

A fonalas baktériumok visszaszorítása az eleveniszapos tisztításban

Horváth Gábor* - Dr. Oláh József**

*ACAT Kft. - ** Fővárosi Csatornázási Művek Rt.

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 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.

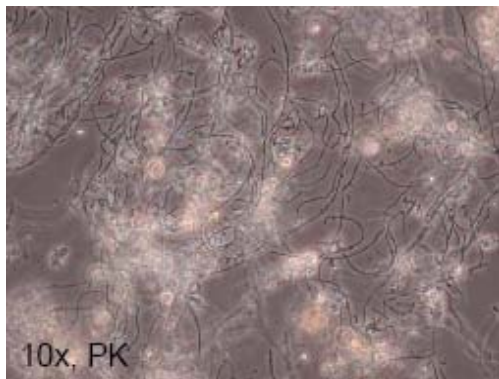
Az általános megoldások körébe olyan ajánlások kerültek, amiket új telepek tervezésénél érdemes megfontolni, és betartani.

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

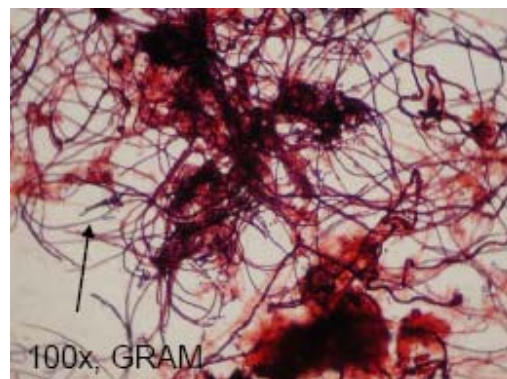
Az iszap-felfúvódást okozó baktérium csoportok azonosítását követően az adott csoportra vonatkozó ismeretek birtokában nagyobb esélyünk van a szaporodás visszaszorítására. Természetesen az azonosítás és az üzemi beavatkozás nem választható el egymástól.

2.1 A *Microthrix parvicella* fonalas baktériumok szaporodása következtében fellépő üzemperturbációk

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



A



B

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

Észak- és Nyugat-Europában a fonalásodás legfőbb okozója a *Microthrix parvicella* fonalás baktérium. Ez a baktérium jelenik meg 93%-ban a kommunális szennyvíztelepeken. Más földrészeken, Észak- és Dél-Amerikában és Afrikában más-más fonalás baktériumok a meghatározóak. Az Észak- és Nyugat-Európai éghajlati viszonyok és a szennyvíztelepek, kialakítása kedvez ennek a fonalás baktérium szaporodásának. E fonalás baktérium faj Magyarországon is gyakori, a jelenlétét mintegy 35 szennyvíztelepen észlelték. A magyar tervezési alapszemplélet a nyugat-európai és német szabványokon nyugszik. A *Microthrix parvicella* fonalás baktérium habképződést okoz a szennyvíztelepeken. Hosszú ideig nem találtak ellene megfelelő védekezési módot, 30 éves kutatás előzte meg a tényleges megoldást.

Az utó-ülepítőből 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 további gondot okoz. A keverés hatására a rothasztóban hab képződik és a gáz elvétel során a nagy mennyiségű hab, illetve folyadék kerülhet a gáz rendszerbe.

2.1.1 A *Microthrix parvicella* baktérium szaporodásának feltételei

Ha a víz hőmérséklete 15 Celsius-fok alá hűl és ha a szennyvíztelep BOI₅ terhelése 0,1 kg/kg x nap érték alatt van akkor a *Microthrix parvicella* baktérium gyakran megjelent a szennyvíztelepeken.

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

Ha a szennyvíztelep szerves anyagterhelését növeljük és ha eléri a 0,2 kg BOI/kg x 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 okozhat.

