

A fonalas baktériumok visszaszorítása az eleveniszapos szennyvíztisztításban II.

Horváth Gábor - Dr. Oláh József

1. Bevezetés

„A fonalas baktériumok szaporodását befolyásoló tényezők az eleveniszapos tisztításban” című előző cikkünk a leggyakrabban előforduló fonalas baktériumok szaporodásának okaival és feltételeivel foglalkozik. Ebben a cikkben már nem térünk ki a fonalas baktériumok megjelenésének műszaki okaira, hanem csak a gyakrabban előforduló fonalas baktériumok jellemzésével, a szaporodás megelőzésével és háttérbeszorításával foglalkozunk.

Külön tárgyaljuk a faj-specifikus megoldásokat majd ez alapján az általános megoldásokat. Hangsúlyozzuk, hogy lehetőség szerint minél pontosabban azonosítani kell a habzást és az iszap-felfúvódást (bulking; Blähung) okozó baktérium csoportokat, mivel csak így lehetséges a hatékony visszaszorításuk. A baktériumok azonosítására Magyarországon jól felkészült laboratóriumok és szakemberek vannak. (Ha szükséges a szerzők megtudják adni a szakemberek elérhetőségét.)

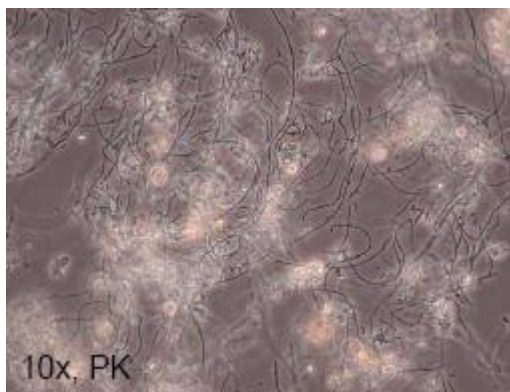
Az általános megoldások körébe olyan ajánlások kerültek, amiket új telepek tervezésénél érdemes megfontolni, és betartani.

2. A gyakrabban előforduló fonalas baktériumok jellemzése és háttérbe szorításuk módjai

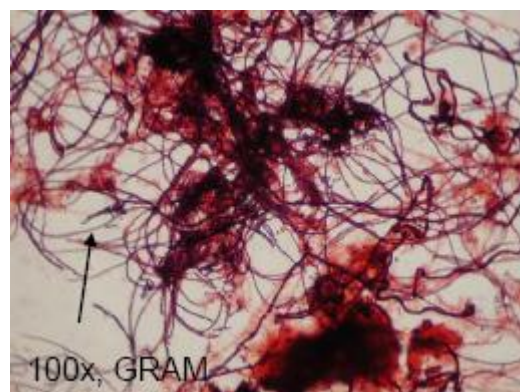
Az iszap-felfúvódást okozó baktérium csoportok azonosítását követően az adott csoportra vonatkozó ismeretek birtokában nagyobb esélyünk van a szaporodás visszaszorítására. Természetesen az azonosítás és az üzemi beavatkozás nem választható el egymástól.

2.1 A *Microthrix parvicella*

A *Microthrix parvicella* fonalas baktériumot az 1. számú fénykép-felvétel mutatja be.



A



B

1. számú felvétel. Microthrix parvicella: „A” – festés nélküli fázis kontrasztal és 10x-res nagyítással; „B” – Gram festéssel világos látómezővel és 100x-ros nagyítással készített felvétel

Észak- és Nyugat-Európában a fonalasodás legfőbb okozója a *Microthrix parvicella* fonalas baktérium. Ez a baktérium jelenik meg 93%-ban a kommunális szennyvíztelepeken.

Magyarországon is a leggyakrabban előforduló fonalas baktérium, megjelenésének valószínűsége, hasonlóan magas, mint Észak- és Nyugat-Európában.

Az utóülepítőből elfolyó, tisztított szennyvízzel „hab foszlányok” és ezzel együtt baktériumok úsznak el és ennek következtében a tisztított szennyvíz minősége jelentősen romlik. Ez különösen azoknál a szennyvíztelepeknél okoz gondot, ahol az elfolyó, tisztított szennyvízzel szemben szigorú határérték követelményeket állítanak fel.

A másik nagy gond, hogy ez a baktérium kimondottan alacsony terhelésű telepeken jelenik meg, így még az a lehetőség sincs meg, hogy a szennyvíztelep bővítésével, véglegesen ki tudnánk küszöbölni ezt a problémát.

A baktérium az anaerob iszapkezelésben is gondot okoz, ugyanis a gázképződés hatására a rothasztóban hab képződik és a gáz elvétel során nagy mennyiségű hab és folyadék kerülhet a gáz rendszerbe.

2.1.1 A *Microthrix parvicella* baktérium szaporodásának feltételei

A baktériumok szaporodását különösen elősegítik a hosszú szénláncú zsírsavak és a rövid szénláncú, fermentációból származó zsírsavakat.

Ha a szennyvíztelepre váltakozó ammónia koncentrációjú szennyvizek érkeznek, akkor ez hátráltatja a nitrifikáló baktériumok szaporodását és elősegíti a fonalások szaporodását, mivel ez a baktérium az alacsony ammónia koncentráció értékeket ugyan olyan jól elviseli, mint a magasakat.

A tisztítandó szennyvíz gyakran nagy mennyiségben tartalmaz zsírokat és zsírsavakat. (Ez főleg olyan körzetekben jellemző, ahol panellakásokból és új lakóparkokból vezetik el a szennyvizet.)

Emellett komoly gondot okoz, ha rothasztó üzemel a szennyvíztisztító telepen, mert a víztelenítés során keletkező csurgalék vizek is jelentős mennyiségű zsírsavat tartalmazhatnak és így ez visszakerülhet az eleveniszapos rendszerre.

A szippantott vizek is nagy mennyiségben tartalmaznak zsírsavakat.

Ha a víz hőmérséklete 15 Celsius-fok alá hűl és ha a szennyvíztelep BOI_5 terhelése $0,1 \text{ kg/kg} \times \text{nap}$ érték alatt van akkor a *Microthrix parvicella* baktérium gyakran megjelenik a szennyvíztelepeken.

Ha a víz hőmérséklete 20 Celsius-fok fölé emelkedik, akkor ezek a fonalas baktériumok fonalai széttöredeznek és a baktérium gyakorisága gyorsan csökken az eleven iszapban.

