát és szerves nitrogént tartalmazó szennyvíz esetében

14.5. KLÓRADAG-TARTOMÁNYOK

A klóradagot úgy kell megválasztani, hogy megfelelő maradék klór legyen a szennyvízben *(36. táblázat)*.

36. táblázat. Klóradag-tartományok, mg/l

Adagolás helye, célja	Klóradag-tartomány, mg/l
Csatornahálózat	
Hártyaszabályozás	1 – 15
Korrózió szabályozás	2 – 9[1]
Szagszabályozás	2 – 9[1]
Tisztítás	
Zsíreltávolítás	1 – 10
BOI-csökkentés	0,5– 2[2]
Szervetlen vegyületek	2 – 12
Csepegtetőtest-tócsásodás	1 – 10
Csepegtetőtest-Psychoda	0,1– 0,5
Eleveniszap	
Iszapfelúszás	1 – 10
Rothasztás	
Iszapvíz	20 –150
Habzás	2 – 20
Fertőtlenítés	
Nyers szennyvíz	6 – 12
Nyers szennyvíz (szeptikus)	5 – 10
Ülepített szennyvíz (szeptikus)	12 – 40
Kémiai kicsapatás utáni elfolyás	2 – 6
Csepegtetőtest-elfolyás[3]	3 – 10
Eleveniszap-elfolyás[3]	2 – 8
Szennyvíz-utótisztítás (Homokszűrő, szűrlet)	1 – 5

Megjegyzés: [1] per mg H_2S/l; [2] per mg lebontott BOI/l; [3] utóülepítés után.

14.6. FERTŐTLENÍTÉST BEFOLYÁSOLÓ ÜZEMELTETÉSI TÉNYEZŐK

1. Az adagolás pontja és a keverés módja. A fertőtlenítőszer és a szennyvíz szennyező anyagai között a megfelelő kontaktus biztosítása alapvető fontosságú.

2. A kontaktmedence alakja és mérete. A derékszögű kontaktmedencében gyakran rövidzárlat észlelhető, ami a kontaktidőt csökkenti. A beépített terelőfalak a keverés hatékonyságát növelik, ezáltal a fertőtlenítőszer eloszlása kedvezőbb, a rövidzárlat jelentkezése csökken, a kontaktidő nő. A csővezetékek jó kontakttereknek tekinthetők.

3. Jó kezdeti keverés és hosszabb kontaktidő esetén a fertőtlenítés hatékonyabb. A kontaktidő legtöbb esetben 15–30 min. *A kontaktidő növelése a klóradag növelésénél hatékonyabb fertőtlenítést eredményez.*

4. A fertőtlenítést megelőző tisztítási műveletek hatékonyságának szerepe alapvető: *a fertőtlenítés annál eredményesebb, minél kisebb a fertőtlenítendő szennyvíz lebegőanyag- és szervesanyag-koncentrációja.*

5. A fertőtlenítés reakciósebessége a szennyvíz-hőmérséklet emelkedésével nő.

6. A fertőtlenítőszer-dózis növelése a fertőtlenítés sebességét növeli. A fertőtlenítés sebességét a fertőtlenítőszer formája és típusa is befolyásolja.

7. A fertőtlenítés a pH csökkenésével egyidejűleg kedvezőbbé válik.

8. A kontaktidő a mikroszervezetek koncentrációjának növekedésével hosszabbá válik.

9. A baktériumsejtek könnyen és gyorsan elölődnek, de a bakteriális spórák rendkívül rezisztensek.

14.7. A KLÓROS OXIDÁCIÓ ÉS FERTŐTLENÍTÉS LEHETSÉGES HELYEI A SZENNYVÍZTISZTÍTÓ RENDSZERBEN

A klór nem csak utóklórozásra *(fertőtlenítésre)* használt. A klór által biztosított *oxidációval*

– a szennyvíztisztítás egyes műveletei kedvezően befolyásolhatók (pl. BOI-csökkentés, ülepítés),
– számos üzemelési probléma mérsékelhető vagy megszüntethető (pl. korrózió-szabályozás, szagszabályozás),
– a klórozási helyek, a klórozási időtartamok és a klórdózisok célszerű kombinációs megválasztásával a csatornahálózat és a szennyvíztisztító telep működése hatékonyabbá és biztonságosabbá tehető (Hom és Kerri, 1989).

A klórozás kombinációs alkalmazása azonban az üzemeltető részéről nagy gondosságot és jártasságot igényel.

14.7.1. KLÓROZÁS A CSATORNAHÁLÓZATBAN

A klórozás kedvező hatásai a csatornahálózatban:

– a csatorna anyagának *(2. ábra)*, berendezéseinek védelme,
– szagemisszió-szabályozás,
– szeptikus (anaerob) állapot szabályozása,
– BOI-csökkentés (a szennyvíztisztító telepi szervesanyag-terhelés csökkentése céljából).