A tisztítandó szennyvízben gyakran zsírsavak jelennek meg, de a rothasztó visszaforgatott iszapvizével is jelentős mennyiségű zsírsav kerülhet be az eleveniszapos biológiára. Ilyen esetekben számolhatunk *Microthrix parvicella* elszaporodásával.

A szippantott vizek is nagy mennyiségben tartalmaznak zsírsavakat. A baktériumok szaporodását különösen elősegítik a hosszú szénláncú zsírsavak, de a rövid szénláncú, fermentációból származó zsírsavakat is lebontják.

Az anaerob vagy anoxikus terekben, például utóülepítőben nagy mennyiségű iszap halmozódhat fel és a zsírsavak képződhetnek, ez elősegítheti a *Microthrix parvicella* szaporodását.

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.

Az 1.táblázatban a *Microthrix parvicella* szaporodásának megszüntetése céljából alkalmazott egyéb módszerek foglaltuk össze. A felsorolt módszerek általánosan

ismertek. Ezek a megoldások csak „tüneti” kezelésnek számítanak, mert a fonalasadást előidéző alapvető okot nem oldják 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 (kálcium 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 elpusztítására alkalmas legeredményesebb módszert hosszú kutatás és hosszú üzemi tapasztalat után találták meg. *Eikelboom* és *Andreasen* (1995) figyelt fel arra a jelenségre, hogy az alumínium-kloriddal történő foszfor kicsapás során, a *Microthrix parvicella* fonalas baktérium gyakorisága alacsonyabb, mint azokon a szennyvíztelepeken, ahol vas-kloridot vagy vas-szulfátot adagolnak 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.

Nagyon fontos, hogy a telepek levegőztető medencéi ne homogén kevert reaktorok, hanem kaszkád vagy a cső-reaktorok legyenek. Ezzel lehet növelni a levegőztető medencék hatékonyságát, ezzel a megoldással csökkenteni lehet a fonalas baktériumok elszaporodásának veszélyét.

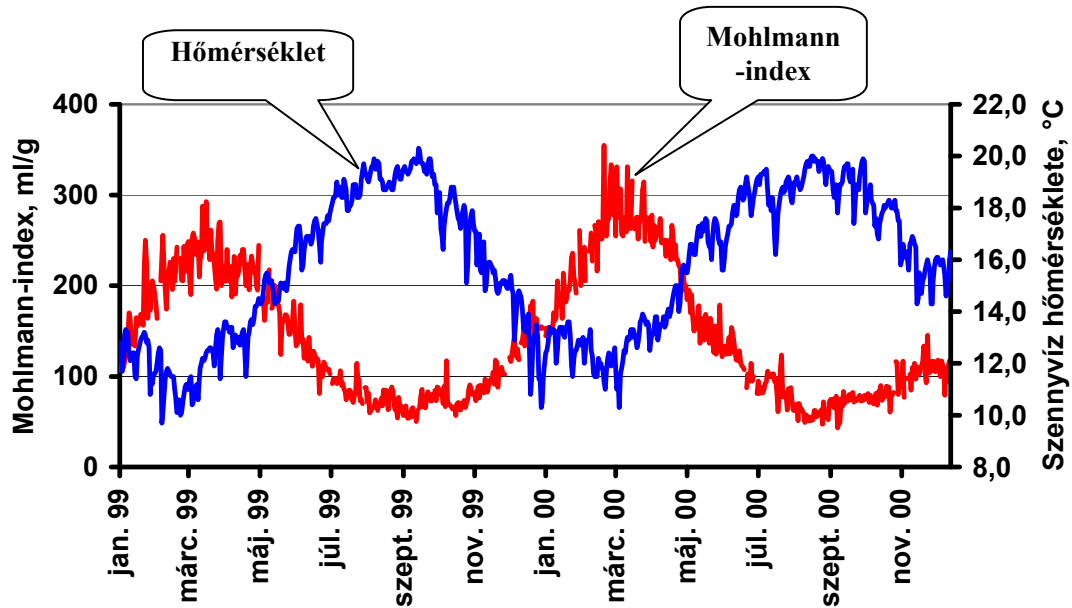
Breisgauer Bucht-i szennyvíztelep fontosabb adatait a 2.táblázat mutatja. A telep teljes tápanyag eltávolítással üzemel. A szennyvíztelepen anaerob rothasztó is üzemel, csurgalék-vizeket a telep biológiájára vezetik vissza.