Ha a szennyvíztelep szerves anyagterhelését növeljük és ha eléri a $0,2 \text{ kg } BOI/\text{kg} \times \text{nap}$ értéket akkor a szaporodásuk szintén visszaszorul, de nem pusztulnak el. Ha a nitrifikációt újra beindítjuk a telepen, akkor *Microthrix parvicella* baktérium újra megjelenik az eleven iszapban és komoly habzást okoz.

Az 1.táblázatban a *Microthrix parvicella* szaporodásának megszüntetése céljából kipróbált módszereket és ezek 'eredményét' foglaltuk össze. A felsorolt módszerek általánosan ismertek. Ezek a megoldások csak „tüneti” kezelésnek számítanak, mert a fonalasadást előidéző alapvető okokat nem szüntetik meg.

1.táblázat A *Microthrix parvicella* szaporodásának megszüntetése céljából alkalmazott egyéb módszerek összefoglalása

Módszer	Eredmény
A felúszó hab szétveretése víz-sugárral	Eredménytelen, mert a hab folyamatosan képződik
Mész (kalcium hidroxid) adagolás	A Mohlmann-index ugyan csökkent, de a eredményt csak pH ~9,0 körül lehet elérni. Ennél a pH értéknél már a heterotróf baktériumok is károsodnak
Vas (III) klorid adagolás	600 g/m ³ FeCl ₃ oldat adagolásával a Mohlman-index 340-ről 240 ml/g értékre csökkent. A kérdést végérvényesen nem oldotta meg.
Aktívszén adagolás	9-12 Celsius-fok között a Mohlmann-index 220-ről 150 ml/g értékre csökkent és itt stabilizálódott. Míg, ha az aktív szenet a recirkuláltatott iszapba adagolták, akkor 18 Celsius-fokon, a 0,1 kg/kg x nap BOI ₅ terhelés felett a Mohlmann-index 100 ml/g alá csökkent.
Erős oxidálószer adagolása (Hidrogén-peroxid és klór)	Az oxidáló szerek hatására a <i>Microthrix parvicella</i> részleges elpusztítható. A vegyszerek általános oxidáló hatása a baktériumok pusztulásához vezet, és ennek következtében a kifolyó szennyvízben a KOI, ammónia és SZOE tartalom növekedése várható. A klór-adagolásnál külön veszélyt jelenthet a klórozott melléktermékek megjelenése.
Szelektor beépítése	Szelektor a biológiai rendszer elé beépített 5-60 perces tartózkodási idővel rendelkező medence, amiben aerob, anoxikus vagy anaerob körülményeket biztosítanak. Általában magas iszap koncentrációval üzemelnek. A szelektor beépítése a <i>Microthrix parvicella</i> ellen csak részlegesen volt eredményes.
Kation aktív polimer adagolása a levegőztető medencébe	Hatékony megoldás, a fonalakat összezárja, így a Mohlmann-index javul. De csak addig működik, amíg a polimer adagolása történik. Ha az adagolást abba hagyják, akkor a fonalak rövid időn belül újra kinyúlnak. Az így kialakított pelyhekben a <i>Microthrix parvicella</i> nem pusztul el, a denitrifikáció nem folyik, mert az így bezárt fonalak nem alkotnak igazi pelyheket.

2.1.2 A Breisgauer Bucht-i szennyvíztelepen a polialumínium-klorid vegyszer adagolásával elért eredmények ismertetése

A *Microthrix parvicella* fonalas baktérium elpusztítása céljából adagolt poli-alumíniumkloriddal szerzett tapasztalatokat Nielsen et. al (2005) foglalják össze. Megfigyelték, hogy azokon a szennyvíztisztító telepeken, ahol alumínium-kloriddal történő foszfor kicsapás történt, a *Microthrix parvicella* fonalas baktérium gyakorisága alacsonyabb volt, mint azokon a szennyvíztisztító telepeken, ahol vas-kloridot vagy vas-szulfátot adagoltak a foszfor leválasztásához.

Ettől kezdve szisztematikusan kutatták. Ma már tudjuk, hogy az eleveniszap koncentrációra vonatkozó 3g Al/kg x nap adagolás mellett 15-25 napos adagolási idő után a *Microthrix parvicella* teljesen elpusztítható. Az adagoláshoz kizárólag alumínium-klorid vagy PAX-18 (polialumínium-klorid) alkalmas. A levegőztető vagy anaerob medencében kell adagolni az alumínium-klorid tartalmú szereket (Dries, Schultz, 2001).

Több kísérlet is történt más alumínium tartalmú szerekkel, ezek hatékonysága vegyes volt. Sőt volt olyan eset is amikor az alumínium-szulfát és nátrium-aluminát hatására 3 hét alatt a Mohlmann-index 130-ról 260-ra növekedett, amely az iszap ülepedési tulajdonságának az egyértelmű romlását jelentette.

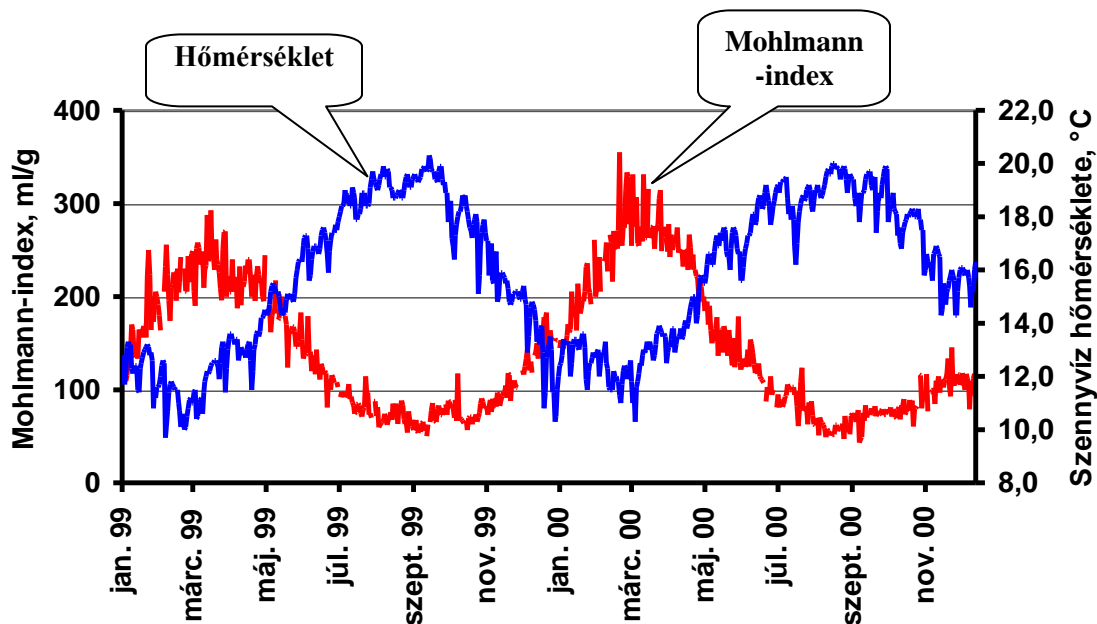
Breisgauer Bucht-i szennyvíztelep fontosabb adatait a **2.táblázat** mutatja. A telep teljes tápanyag eltávolítással üzemel. A szennyvíztelepen anaerob rothasztó is üzemel, csurgalék-vizeket a telep biológiájára vezetik vissza.