14.7.2. ELŐKLÓROZÁS

A klór előklórozáskor a tisztítórendszer elején, a rács és az előülepítő közötti szakaszon egyéb vegyszeradagolást megelőzően kerül a szennyvízbe.

Az előklórozás célja:

– a fertőtlenítés elősegítése (részfertőtlenítés),
– szagemisszió-szabályozás (az adagolás helyén),
– korróziószabályozás,
– a telepi BOI csökkentése,
– az előülepítés hatékonyságának növelése,
– habszabályozás az Imhof-kehelyben,
– olaj és zsír eltávolítása.

14.7.3. TISZTÍTÓTELEPI KLÓROZÁS

A tisztítótelepen belüli klórozás, mint az előzőekben értelmezett klórozások is, szükségmegoldást képvisel. Klórt kell adagolni, mert

– a szagemisszió,
– a BOI-csökkenés,
– korrózió,
– iszapfelfúvódás,
– habzás,
– iszapsűrítés segítése,
– a szeptikus (anaerob) állapot,
– a kőtöltetű csepegtetőtest esetében a Psychoda és a felszíni tócsásodás szabályozása válhat szükségessé.

Jó példa volt erre az 1970-es években San Francisco, ahol egy belvárosi emeletes épületben lévő biológiai szennyvíztisztító telep üzemét, *megfelelő telepi klórozási helyek és klóradagok megválasztásával*, az üzemeltető környezetvédelmi és üzemelési szempontból egyaránt optimalizálni tudta.

14.7.4. AZ UTÓTISZTÍTÓ LÉPCSŐT SEGÍTŐ KLÓROZÁS

A környezetvédelmi előírások gyakran a biológiailag tisztított szennyvíz homokgyorsszűrését is igénylik. A klórozás célja ilyenkor:

– a gyorsszűrés elé adagolva az algák és a nagyobb szervezetek elölése, miáltal a szűrő eltömődése, ill. az öblítés igénye mérsékelhető,
– a szűrőben a biológiai hártyaképződés megakadályozása,
– a szűrlet klórozása.

14.7.5. KLÓRADAGOLÁS A RECIRKULÁCIÓS ISZAPÁGBA

A klór adagolása az iszapágba

– az iszapfelúszás megakadályozása és
– az utóülepítés hatékonyabbá tételének érdekében válhat szükségessé.

14.7.6. FERTŐTLENÍTÉS (UTÓKLÓROZÁS)

A fertőtlenítés (utóklórozás) – mind a települési (mind az ipari) szennyvíztisztításban – az *utolsó tisztítási lépcső* után történő klóradagolást jelent. A hagyományos biológiai tisztítórendszerben a klóradagolás pontja tehát az utóülepítő és a klórkontaktmedence *közé* esik. A klór a gyorsszűrős (vagy lassúszűrős) utótisztításos rendszerben a szűrő és a klór-kontaktmedence *közé* adagolandó. Minthogy a fertőtlenítés célja a patogén szervezetek elölése, annak érdekében, hogy a fertőtlenítés hatékony legyen, *a fertőtlenítés előtt megfelelő előtisztításra szükség van.* Az utóklórozás természetesen bizonyos mértékű BOI-oxidációval is együtt jár. *A BOI klórszükséglete azonban csak olyan mérvű lehet, hogy a kívánt mértékű fertőtlenítés elérését ne akadályozza. Az üzemeltetőnek ezt szem előtt kell tartani.*

14.8. A KLÓRADAGOLÁS SZABÁLYOZÁSA

A 14.7. fejezetben tárgyalt klórozási pontokon a klór adagolása a következő módokon szabályozható (Hom, 1989):

1. A klórmennyiség

– beállítását,
– az adagolás indítását, ill.
– leállítását

lehetővé tevő berendezés *kézi működtetésével.*

2. A klórmennyiség beállítása kézi működtetéssel, az adagolás indítása és leállítása az injektoros vízellátás üzembe, ill. üzemen kívül helyezésével, szabályozás a szennyvízszivattyú vezérlésével (áramlás- és szintkapcsolóval).

3. Lépcsős szabályozás esetén a klórozó hozama az üzemben lévő szivattyúknak megfelelően változtatandó. Minden szivattyúindításnál bizonyos mennyiségű klór adagolandó a már szennyvízben lévő klórhoz.

4. Időprogramozott szabályozáskor az adagolt klór mennyisége időlépcső szerint szabályozódik, ami a szennyvízhozam-változásokhoz az igazodást biztosítja.

5. Hozamarányos szabályozáskor a klórozó táplálási sebességét olyan rendszerben szabályozza, amely a szennyvízhozam-információt a szabályozó tolózárat működtető berendezéssel közli. Ez többféle hozammérő berendezéssel valósítható meg.