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 jellemzik

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



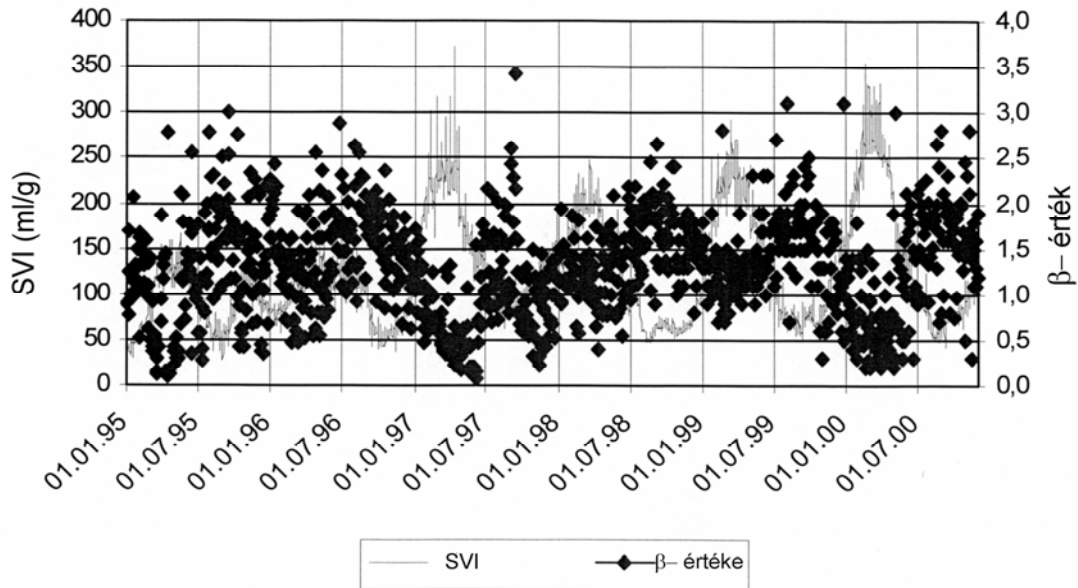
1.ábra. A hőmérséklet és a Mohlmann-index változása az idő függvényében

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 biológiai foszforeltávolítás és a Mohlmann-index kapcsolatát ábrázolja. Jól látható a magas Mohlmann-index megjelenésekor a fonális baktériumok hatására a biológia foszfor eltávolítás növekedése. Ha nagy mennyiségű vasat adagolnak, akkor csökken a biológiai foszfor eltávolítás, ugyanakkor a kémiai foszfor eltávolítás határfoka nő. Általában a téli hónapokban a nitrifikáció visszaszorulásával, az iszapstabilizálás mértéke is csökken, így a telepről nagyobb mennyiségű iszapot kell elvenni. Ezzel párhuzamosan megnő a biológiai foszfor eltávolítás mértéke. Ez gyakorlatilag minden nitrifikáló szennyvíztelepre jellemző, független, hogy megjelennek-e a fonális baktériumok vagy sem.