2. táblázat Breisgauer Bucht-i szennyvíztelep fontosabb adatai

A paraméter megnevezése	A paraméter értéke
A szennyvíztelep tisztító kapacitása (m ³ /nap)	95 000
Befolyó szennyvíz és (elfolyó) szennyvíz:	
• KOI (mg/L)	270 (45)
• BOI ₅ (mg/L)	170 (10)
• NH ₄ -N (mg/L)	52 (5)
• Összes – P (mg/L)	6 (0,8)

Megjegyzés: A zárójelben feltüntetett adatok az elfolyó, tisztított szennyvíz minőségét mutatják

A szennyvíztelepen rendszeresen mérték a Mohlmann-indexet és a hőmérsékletet. A mérési eredmények időbeni lefutását az **1.ábra** mutatja.

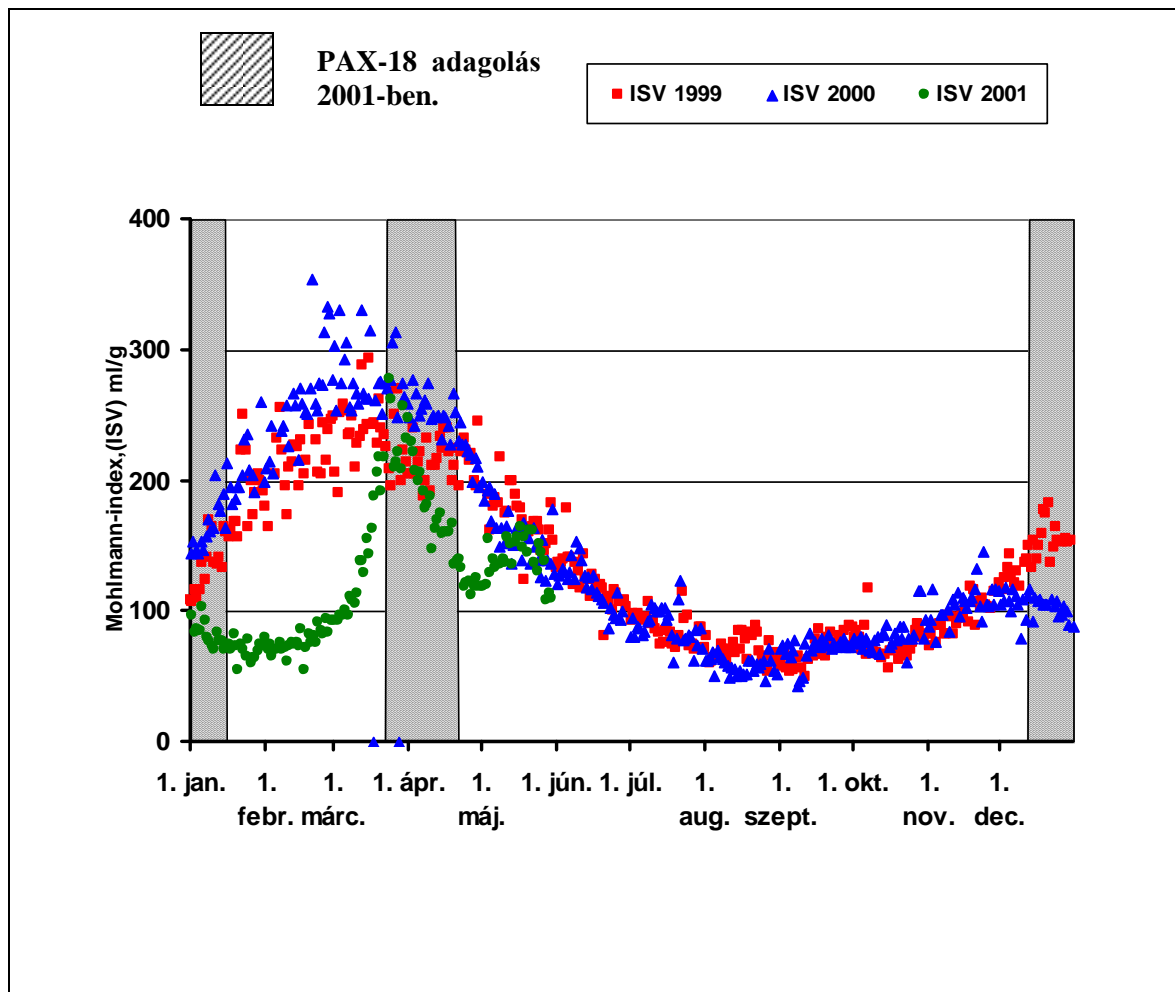


1.ábra. A hőmérséklet és a Mohlmann-index változása az idő függvényében

Az 1. ábrán jól látszik, hogyha a hőmérséklet 15 °C alatt van, akkor a Mohlmann-index 200 ml/g értéket meghaladja, majd ha a hőmérséklet 20 °C körüli értékre emelkedik az iszap index értéke 100 vagy ez alatti értékre csökken. A hőmérséklet és az iszap index értékének fordított irányú változása arra utal, hogy a *Microthrix parvicella* alacsonyabb hőmérsékleten elszaporodik és az iszap ülepedését rontja.

A **2. ábra** a PAX-18 (polialuminium-klorid) adagolás hatására bekövetkező iszapindex változást mutatja 2001-ben. A szennyvíztelepen csak 2001-ben volt PAX-18 vegyszer adagolása (függőleges sávok)!