6. Klóradagolás a kívánt maradék klór alapján is lehetséges. A maradék klór rendszerint a kötött klórkoncentráció. A kötött klór az a klórkoncentráció, amely ammóniával (NH_3) klóraminná vagy egyéb klórszármazékokká alakul és a szerves anyagok oxidációjához rendelkezésre áll. Keverés és kb. öt perc reakcióidő után a vett szennyvízminta titrálható amperometrikus regisztrálóműszerrel. Amint a maradék klór szintje a kívánt szint alá vagy fölé kerül, a klóradagoló által betáplált mennyiséget változtatni kell avégből, hogy a maradék klór szintje a kívánt szintre állhasson be.

Bármely „automatikus" szabályozási rendszer kétféle módon alkalmazható:

– a betáplálási hozam mennyiségszabályozása tolózár beállításával,
– a betáplálási hozam mennyiségszabályozása a tolózár oldalaira ható vákuumkülönbség változtatásával.

A kézi adagoló rendszernél a klór-hozzáigazításra ajánlott ütemezés (Hom et al., 1989):

a) nagy telepeken: legalább óránként,
b) közepes telepeken: 2–4 óránként,
c) kis telepeken: 8 óránként.

14.9. KLÓRSZÁLLÍTÓ VEZETÉKEK

A klórszállító vezetékek többféle anyagból lehetnek. Fontos követelmények:

– az oldott klórral szemben ellenállók legyenek (korrózió),
– a nyomás,
– a flexibilitás (ha szükséges),
– külső korrózióval és a terhelésekkel szembeni ellenállás (például föld alatti elhelyezésnél),
– könnyű súly,
– vízhatlansága,
– könnyű alakíthatósága.

14.10. A KLÓROZÓ ÜZEMBE HELYEZÉSE

A klórozók üzembe helyezése előtt az előírásokat, üzemeltetési utasításokat, berendezéseket és azok működési elvét ismerni kell.

Gáz-klórozóberendezések. A tartályokban tárolt gáz halmazállapotú klórt felhasználó klórozóberendezések üzembe helyezésének lépései:

1. A klórgázszelep használat előtti zárt állapotáról meg kell győződni.
2. Az ellátóvezetéken használat előtt minden szelep zárt kell legyen.
3. Valamennyi csővezeték, elosztóvezeték, szelepcsatlakozás jó tömítéséről meg kell győződni.
4. A klóreloszto vezetékeken meg kell vizsgálni, hogy megvannak-e a szükséges szelepek, melyek megnyitásával a klór a kívánt helyekre jut.
5. A klórmennyiség-mérőt a dózisnak megfelelően kell beállítani.
6. Az injektoros vízellátó rendszer beindítandó. A vízforrás rendszerint ivóvíz (vagy telepi elfolyás). Megfelelő mennyiségű injektorvíz szivattyúzásával az injektoron való átáramlás elegendő vákuumot biztosít az injektorban a klóradagoláshoz. A klór a vízzel az injektorban keveredik össze. A keverék az alkalmazás helyére továbbítható.
7. Az injektoros vízellátást ellenőrizni kell (nyomás- és vákuumviszonyok értékelése).

8. A vákuumvezetékek tömítési viszonyait felül kell vizsgálni.
9. A klórtartály szelepének nyitásakor a klórgáz a vezetékbe áramlik. Közben valamennyi csatlakozást ammóniával átitatott vattával ellenőrizni kell. Fehér felhő keletkezése tömítetlenséget jelez.
10. Ellenőrzendő a klórtartály nyomása.
11. Ha az előbbi ellenőrzések nem akadályozzák, *a klórozás megkezdhető.*

14.11. A KLÓROZÓ LEÁLLÍTÁSA

a) Ha a klórozó kevesebb, mint egy heti időtartamra állítandó le, akkor a leállítás jellemző lépései a következők.

1. A klórtartály gázkivezető szelepét el kell zárni.
2. A klórgáznak az injektoron át teljesen el kell távoznia. A klórgáznyomásnak a tartály és a vezetékek leolvasómércéin zérusra kell esnie.
3. A klórgáz adagolószelepét zárva kell tartani mindaddig, amíg az újraindítás esedékessé válik.
4. Az injektor is üzemen kívül helyezendő.
5. A klórtartályt a klórozórendszerről le kell kapcsolni, vagy a klórtartály nyomását rutinszerűen ellenőrizni, mert a klórtartály kivezetőszelepe tömítetlen lehet.

b) A klórozás hosszabb időtartamú leállításkor a következők a teendők:

1. Az a) 1., 2., 3. és 4. pont alatti lépések most is érvényesek.
2. A klórozó áramellátását meg kell szüntetni, és kábelcédulát kell elhelyezni.
3. A klórozó gázvezeték és a klórozó szelepének zárt állapota biztosítandó.