Természetesen, ha a szelekció a fonalásoknak kedvez, akkor a biológiai foszfor eltávolítás is megnő, mivel a *Microthrix parvicella* baktérium poli-hidroxi-butirát (PHB) és foszfor felhalmozásra képes. Ez a folyamat látható a 2. ábra második szakaszában 1997 januárjától az anaerob tér a *Microthrix parvicella* baktériumok elszaporodásának kedvez. A PHB lebontása az aerob térben végbemegy és így a baktériumoknak rendelkezésre áll a kellő mennyiségű tápanyag a szaporodásához. Ezzel egy időben a pelyhekben élő baktériumok háttérbe szorulnak. A *Microthrix parvicella* az anoxikus és

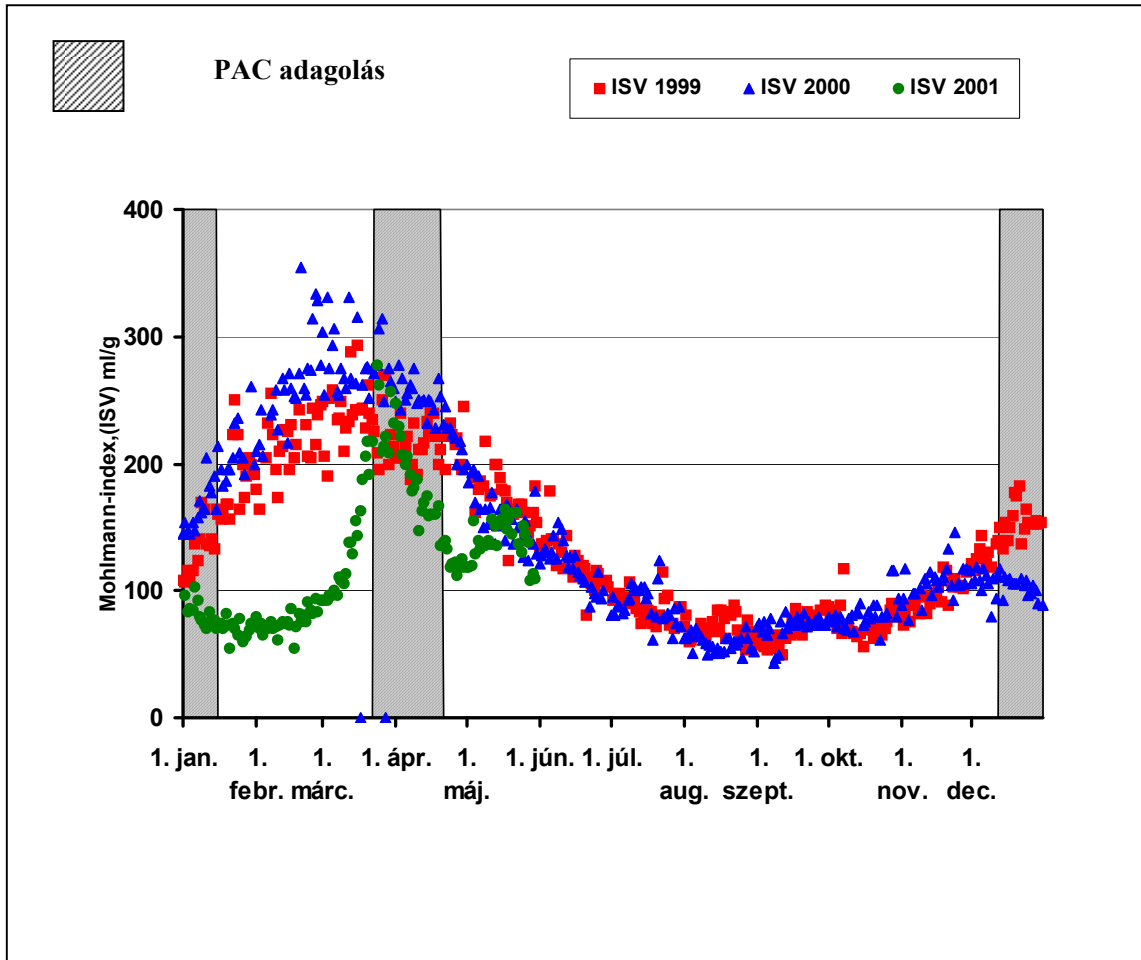
aerob terekben hosszú szálás szerkezeti felépítés következtében gyors tápanyag felvételre képes. A gyors tápanyag felvétel következtében a *Microthrix parvicella* más pehelyképző baktériumokkal szemben szelektív előnyre tesz szert, ennek következtében nagymértékű elszaporodása várható.