A hőmérséklet további csökkenése – 12 °C alatt – már a *Microthrix parvicella* baktérium szaporodását is csökken. Az adagolást befejezését követően 55 - 60 napnak kellett elteltie, hogy a *Microthrix parvicella* baktérium újra elszaporodjon és meghatározza a szennyvíziszap ülepedését. A késő tavaszi, nyári és őszi időszakban a *Microthrix parvicella* szaporodásával nem kell komolyan számolni, mert ebben az időszakban a levegőztető medencében a hőmérséklet értéke meghaladja 16 °C értéket.



2.ábra. A Mohlmann-index változása a PAX-18 adagolásának hatására 2001-ben, a 1999-es és 2000-es évekhez viszonyítva.

A polialuminium-klorid (PAX-18) hatása

A polialuminium-klorid (PAX-18) a *Microthrix parvicella* fonalait fragmentjeire tördeli, így azok elpusztulnak. A fonalas baktériumok háttérbe szorításával, az ok megszüntetésével, a felúszó hab is megszűnik és ezzel a levegőztető medencében a „normális” pehelyszerkezet helyreáll. A pehelyszerkezet javításával helyre áll a szimultán denitrifikáció is.

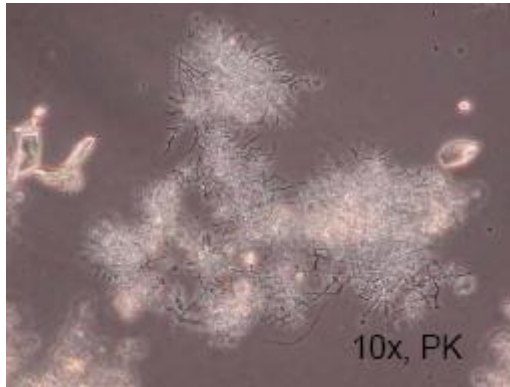
A magas alumínium tartalom hatékony foszfor kicsapást tesz lehetővé, így a fonalas baktériumok háttérbe szorításával párhuzamosan a foszfor eltávolítás is megtörténik, pótlólagosan a foszfor eltávolítás céljára már nem kell más vegyszert adagolni.

A zárt pelyhek hatására az iszap koncentráció a levegőztető medencékben nő, aminek hatására helyre áll a stabil nitrifikáció, amely korábban az iszap elúszás hatására korlátozódott vagy megszűnt.

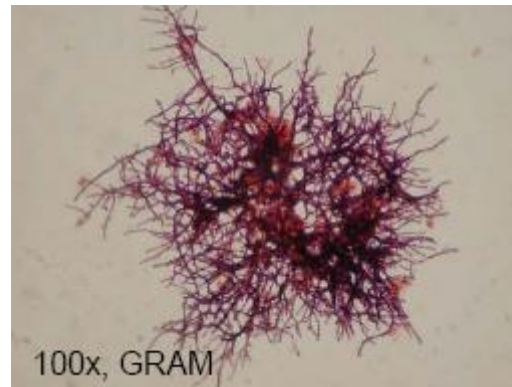
2.2 A *Nocardiaform actinomycetes*

Szaporodásának feltételei

A *Nocardiaform actinomycetes* fonalas baktérium az eleveniszapos szennyvíztelepeken nagyfokú habzást okoz, míg ez nem mindig jár magas Mohlamann-értékekkel.



A



B

2. számú felvétel. *Nocardiaform Actinomycetes*: „A” – festés nélküli fázis kontraszttal és 10x-res nagyítással; „B” – Gram festéssel világos látómezővel és 100x-ros nagyítással készített felvétel

Nocardiaform Actinomycetes ipari és kommunális szennyvíztelepek kiegészítő és kevert egyterű levegőztető medencéiben jelenik meg. „Tipikus” hab-képző organizmusként ismert.

A *Microthrix parvicella* baktériumokhoz hasonlóan rendelkezik hidrofób sejtfelülettel, amit stabilizálnak a jelenlévő és a kiválasztott felületaktív anyagok (zsírok, olajok, detergensok) és így stabil habot képeznek az eleven iszapos medencék felszínén és az utóülepítőkön.

A hidrofób szubsztrátok és a zsírok kedveznek a *Nocardia* növekedésének. Mindenek előtt a befolyó víz 150 mg/l körüli lipofil koncentrációja, a >0,3kg/kg nap zsírterhelés és a levegőztető medencékben 20 Celsius-foknál magasabb hőmérséklet kedvez a *Nocardia* szaporodásának. Szaporodásukhoz nagy iszapkor, magas oxigén koncentráció és fentiekben ismertetett optimális szubsztrát összetétel szükséges. Ritkán jelenik meg stabilan nitrifikáló telepeken, közepes és nagy terhelésű telepekre inkább jellemző. A BOI₅ terheléstől (>0,1 kg/kg x nap) függetlenül, ha hidrofób szubsztrát, apoláros szénhidrogének és felületaktív anyagok (tenzidek), vagy könnyen lebontható szubsztrátok állnak rendelkezésre a *Nocardia* megjelenésével számolni kell.

Ipari szennyvizek esetében 20 Celsius-fok feletti hőmérsékleten dominánssá válhat a *Nocardia*, ez általában a szennyvíz összetételének (cellulóz, keményítő vagy a tenzidek) tulajdonítható. Gyakran 20 Celsius-fok alatti hőmérsékletnél a *Nocardia* a *Microthrix Parvicella* baktériummal együtt jelenik meg.

Nocardia nem kizárólag zsírokat és olajokat képes lebontani, hanem széles a szubsztrát lebontó spektruma. Könnyen lebontja a zsírok mellett a mono-és diszacharidokat, polialkoholt (ilyen pl. poli-hidroxi-butilát, a PHB) és a rövid, illó zsírsavakat is.

A Nocardia a denitrifikálást rossz hatásfokkal végzi.

Védekezés ellene:

1. A keletkező habot a levegőztető felszínéről és az utóülepítőről el kell távolítani, és ezt külön kell kezelni (pl. mésszel)
2. Szelektorok (anaerob/anoxikus) 30 perces tartózkodási idő esetében nagy mértékben csökkentik a szennyvíz SZOE adszorpcióját és gátolják a Nocardia szaporodását. Ajánlatos, hogy az adszorbeálódott lipofil anyagokat tartalmazó eleven iszapot külön kezeljük és ne a levegőztető medencébe vezessük. Az adszorbeálódott lipofil anyagok kezelésére alkalmas módszer lehet pl. sűrítés után az eleveniszapnak rothasztóba vezetése, ahol a zsírsavak és az így megkötött lipofil anyagok könnyen lebomlanak.
3. Aerob szelektor beépítése, ahol a levegőztetés során a lipofil anyagok részleges bontása megtörténik.
4. Előflotációval leválasztani a lipofil anyagokat.
5. PAX-18 segítségével leválasztani a lipofil anyagokat az előülepítőben. A PAX-18 vegyszernek a levegőztető medencébe történő adagolása nem hatékony megoldás!