14.12. KLÓRBIZTONSÁGI PROGRAM

Minden jó biztonsági program a munkaadó és az alkalmazott közötti együttműködéssel kezdődik. A munkaadó felelőssége a balesetek elkerülése, és ennek érdekében minden szükséges óvintézkedést meg kell tennie. *A biztonság mindenki* problémája.

Minden klórral foglalkozó személynek tájékozottnak kell lennie a klór veszélyes tulajdonságait illetően.

A klórgáz a levegőnél 2,5-szer nehezebb, rendkívül toxikus, és nedves atmoszférában korrozív. Még száraz atmoszférában is nagyon irritatív, sőt halálos, ha az orr, torok és tüdő a hatása alá kerül.

Ezért: ha olyan zárt helyiségbe lépünk, amely klórgázt tartalmazhat, az ajtót óvatosan kell kinyitni és a klórszagot ellenőrizni kell. Soha ne lépjünk be olyan helyiségbe, amely káros hatást eredményező klórmennyiséget tartalmaz. Az 1000 mg/l (0,1 térfogatszázalék az atmoszférában) koncentrációjú klórgáz végzetes hatású az emberre. Megfelelő gázálarcra és mentőkészülékre van szükség.

14.13. A KLÓRGÁZ HATÁSA AZ EMBERI SZERVEZETRE

A klórgáz hatását az emberi szervezetre a *37. táblázat* mutatja (Hom et al., 1989).

37. táblázat. A klórgáz fiziológiai hatása az emberi szervezetre

Hatás	Klórgáz-koncentráció az atmoszférában, mg/l
Gyenge tünetek több órás ráhatás után	1
Észlelhető szag	3
60 min-os belélegzés káros hatás nélkül	4
Ártalmasság	5
Torokirritálódás	15
Köhögés	30
Veszélyes 1/2–1 órai ráhatáskor	40
Halál néhány mély belélegzés után	1000

14.14. KLÓRSZIVÁRGÁS

A klór szivárgására azonnal, nagyon gyorsan és gondosan kell reagálni, hiszen rövid időn belül még veszélyesebbé válhat. A korrekciós cselekményeket csak szakképzett dolgozók végezhetik, minden más dolgozónak el kell hagyni a veszélyeztetett területet mindaddig, amíg a veszély nem szűnik meg.

A klórszivárgással kapcsolatban a következők tartandók szem előtt (Hom et al., 1989):

1. Mielőtt egy új rendszert üzembe helyeznek, azt meg kell tisztítani és szárítani, majd szivárgásvizsgálatnak kell alávetni.
2. Ha klórszivárgás feltételezhető, egy vattacsomót botra kell csavarni, azt tömény ammónium-hidroxid-oldatba kell mártani és a szivárgásgyanús pont közelébe kell tartani. Szivárgás esetén fehér felhő képződik.
3. Ha a szivárgás a klórozó berendezésben van, a klórtartály kivezetőszelepe azonnal elzárandó. Javítás csak az üzem leállítását követően lehetséges.
4. Ha a szivárgás a klórozótartályban van, a megfelelő szerszámkészletet kell igénybe venni.
5. Ha a klór folyadék formájában szökik ki, a tartályt úgy fordítjuk, hogy a szivárgási hely a tartály tetején legyen. Ilyen helyzetben a klór gáz formában szökik el a tartályból, ami 15-öd része annak a mennyiségnek, ami folyadék formában szökne el.
6. Ha a klór szivárgása hosszabb ideig tart vagy nem szüntethető meg, akkor a klórt el kell távolítani: pl. nátrium-hidroxid-oldattal, kalcinált szódával vagy mészhidráttal abszorbeáltatható.
7. A szivárgási helyre vizet soha nem szabad juttatni, mert a klór és víz keveréke fokozott korróziót, így nagyobb lyukat is eredményez.
8. A szelepszár körüli klórszivárgás gyakran például a szelep zárásával megszüntethető.

14.15. DEKLÓROZÁS

A befogadók (folyók, tavak) vízi életközösségének védelme a toxikus anyagok (mint a klór, ill. klórvegyületek) ellen azt igényli, hogy *a befogadóba vezetett tisztított szennyvízben mérhető mennyiségű maradék klór ne legyen.* A vízi élőlények, mint a lazac, pisztráng és hasonló halféleségek, csak kb. 0,01 mg/l klórkoncentrációt képesek tolerálni.