2. ábra. Összefüggés az iszapindex és a biológiai foszfor eltávolítás között (1995.01.01. – 2000.12.01.)

A 3. ábra a PAX-18 (polialumínium-klorid) adagolás hatására bekövetkező iszapindex változást mutatja. A szennyvíztelepen 3 éven át (1999; 2000 és 2001.év) azonos időszakokban volt PAX-18 vegyszer adagolása (függőleges sávok). Ebből látható, hogy a téli (december, január) és a kora tavaszi időszakban (március, április) *Microthrix parvicella* visszaszorítására gyakrabban kell a vegyszeradagolás alkalmazni. A baktérium elpusztulása után, a 12-15 °C hőmérséklet tartományban a nagy iszapkört igénylő nitrifikáló baktérium lassú szaporodásával kell számolni.

A hőmérséklet további csökkenése – 12 °C alatt – már a *Microthrix parvicella* baktérium szaporodását is gátolja. Az adagolást befejezését követően 55 - 60 napnak kellett eltelnie, 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.



3.ábra. A Mohlmann-index változása a PAX-18 adagolásának hatása

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.

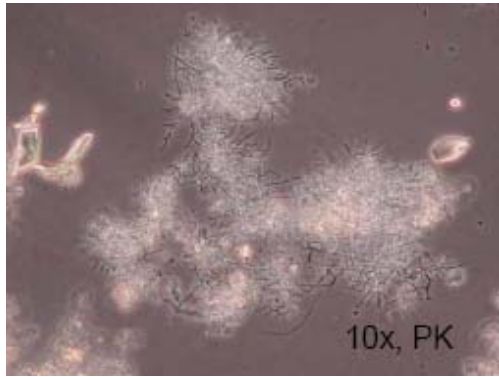
A magas alumínium tartalom hatékony foszfor kicsapást tesz lehetővé, így a fonalas baktériumok háttérbe szorításával párhuzamosan a foszfor eltávolítás is megtörténik, pótlólagosan a foszfor eltávolítás céljára már nem kell más vegyszert adagolni.

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

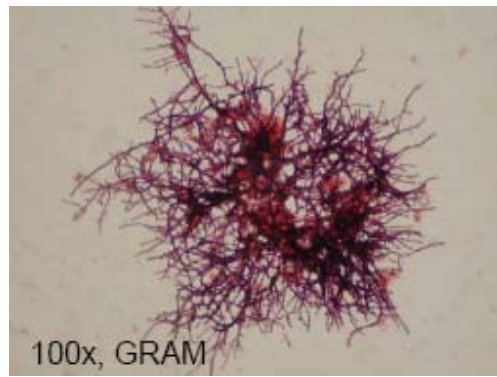
2.2 A *Nocardiaform Actinomycetes* fonalas-gomba

Szaporodásának feltételei

A *Nocardiaform Actinomyces gomba* fonalas *Nocardia* baktériumokhoz hasonló telepeket hoz létre és az eleveniszapos szennyvíztelepeken nagyfokú habzást okoz. A fonalas gombát a 2. számú fénykép-felvétel mutatja be.



A



B

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

Nocardiaform Actinomyces gomba ipari és kommunális szennyvíztelepek kiegyenlítő és kevert egyterű levegőztető medencéiben jelenik meg. Leggyakrabban egyedül jelenik meg és *Nocardia*kkal együtt a „tipikus” hab-képző organizmusként ismert.