2.3 021N baktérium szaporodásának feltételei

Könnyen lebontható szubsztrátok, mindenképp előtt cukrok és a rövidláncú zsírsavak segítik a 021N baktériumok növekedését és elszaporodását. Kén baktériumok csoportjához tartozik, amik képesek redukálni a szulfát-ionokat és tárolni a ként (*Fleit, Gulyás, 1992; Wanner, 1994*).

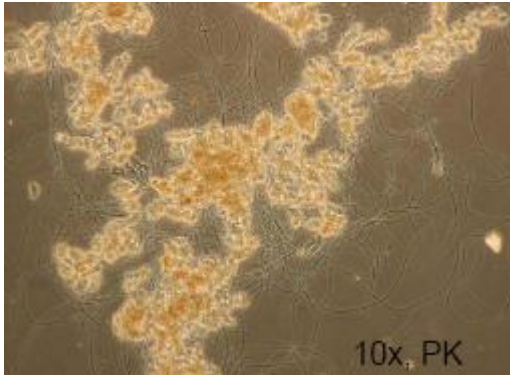
Hiányos oxigén ellátás mellett jelenik meg. Alacsony oxigén szint mellett nagy mennyiségű rövid zsírsavat és szulfidot állít elő.

Előnyös számára a N és P szegény szennyvíz, mert az alacsony K_N - értéke (fél-telítési állandó) miatt jobban tudja hasznosítani az ammóniát, mint a többi baktérium.

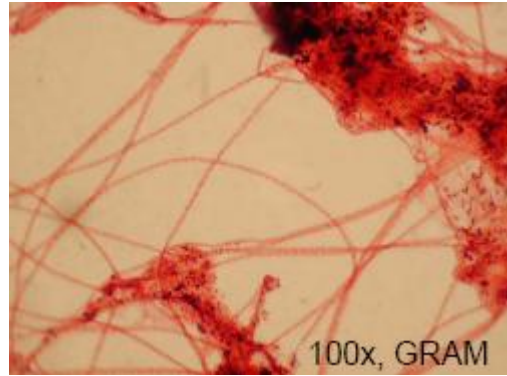
A 021N fonalas baktériumot a 3. számú fénykép-felvétel mutatja be.

A 021N megjelenése nagymértékben a szennyvíz összetételétől és a lökésszerű terhelésektől függ.

Normális körülmények között előfordul élelmiszeripari és kommunális szennyvíztelepek kevert aerob és kiegyenlítő medencéiben, de számuk csak akkor válik zavaróvá, ha a telep túl terhelt.



A



B

3. számú felvétel. 021N fonalas baktérium: „A” – festés nélküli fázis kontraszttal és 10x-es nagyítással; „B” – Gram festéssel világos látómezővel és 100 x-ros nagyítással készített felvétel

Védekezés ellene:

Általában egy szelektor medence beépítése nem elégséges a 021N baktériumok szelektív háttérbe szorítására. Ezzel szemben 3 egymással sorba kötött aerob medence beépítése az aerob kevert medence elé teljes mértékbe háttérbe szorítja a 021N fonalas baktériumok szaporodását. Nagyon fontos, a tervezésnél, hogy olyan aerob medence rendszert tervezzenek be, hogy a 021N baktérium szubsztrát tároló képessége megújuljon, tehát az aerob medencében megtörténjen a korábban tárolt szerves anyag lebontása. Ha ez nem történik meg, akkor előnybe kerül a pehelyképző baktériumokkal szembe, tápanyag szegény, anaerob környezetben. Utóülepítőket minimális iszapszinttel szabad csak működtetni. (Nem szabad, hogy a 30' ülepedés meghaladja a 500 ml értéket, 100%-os recirkulációs aránynál.)

A 021N baktériumok elszaporodását polialumínium-klorid (PAX-18) oldat 80-120 g/m³ mennyiségben történő adagolása megakadályozza és nagyobb adagolási mennyiségben (150 g/m³) elpusztítja.

Kerülni kell a berothadást előidéző körülményeket, ahol a 021N baktériumok szelektív előnyhöz juthatnak a pehelyképző baktériumokkal szemben.

Kiegészítő tápanyagként ammónia tartalmú anyagokat adagolásával megakadályozhatjuk a pehelyképző baktériumok háttérbe szorulását. Ez főleg ipari szennyvizek esetén fontos, ahol minimális ammónium-nitrogén van a szennyvízben.

2.4 A *Thiotrix* sp. baktérium szaporodásának feltételei

Ez a fajta baktérium szintén a kénbaktériumokhoz tartozik, kén-hidrogént is elő tud állítani, ha anaerob körülmények közé kerül. Kén szemcséket képes tárolni a sejten belül. Nem játszik szerepet a kis terhelésű, nitrifikációt végző telepeken, ahol anoxikus és anaerob medencék vannak az aerob medence előtt.

Kommunális szennyvíztelepeken nagyon ritkán fordul elő. Rövid-láncú zsírsavak nagy mennyiségű megjelenése a szennyvízben a *Thiorix* sp. baktériumok elszaporodásával jár.

Védekezés ellene:

Csökkenteni kell a levegőztetés nélküli medencék (anaerob és anoxikus) számát és azokban fenntartott tartózkodási időt. Ilyenkor az anaerob és anoxikus medencéket célszerű aerob kaszkád medence sorrá átalakítani.

Az iszaptárolás során kerülni kell az anaerob körülményeket. (pl. ha a telepen az előüleptítőbe történik a fölős-iszap elvétel - kevert iszapot állítanak elő -, akkor ennek megszüntetésével párhuzamosan háttérbe szorítható a Thiotrix sp. baktérium szaporodása).

Javítani kell az oxigén bevitelt a levegőztető medencékben. A Thiotrix sp. baktériumnak kedvez az alacsony oxigén koncentráció.

2.5 A *Heliscomenobacter hydrossis* baktérium szaporodásának feltételei

Ipari és kommunális szennyvíztelepeken fordul elő kevert és kiegyenlítő medencékben,

- ha foszfor hiányos a szennyvíz,
- ha magas a szerves vagy szervesetlen ammónia tartalom és
- könnyen lebontható szubsztrát áll rendelkezésre,
- és időszakosan felléphet oxigén hiányos állapot is.