A rendszerint 2,5–12 mg/l tartományba eső maradék klór tisztított szennyvízből való eltávolítása a *deklórozás,* ami a következő módokon lehetséges (Hom in Kerri, 1989):

1. A *hosszú tartózkodási idő* a fertőtlenítőmedencében, miáltal a maradék klór disszipációja bekövetkezik.
2. *Levegőztetés.* A hosszú fertőtlenítő- (klór-kontakt-) medence utolsó szakaszát levegőztetve, a maradék klór eltávolítható.
3. *Napfény.* A maradék klórt a napfény is elroncsolhatja. A napfény hatása azonban csak a klórozott tisztított szennyvíz vékony rétegére eredményes.
4. *Aktívszén.* A maradék klór elvileg az aktívszén felületén is abszorbeáltatható. Alkalmazása azonban a nagy szennyvízmennyiségek miatt rendkívül költséges.
5. *Kémiai reakciók. Leggyakrabban a kén-dioxidot (SO_2) alkalmazzák,* mert a klórral azonnal reakcióba lép, kb. 1 : 1 arányban (1 mg SO_2/l : 1 mg maradék klór/l. Egyéb vegyszerek, mint a nátriumszulfit (Na_2SO_3), nátriumbiszulfit ($NaHSO_3$), nátrium-metabiszulfit ($Na_2S_2O_5$) és nátrium-tioszulfát ($Na_2S_2O_3$) is alkalmazhatók. A kén-dioxid, bár veszélyes vegyület, ennek ellenére azért a legnépszerűbb, mert alkalmazásához a már meglévő klórozóberendezés használható és az üzemeltetők alapos képzése szükségtelen.

14.15.1. KÉN-DIOXID

A kén-dioxid színtelen, szúrós szagú gáz. A kén-dioxid hűthető és színtelen folyadékká komprimálható. Mint ahogy a klórnál is: ha a kén-dioxid zárt tartályban van, a folyadék és a gáz egyensúlyban van. A kén-dioxid nem éghető, nem robbanékony. A száraz kén-dioxid a legtöbb fémre nem korrozív, de nedvesség jelenlétében kénsav (H_2SO_4) keletkezik, ami már rendkívül korrozív.

A kén-dioxid a vízben (szennyvízben) a klórnál jobban oldódik. A hőmérséklet emelkedésével csökken a kén-dioxid oldhatósága a szennyvízben. Ha a szennyvízben oldott állapotban van jelen, gyenge kénessav (H_2SO_3) keletkezik.

14.15.1.1. A KÉN-DIOXID ÉS A SZENNYVÍZ KÖZÖTTI KÉMIAI REAKCIÓK

A kén-dioxiddal történő deklórozás kémiai reakcióinak eredményeként *minden aktív pozitív klórion nem aktív negatív kloridionná alakul át.* A kén-dioxid és a klór közötti reakció *tiszta vízben:*

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3 + HOCl \rightarrow H_2SO_4 + HCl. \qquad (38)$$

A kén-dioxid és a klór közötti reakció pillanatszerű.

A keletkezett kénsav (H_2SO_4) és a hipoklóros sav (HOCl) nem ártalmas, mert a *keletkezett savak kis mennyiségűek.* A tisztított szennyvíz pH-ja jelentősen nem változik, hacsak nem nagyon alacsony az alkalinitás.

A reakció kötött monoklóraminnal:

$$NH_2Cl + H_2SO_3 + H_2O \rightarrow NH_4HSO_4 + HCl. \quad (39)$$

A reakció diklóramin és triklóramin esetében hasonló.

Ha a reakciók tisztított *szennyvízben játszódnak le,* a még szennyvízben lévő szerves anyagok jelenléte miatt, a reakciósebességek változhatnak, *ezért nagyobb mennyiségű kén-dioxid adagolása szükséges.*

Fel nem használható fölös mennyiségű kén-dioxidot azonban nem szabad adagolni, nemcsak azért, mert az elvesző mennyiség, hanem azért sem, mert ennek következtében a szennyvíz

– oldott oxigén koncentrációja csökken, ami viszont
– növekvő BOI-, ill. KOI-koncentrációval jár együtt,
– a pH pedig csökken.

Ha biztonsági okokból a kén-dioxid használata nem megengedett, akkor nátriumszulfit (Na_2SO_3) vagy nátrium-metabiszulfit ($Na_2S_2O_5$) alkalmazása célszerű. A reakció:

$$Na_2SO_3 + Cl_2 + H_2O \rightarrow Na_2SO_4 + 2\,HCl. \quad (40)$$

A reakció sebessége a kén-dioxidéhoz hasonló.

14.15.1.2. A KÉN-DIOXID ADAGOLÁSI HELYE

Az adagolandó kén-dioxid mennyisége a maradék kötött klórvegyületek pontos ismerete alapján határozható meg.

Az adagolt kén-dioxid tökéletes bekeveréséről gondoskodni kell.