Sok esetben a *Heliscomenobacter hydrossis* baktériumok a *021N* baktériumokkal együtt jelennek meg. Nagy hőmérsékleti (6-30 Celsius-fok) tartományban szaporodik. Megjelenése és elszaporodása független a BOI_5 terheléstől.

Védekezés ellene:

Az aerob medencében lehetőség szerint kerülni kell az oxigén hiányos állapotokat. Amennyiben szükséges foszfor pótlással kell beállítani az optimális P/ BOI_5 arányt.

A könnyen lebontható vegyületek lebontása céljából a kevert rendszerű aerob levegőztető medence elé aerob szelektort ajánlatos beépíteni.

A *Heliscomenobacter hydrossis* baktériumok szaporodása pH 9 érték körül erősen lecsökken. Kisebb szennyvíztelepeken az ilyen típusú fonalas baktériumok szaporodása mész adagolással is hatékonyan háttérbe szorítható.

2.6 *Sphaerotilus natans* baktérium szaporodásának feltételei

Magas terhelés mellett jelenik meg élelmiszeripari, papíripari és kőolajipari üzemek tisztítóiban, lökésszerű terhelés mellett.

Alacsony oxigén koncentráció mellett is hatékonyan tud szaporodni. (0,1mg/L oxigén koncentráció elégséges a szaporodásához).

Nem fordul elő kommunális szennyvíztisztító telepeken és kis terhelésű telepeken.

Védekezés ellene:

A szennyvíztelepen kiegyenlített terhelést kell biztosítani. Az aerob levegőztető medence előtt aerob szelektort vagy egy aerob kaszkád rendszert kell kialakítani.

3. A fonalas baktériumok visszaszorítására alkalmazott általános technológiai

megoldások

A fentiekben ismertettük a szennyvíztelepeken leggyakrabban megjelenő fonalas baktériumokat, elszaporodásukat kiváltó okokat és a visszaszorításukra javasolt technológiai megoldásokat.

A fonalas baktériumok szaporodását megakadályozó általános technológiai megoldások lényegében nem térnek el az egyes fonalások baktériumoknál javasolt technológiai megoldásokról. Itt a fonalas szervezetek szaporodásának megakadályozását szolgáló általános technológiai megoldásokat összefoglaló jelleggel ismertetjük.

Ebben a fejezetben tárgyalt technológiai változtatások javítják a szennyvíztelepek általános tisztítási hatásfokát és növelik a pehelyképző baktériumok szaporodásának esélyeit a fonalas baktériumokkal szemben. Ezeket a javaslatokat a tervezésnél érdemes figyelembe venni.

Általános üzemi tapasztalatok alapján a fonalas baktériumok várható megjelenésére vonatkozóan megállapíthatjuk:

- Egy jól működő stabil nitrifikációt végző kommunális szennyvíztisztító telepen a fonalas baktériumok közül nagy valószínűséggel csak a *Microthrix parvicella* fordul elő, ha a víz hőmérséklete 15 Celsius-fok alá hűl.
- Ha a telep közepes terhelésű szennyvíztisztító telep, akkor nagy valószínűséggel a nyári időszakban a *Nocardia* és a *021N* típusú baktérium is megjelenik, míg az őszi, téli és a tavaszi időszakban a *Microthrix parvicella* baktérium lesz a meghatározó.
- Ha a szennyvíztisztító telepen a teljes eleven iszapos medencére vonatkoztatva az anaerob és anoxikus medence térfogat eléri 20%-t, akkor a fenti három baktérium nagy valószínűséggel megjelenik az iszapban, de várhatóan komoly gondot csak a *Microthrix parvicella* fog okozni. Ha az anaerob és anoxikus tér összterfogata 40%-t is meghaladja, a fenti három baktérium nagy mennyiségben megjelenhet és egész évben habzás várható.
- Szintén hátrányos egy szennyvíztelep részére, ha az aerob medence egyterű (kevert reaktorként működik), ez ugyanis gyakran azzal jár, hogy a térfogata nem elégséges a téli időszakban a stabil nitrifikációhoz. Ezért gyakran a 30 perces ülepedési értéket 500 ml érték fölött tartják, aminek hatására az iszap az utóülepitőben hosszabb időt (2 – 10 órát) tartózkodik, ami a *Microthrix parvicella* szaporodásának kedvez, míg 15-18 Celsius-fokos víz hőmérséklet felett a *021N* és a *Nocardia* szaporodásának kedvez a hosszú utóülepitési idő.
- Ha a befolyó szennyvíz magas étolajtartalmú, ami ma Magyarországon a lakótelepekről és az új lakóparkokból jövő szennyvízre különösen jellemző, akkor a *Nocardia* és *Microthrix parvicella* baktérium megjelenése kritikus értéket érhet el.
- Hasonlóan gondokat okozhat, ha tisztító telep iszapvonalán az iszap pang és berothad, vagy a fenntartott oxigén koncentráció nem elegendő az aerob viszonyok biztosításához.

3.1 Két-lépcsős eleveniszapos tisztítás

Az első lépcsőnél (levegőztető + utóülepitő) nagy biológiai terhelést (3,0 – 5,0 kg BOI/kg nap) alkalmaznak, ezt követi a második kis terhelésű (< 0,2 kg BOI/kg nap), nitrifikációs

tisztítási lépcső (levegőztető + utóülepítő). A két lépcsős biológiai tisztítást akkor alkalmazzák, ha az elfolyó, tisztított szennyvíznél szigorú minőségi követelményeket ($< \text{KOI: } 50 \text{ mg/L}$) kell kielégíteni vagy a tisztítandó szennyvíz biológiailag nehezen bontható és az elfolyó vízminőséget csak ezzel a tisztítási móddal, lehet biztosítani. A fonalások szaporodásának megakadályozására általában nem alkalmaznak kétlépcsős tisztítást, de alkalmazása esetében a fonalás szervezetek szaporodása nem gyakori. Az ipari szennyvizek (tej, sör) tisztítására a kétlépcsős technológiát általánosan alkalmazzák. Az első biológiai lépcsőben a nagy terhelés hatására a könnyen bontható tápanyagok lebontása végbemegy és ez a tisztítási lépcső a pehely-képző baktériumok kialakulásának kedvez, tehát a szelektív versenyben a fonalás baktériumok kialakulásának kicsiny az esélye. A második tisztítás lépcsőben megy végbe a nehezebben bontható szervesanyagok és az ammónia oxidációja. Tehát megállapítható, hogy a kétlépcsős tisztítási technológia nem kedvez a tápanyag specifikus fonalás szervezetek elszaporodásának, mert az ilyen jellegű tápanyagok (zsírsavak, szénhidrátok) lebontása az első biológiai lépcsőben végbemegy.

3.2 A levegőztető reaktorok kialakítási módja

Ha az anaerob vagy anoxikus reaktort egy átkevert aerob medence követi akkor ajánlatos, hogy az anoxikus és az anaerob tér összes térfogata ne haladja meg az eleven iszapos medence térfogat 30-35%-át, mert ebben az esetben a téli és a nyári fonalásodás is felléphet, főleg olyan szennyvíztisztító telepeken, amik közepes terhelésre lettek építve. Ha a két szelektor medence össztérfogat 15-30 % körül van akkor valószínű, hogy csak a téli fonalásodás fog fellépni.

A kaszkád-reaktor elv alkalmazása.

A szennyvíztisztítási szakkönyvek ma már egyértelműen állást foglalnak amellett, hogy a tisztító telepeknek a kialakításánál a kaszkád reaktor elvet célszerű követni (*Metcalf & Eddy, Inc., 2003*). Ennek hatására az első aerob medencében magas terhelés mellett a pehelyképző baktériumok szaporodása lesz a meghatározó, amik itt hatékonyan felveszik a könnyen bontható tápanyagokat. Így a 2. és a 3. aerob medencében a fonalás baktériumok már nem tudnak szaporodni, sőt megjelennek a magasabbrendű ún. indikátor szervezetek, amik az eleven iszap mennyiségét és ezzel párhuzamosan a fonalás baktériumokat nagymértékben csökkentik (*White et. al, 1980; Lee Sang-Eun et. al, 1982*).

3.3 Szelektorok alkalmazása

A szelektorok alkalmazásával kapcsolatban számos szakirodalmi hivatkozás jelent meg (*Daigger et. al, 1985; Fainsod et. al, 1999; Oláh et. al, 2001*). Az alábbiakban összefoglaljuk az erre vonatkozó fontosabb tapasztalatokat:

- *Biológiai foszfor eltávolításnál alkalmazott anaerob reaktor hatása.* A biológiai foszfor eltávolításnál alkalmazott anaerob reaktor a fonalás szervezetek szaporodásának a visszaszorulásával jár, ha az anaerob medence után 2 vagy 3 aerob medencéből álló (kaszkád) rendszer van, ahol a baktériumok fel tudják dolgozni az anaerob térben felvett tápanyagukat. Ha az anaerob teret egy átkevert aerob reaktor követi, úgy a 021N és a *Microthrix parvicella* elszaporodásával számolni kell.
- *Anoxikus denitrifikáló reaktor hatása.* Az elő-denitrifikáció során elegendő nitrát jelenlétében a könnyen bontható tápanyag jelentős része lebontódik. Ez azt jelenti,

hogy az aerob lépcsőben a fonalas szervezetek számára tápanyag hiány lép fel és azok nem tudnak elszaporodni. Ha az aerob medence több medencéből áll, és a korábban felvett tápanyag feldolgozására rendelkezésre áll megfelelő tisztítási idő, akkor ez a pehelyképző baktériumok számára szelekciós előnyt jelent.

- *Aerob szelektor hatása:* A hatékony és stabil nitrifikáció céljából a konvencionális és az építendő új szennyvíztelepeknél célszerű „aerob szelektorokat” alkalmazni. Külön előnyt jelent, ha az első nagy terhelésű medence után nem egy átkevert reaktor kerül kialakításra, hanem egy hosszanti átfolyású levegőztető medence. Ennek a medencének a hosszúság/szélesség arányát 10-20:1 közötti értéken érdemes tartani, evvel biztosítva a megfelelő tisztítást és a fölösiszap mennyiség minimalizálását. (Öllös, 1994).

A biológiai foszfor eltávolításnál alkalmazott anaerob szelektorokban sok esetben anaerob bontási termékek (rövid láncú zsírsavak) halmozódnak fel és ezen termékek a fonalas szervezetek számára szubsztrátként szolgálhatnak és azok szaporodását elősegíthetik. Így ha denitrifikációt alkalmazunk egy szennyvíztisztító telepen, ott nem előnyös anaerob fokozatot építeni, mivel a magyarországi szennyvizek magas ammónia tartalma miatt, olyan nagyságú anoxikus tereket kell beépíteni, ami már nem teszi lehetővé az anaerob tér kialakítását a *Microtrix Parvicella* és a *O21N* megjelenése nélkül.

Szerencsésebb a kémiai foszfor eltávolítás, mint a biológiai foszfor eltávolítás, mivel a biológiai foszfor eltávolítással megnő a fonalas baktériumok megjelenésének a veszélye. Ugyanis a megnövekedett anaerob-anoxikus tér hatására az eleveniszap pelyhei széttöredeznek, ami együtt jár a szimultán denitrifikáció csökkenésével. Viszont a biológiai foszfor eltávolítás csak akkor hatékony, ha nagy mennyiségű iszapot emelünk ki a rendszerből. Ezért érdemes költségbecslést végezni: a plusz iszap elhelyezés és feldolgozás, a nehezebben vízteleníthető iszap és a fonalas baktériumok megjelenése áll az egyik oldalon, míg a kisebb fölösiszap mennyiség és feldolgozás, stabil biológiai működés és a kémiai foszfor kicsapás a másik oldalon.

Recirkuláltatott iszap aerob kezelése:

Régóta ismeretes módszer, hogy az utóülepítőből visszaforgatásra szánt eleveniszapot előbb aerob módon regenerálják, majd a levegőztető medence elé visszavezetik. Ezzel a módszerrel az adszorbeálódott tápanyagot le lehet bontani és ily módon az eleveniszapot regenerálhatják. A regenerálás után az iszap bioszorpciós kapacitása megnő és ezzel együtt a pehelyképző heterotróf baktériumok életfeltételei javulnak és a fonalas szervezetek szaporodása csökken. A regenerálási idő kb. 1 óra és az oxigén koncentrációt legalább 2,0 mg/l értéken kell tartani a medencében.

3.4 Biofilm reaktorok alkalmazása

A biofilm reaktorokat elsősorban második tisztítási lépcsőben ammónia oxidációra alkalmazzák. Az erősen szennyezett szennyvizek közvetlen tisztítására nem igen alkalmazzák, mert a nagyfokú iszapszaporulat miatt a szűrők gyakori eltömődése az üzemeltetést akadályozná. A tapasztalat azt mutatja, hogy a biotöltetek felületén nem szaporodnak el a fonalas baktériumok.