Az adagolás jellemző helye közvetlenül a tisztított szennyvíz befogadóba vezetése előtt van. Ezáltal a fertőtlenítés időtartama maximális lehet. Az alkalmazás helyén kedvező, ha az áramlás turbulens és rövidzárlat nincs. Minthogy a deklórozás reakciói pillanatszerű reakciók, így a hozzájuk tartozó tartózkodási idő rövid, tehát *kontaktmedencére nincs szükség.* Egyes esetekben a fertőtlenített szennyvíz befogadóba vezetésének helye a szennyvíztisztító teleptől messze esik. Minthogy a fő cél a kötött klórvegyületek *eltávolítása,* ez az eltávolítás – amennyiben szükséges – a tisztítótelepen is elvégezhető.

14.15.1.3. A KÉN-DIOXID HATÁSA AZ EMBERI SZERVEZETRE

A kén-dioxid rendkívül veszélyes anyag, ezért nagy gonddal kezelendő.

Ha valaki kén-dioxid gázt lélegez be, kénessav keletkezik az emberi szervezet nyálkás (nedves) membránján, ami veszélyes irritációt jelent. A nagy kén-dioxid dózis az oxigénhiány miatt halált okozhat.

A kén-dioxid hatása az emberi szervezetre a *38. táblázat* alapján ítélhető meg (Hom et al., 1989).

38. táblázat. A kén-dioxid hatása az emberi szervezetre

Hatás	Koncentráció, mg/l
A legkisebb koncentráció, amely a szag révén észlelhető	3–5
A legkisebb koncentráció, amely a torkot azonnal irritálja	8–12
A legkisebb koncentráció, amely azonnal irritálja a szemet	20
A legkisebb koncentráció, amely köhögést okoz	20
Maximális megengedhető koncentráció 3 órai ráhatáskor	10
Maximális megengedhető koncentráció 1 órai ráhatáskor	50–100
Tolerálható rövid időszakra	150
Azonnal veszélyes koncentráció	400–500

14.16. A FERTŐTLENÍTÉS ÜZEMELÉSI ZAVARAI, A ZAVAROK OKAI, AZ OKOK FELISMERÉSE ÉS KIKÜSZÖBÖLÉSE

A szennyvíztisztító telepeken a fertőtlenítés valószínűsíthető üzemelési zavarai, azok okai, felismerésük és kiküszöbölésük ajánlott módjai a *39. táblázat* alapján értelmezhetők (Culp et al., 1978 és Szilágyi, 1993).

39. táblázat. A fertőtlenítés üzemelési zavarai, a zavarok okai, az okok felismerése és kiküszöbölése

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
A klórozóban alacsony a klórgáz nyomása	A rendszerhez tartozó adagolótartályok száma kicsi	Klórhozamcsökkentés mellett figyelni kell, hogy a nyomás jelentősen nő-e rövid időtartamon belül. Ha így történik, az adagolótartályok száma kicsi	Elegendő adagolótartályt kell a rendszerbe kapcsolni
	Az adagolótartályok és a klórozók közötti áramlás leállt vagy az ellenállás nőtt	A klórhozam csökkentése mellett megfigyelendő, hogy a jegesedés és hűlési hatás az ellátóvezetékeken folytatódik-e	A klóreloszto rendszert szét kell szedni azon a ponton, ahol a hűlés kezdődik, az eltömődés helye meghatározandó, majd oldattal tisztítani kell
A klórozóban nincs klórgáznyomás	A klóradagoló tartályok üresek, vagy nem csatlakoznak a rendszerhez	Szemrevételezés	Adagolótartályok csatlakoztatása, vagy az üres adagolótartályok cseréje

39. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
		Szelepellenőrzés	Az adagolótartályok szelepeinek elzárása után a redukálószelepet javítani kell és a gázmennyiség az elosztórendszerben csökkentendő.
A klórozó nem adagolja a klórt	A klórozó nyomáscsökkentő szelepe elszennyeződött	Szemrevételezés	A klórozó szétszedésével a szelep tisztítandó
	A klórozó adagolótartály melegebb, mint a klórmennyiség-szabályozó berendezés	Hengerfelület hőmérséklete	A hengerfelület hőmérsékletének csökkentése Ne kapcsoljunk be új adagolótartályt, ha az napon volt
A klórgáz a klórnyomást csökkentő szelepen át megszökik	A klórnyomást csökkentő szelep membránja meghibásodott – helytelen összeszerelés vagy – kifáradás miatt	Ammóniatartalmú vattát kell helyezni a klórnyomást csökkentő szelepvezeték végéhez a gázömlés bizonyítása céljából	A szelep és a membrán szétszerelendő
	Korrózió		Ellenőrzendő a klórellátó rendszer nedvesség szempontjából
A klórhozam fenntartása, a klórozórendszer jegesedése nélkül nem lehetséges	Elégtelen elpárologtatókapacitás	Az adagolás mértékét az elpárologtató kapacitásának 75%-ára kell csökkenteni	
	Külső klórnyomáscsökkentő szelep eltömődött	A szelep ellenőrzése	A szelep kimosása és tisztítása
Maximális táplálási hozamot a klórozó nem képes biztosítani	Elégtelen klórgáznyomás	Gáznyomás	Nyomás növelése Az üres vagy részleges teltségű palackok cserélendők
	Vízszivattyú injektora eltömődött lebegőanyaggal	Injektor ellenőrzése	Friss vízzel való öblítés után visszaszerelés és üzembe helyezés
	Tömítetlenség a vákuumcsökkentő szelepben	A klórozó vezetékét le kell szerelni, azt a vákuumcsökkentő szeleppel kell összekapcsolni és megfigyelni, hogy a	A vákuumcsökkentő szétszerelése és minden alkatrész visszahelyezése

39. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
		vákuum nő-e, ill. az adagolt klór mennyisége nő-e	
	Vákuum-tömítetlenség a klórozó berendezés csatlakozóvezetékeinél, tömítéseknél, csatlakozásoknál stb.	A csatlakozásokat ammóniaoldattal kell nedvesíteni, vagy minden szivárgási helyre ortotolidines papírt kell helyezni a szivárgás meghatározása céljából	A vákuumos tömítetlenségek megszüntethetők a csatlakozások és tömítések stb. cseréjével
A befogadóba jutó szennyvízben a maradék klór tág tartományban ingadozik	A proporcionális klórmennyiségmérő kapacitása elégtelen a telepi szennyvízmennyiséghez	A klórmérő és a telepi szennyvízmennyiségmérő kapacitása ellenőrzendő	Nagyobb klórmennyiségszűrő-kapacitás biztosítandó
	Hibásan működő automatikus szabályozók		Javítás
	Áramlás-proporcionális szabályozóberendezés nem tökéletes üzemű	A klórozó szabályozó berendezésének ellenőrzése	A zérópont és mérési skála újra beállítandó
A maradék klór analizáló regisztráló szabályozó a maradék klórt tökéletlenül szabályozza	Elektródák hibásak	Szemrevételezés	Elektródák tisztítása
	Elégtelen az adagolt káliumjodid a maradék klór méréséhez	Káliumjodid-adag	Káliumjodid-adag beállítása
	Pufferkapcsoló rendszer üzeme hibás	Megvizsgálandó, hogy a kamrán átmenő minta pH-ja állandó-e	A puffer kapcsolórendszer javítása
	Analizálókamra üzeme hibás	Analizálókamra szétkapcsolása és a regisztráló mechanizmus ellenőrzése	Elektromos komponensek javítása
	A klór gyenge keverése az adagolás helyén	A klóradag állandósult mennyiségre szabályozandó, ami minták alapján analizálandó	Az adagolás helyén keverőberendezés állítandó be, hogy megfelelő turbulencia álljon elő
	A rotamétercső-tartomány helytelenül megválasztott	A rotamétercső-tartomány ellenőrzendő	Az adagolt mennyiségnek megfelelő tartományú csövet kell beiktatni
Coliformszám nem elégíti ki a követelményeket	Elégtelen a klórozóberendezés kapacitása	Berendezés kapacitásának ellenőrzése	Új berendezés beiktatása a telepi maximális szennyvízhozamnak megfelelően

39. tábl. folyt.

Üzemelési probléma	Lehetséges ok	Ellenőrzés módja	Kiküszöbölés módja
	Elégtelen a maradék klór szabályozása	A maradék klór regisztrálása a telepi elfolyásban	Maradék klór-analizátor a klóradag automatikus szabályozására
	Rövidzárlat a kontaktmedencében	Kontaktidő	A kontaktmedencében terelőfalak létesíten-dők
			A kontaktmedencében keverőberendezés behelyezése
	Lebegőanyag ülepszik a kontaktmedence fenekére	Szemrevételezés	A kontaktmedence tisztítása
	A klórmaradék túl kevés	Klórmaradék-vizsgálat	Kontaktidő növelése és/vagy klóradag növelése
A maradék klór túl sok a telepi elfolyásban	Maradék klór túl sok	Toxikus szint meghatározása biológiai vizsgálatok alapján	Deklórozási lehetőség biztosítása
Az elfolyásnál nincs szabad klór	Klóradagoló nem működik	Szemrevételezés	A berendezés hibaelhárítása, esetleges dugulás megszüntetése
	Adagolt mennyiség nem elegendő	Mérés	Adagolást az előírt értékre állítjuk, figyelembe véve a napi szennyvízmennyiség-változásokat
	Kontaktidő kevés	Mérés	Az adagolást növelni kell (min. 30 perc)
	Adagolás a töréspont alatt van	Mérés	Növelni kell az adagolást a töréspont fölé
	A tisztított szennyvízben lévő ammónia-, nitrogén- és szerves vegyületek lekötötték a szabad klórt	Mérés	Adagolás növelése, hogy az elfolyásnál minimum 2 mg/l szabad klór legyen
A tisztítás hatásfoka romlik	Uszadék alakul ki a fertőtlenítőben	Szemrevételezés	Bukóélek tisztítása, leürítő oldalfalak tisztítása
A fertőtlenítés hatásfoka csökken	Dózis	Kémiai vizsgálat	Dózis növelése
	Kontaktidő	Biológiai vizsgálat	Kontaktidő növelése

14.17. IRODALOM

Anbar, M., Guttman, S., Rein, R. (1957): The Isotopic Exchange Between Hypohalites and Halide Ions. II. The Exchange Between Hypochlorous Acid and Chloride Ions. *J. Am. Chem. Soc.*, 81.

Aieta, E. M., Roberts, P. V. (1986): Application of Mass-Transfer Theory to the Kinetics of a Fast Gas-Liquid Reaction: Chlorine Hydrolysis Environ. *Sci. Technol.*, 20.

Baker, R. J. (1959): Types and Significance of Chlorine Residuals. *J. Am. Water Works Assoc.*, 51.

Culp, G. L., Heim, N. F., Culp, C. (W.) (1978): Field Manual for Performance Evaluation and Troubleshooting at Municipal Wastewater Treatment Facilities. *EPA*-430/9-78-001. Municipal Operations Branch, Washington, D.C.

Glabisz, U. (1967): Action of Chlorine on Mono-Hydroxy Phenols. *Chem. Tech.* (Leipzig), 19.

Griffin, A. E. (1941): Tentative Chlorine-Chloramine Differential Test in Chlorine-Ammonia Treatment of Water. Committee Report. *J. Am. Water Works Assoc.*, 33.

Hom, L. W. (1989): Disinfection and Chlorination. In Kerri, K. D.: *Operation of Wastewater Treatment Plants*. Vol. 1. Environmental Protection Agency. California State University, Sacramento.

Lifshitz, A., Perlmutter-Hayman, B. (1960): The Kinetics of Halogen Hydrolysis. *J. Am. Chem. Soc.*, 84.

Lin, S., Hullinger, D. L., Evans, R. L. (1971): Selection of a Method to Determine Residual Chlorine in Sewage Effluents. *Water Sew. Works*, 118.

Öllős G. (1990): *Csatornázás*. AQUA Kiadó, Budapest.

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

Solti D. (1993): Írásbeli közlés.

Szilágyi M. (1993): Írásbeli közlés.

Szombati J. (1993): Írásbeli közlés.

WPCF Manual of Practice, No. 11. MOP 11. 1968.

14.18. KÉRDÉSEK

1. Mi a célja a fertőtlenítésnek? (14.1. fejezet.)
2. Miért a klórt alkalmazzák fertőtlenítésre legtöbbször? (14.1. fejezet.)
3. Miért lehet a patogén mikroorganizmusokat viszonylag könnyebben elölni a szennyvíztisztítási műveletekkel, ill. klóros fertőtlenítéssel? (14.1. fejezet; *32. táblázat.*)
4. Miért nem kell, ill. nem lehet a tisztított szennyvizet sterilizálni? (14.1. fejezet.)
5. A patogén mikroorganizmusok honnan származnak? (14.1. fejezet.)
6. Mi a klórigény? (14.2. fejezet.)
7. Mi a maradék klór? (14.2. fejezet.)
8. Miként alkalmazható a szabad klór (Cl_2) és a hipoklorit (OCl^-) a szennyvíz-fertőtlenítéshez? (14.3. fejezet.)
9. Mi a szerepe a szennyvíz redukáló anyagainak fertőtlenítéskor? (14.4. fejezet.)
10. Milyen reakciók játszódnak le klóros fertőtlenítés közben? (14.3. fejezet.)
11. Melyek az ammóniával kapcsolatos reakciók? (14.4.2. fejezet.)
12. Töréspönti klórozás értelmezése, szerepe. (14.4.2. fejezet; *133–135. ábra.*)
13. Melyek a fertőtlenítést befolyásoló üzemeltetési tényezők? (14.6. fejezet.)
14. A klóros oxidáció és fertőtlenítés lehetséges helyei. (14.7. fejezet.)
15. A klórozó üzembe helyezése. (14.10. fejezet.)
16. A klórozó leállítása. (14.11. fejezet.)
17. Klórszivárgás identifikálása, ellene való védekezés. (14.14. fejezet.)
18. Deklórozás. (14.15. fejezet.)
19. Kén-dioxid alkalmazása a deklórozáshoz. (14.15.1–3. 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: 1320,— Ft áfával

ÖLLŐS GÉZA

SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEK ÜZEMELTETÉSE I.

508601