A biotöltetek felületén a fonalas szervezetek kialakulását az alábbi tényezők akadályozzák:

- A hordozó töltet felületén kialakuló a fonalas szervezeteket a folyamatosan áramló víz és gyakori öblítő mosás mechanikai úton eltávolítja
- Miután a biotölteteket második tisztítási fokozatként alkalmazzák ez azt jelenti, hogy a töltetre már nem jut könnyen bontható tápanyag, s így a szubsztrát függő fonalasok sem tudnak elszaporodni
- A biotölteteknél a fonalasok kialakulását a viszonylag nagy oxigén koncentráció is akadályozza, mivel a töltet felületén anaerob vagy anoxikus bomlás termékek nem alakulnak ki

A fonalas baktériumok eleveniszapos szuszpenziós rendszerekben tudnak nagymértékben elszaporodni, amikor a fonalak egymáshoz kapcsolódva kusza hálószerkezetet kialakítva az iszap ülepedését akadályozzák.

3.5 A fonalasodás kezelésének mechanikai-akusztikai (ultrahang) módszere

A fölősiszap sejteinek ultrahanggal történő roncsolásának elsődleges célja ugyan az anaerob rothasztás intenzifikálása, illetve az aerob iszapstabilizálás határfokának növelése és a fölős-iszap mennyiségének csökkentése, de alkalmazása egyben a fonalasok visszaszorulását is eredményezi (*Németh, Kárpáti, 2005*).

Ennek a technikának az alkalmazásához a fölős-iszap egy részét (napi mennyiség kb. 20-40%-t), be kell sűríteni 4-6%-ra, majd ezt kell ultrahanggal kezelni. Ennek hatására a sejtek fizikailag feltáródnak, a sejtek citoplazmájából felszabaduló enzimek oldatba kerülnek és ezek a fonalas baktériumokat gátolják, így háttérbe szorulnak a pehelyképző baktériumokkal szemben. A kezelés hatására fellépő fölősiszap csökkenéssel párhuzamosan javul a nitrifikáció, a denitrifikáció és egyben nő a telep biológiai terhelése - 8-15%-kal -, mivel a feltárás során szerves anyag szabadul fel.

Irodalom

Wanner, J. (1994): Activated Sludge Bulking and Foaming Control. TECHNOMIC Publishing. INC. Lancaster·Basel, 6 – 21, 129 – 198

Daigger, G. T. – Robbins, M. H. – Marshall, B. R. (1985): The design of a selector to control low-F/M filamentous bulking. Journal WPCF, 57, 3, 220 – 226.

Fainsod, A. – Pagilla, K.R. – Jenkins, D. – Pitt, P. A. – Mamais, D. (1999): The Effect of anaerobic Selectors on Nocardiaform Organism Growth in activated Sludge. Water Environment Research, Volume 71, Number 6, 1151 – 1157.

Fleit, E. – Gulyás, P. (1992): Az iszapfelúszás problémája az eleveniszapos szennyvíztisztításban. Hidrológiai Közlöny, 72 évf., 5 – 6.szám, 307 – 313.

Lee, Sang-Eun – Koopman, B. L. – Jenkins, D. (1982): Effect of aeration Basin Configuration on bulking at Low Organic Loading. EPA. Cincinnati OH 45268, 1 –5.

Metcalf & Eddy, Inc.(2003): Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Mc Graw Hill, 695 - 703

Németh, Zs. – Kárpáti, Á. (2005): Ultrahanggal történő iszapkezelés és hatásai a szennyvíztisztításban, Hír Csatorna, Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség Lapja, március – április, 16 – 20

Nielsen, P., H. - Kragelund, C. - Nielsen, J. L. - Tiro, S. - Lebek, M. - Rosenwinkel, K. H. - Gessesse, A.: Control of *Microthrix parvicella* in Activated Sludge Plants by Dosage of Polyaluminium Salts: Possible Mechanisms. Acta hydrochimica et hydrobiologica, Vol. 33, 3, 255 – 261. Published online: 1 July 2005.
Internet: <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-in/abstract/110553405/ABSTRACT>

Oláh, J. – Román, P. – Kozák, T. – Rása, G. (2001): Fonalas mikroorganizmusok szaporodása és az Észak-Budapesti szennyvíztisztító telep üzemi paramétereinek közötti kapcsolat vizsgálata. MaSzeSz Hírcsatorna, január/február, 33 - 41

Öllős, G. (1994): Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése. Akadémia Kiadó, Budapest, 280 – 311

S. Kunst, C. Helmer, S. Knoop Betriebsprobleme auf Kläranlage durch Blähschlamm, Schwimmschlamm, Schaum – Springer

White, M. J. D. – Tomlinson, E. J. – Chambers, B. (1980): The effect of Plant Configuration on Sludge Bulking. Prog. Wat. Tech. Vol. 12, No. 3., 183 – 188.

Dries, B, R. – Schultz, D. (2001): Maßnahme zur Bekämpfung von Blähschlamm im Klärwerk Breisgauer Bucht. Der Kemwaterspiegel Nr.1, 6 - 10

4. Összefoglalás

A hazai felmérés szerint a leggyakrabban előforduló fonalas baktérium típusok a *Microthrix parvicella*, *021N* és a *nocardia*. A felsorolt fonalas szervezetek szaporodásának megakadályozására más – és más technológiai módszert érdemes alkalmazni, bár ezekben a módszerekben vannak közös elemek

Egy jól működő stabil nitrifikációt végző kommunális szennyvíztisztító telepen a fonalas baktériumok közül csak a *Microthrix parvicella* fordul elő, ha a víz hőmérséklete 15 Celsius-fok alá hűl.

Ha a szennyvíztelep közepes terhelésű, akkor nagy valószínűséggel a nyári időszakban a *Nocardia* és a *021N* típusú baktérium is megjelenik, míg az őszi, téli és a tavaszi időszakban a *Microthrix parvicella* baktérium lesz a meghatározó.

A *Microthrix parvicella* szaporodásának visszaszorítására és a fonalszerkezetének „elpusztítására” legjobban az alumíniumklorid vagy a polialumínium-klorid adagolása vált be.

A fonalas szervezetek szaporodásának általános visszaszorításában a szelektoroknak (aerob, anoxikus, anaerob) és a megfelelően kialakított kaszkád reaktor rendszereknek döntő szerepe van.