A *Microthrix parvicella* baktérium csoporthoz hasonlóan rendelkezésre áll a hidrofób sejtfelület, ami nagy flotációs és habképződést hoz létre, amit stabilizálnak a jelenlévő és a kiválasztott felületaktív anyagok. *Nocardia* vagy *nocardia* jellegű fonalas gomba már kis mennyiségben stabil habképződéssel jár. A *Nocardia* típusú baktériumok a szennyvízben jelenlévő lipofil anyagokkal stabil habot tudnak képezni.

A hidrofób szubsztátok 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*k szaporodásának. Szaporodásukhoz nagy iszapkor, magas oxigén koncentráció és fentiekben ismertetett optimális szubsztát 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 szubsztát, apoláros szénhidrogének és felületaktív anyagok (tenzidek), vagy könnyen lebontható szubsztátok állnak rendelkezésre a *Nocardia*k 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 utőülepítőről 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. sűrités 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, mindenek 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*).

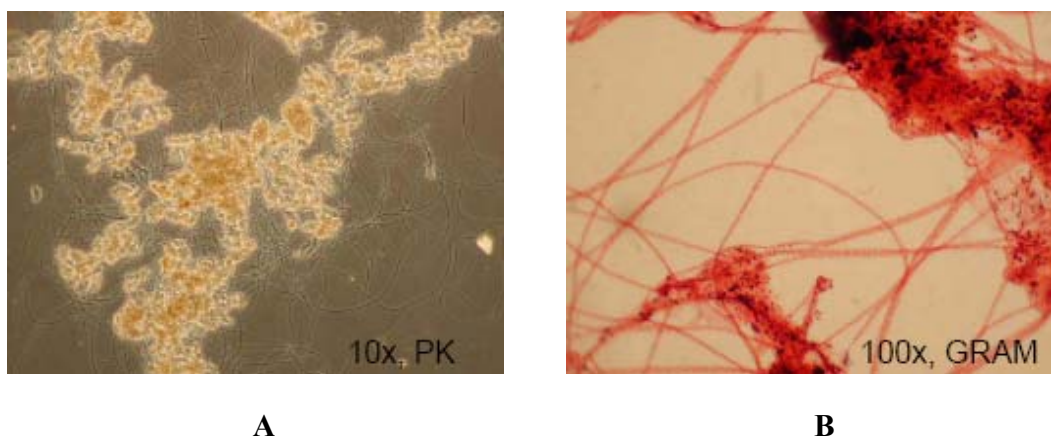
Hiányos oxigén ellátás mellett jelenik meg. Alacsony oxigén szint mellett nagy mennyiségű rövid zsírsavat és szulfidot állít elő.

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.



3. számú felvétel. 021N fonalas baktérium: „A” – festés nélküli fázis kontraszttal és 10x-res nagyítással; „B” – Gram festéssel világos látómezővel és 100 x-os 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 a polialumínium-klorid (PAX-18) oldat 100-150 g/m³ mennyiségben történő adagolása megakadályozza.

Kerülni kell a berothadást előidéző körülményeket, ahol a 021N baktériumok szelekciós 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 fenn tartott 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 elkerülni 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 az 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 a 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 elegendő 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. 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 zömmel 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 levegőztető medencére vonatkoztatva az anaerob és anoxikus medence térfogat eléri 15-20%-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 össztérfogata 35-40%-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, 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 utóülepítőben hosszabb időt (2 – 3 óra) tartózkodik, ami a *Microthrix parvicella* szaporodásának kedvez, míg 15-18 Celsius-fokos víz hőmérséklet felett a *021N* és a *Nocardia* szaporodásának kedvez a hosszú utóülepítési 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 + utóülepítő) 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 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 hatására a fonalás szervezetek szaporodása vissza szorul, ezért a biológiai foszfor eltávolítás során a fonalások elszaporodásával nem kell számolni, abban az esetben, ha az anaerob medence után egy több medencéből (kaszád) álló 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 oxikus lépcsőben a fonalás szervezetek számára tápanyag hiány lép fel és azok nem tudnak elszaporodni. Természetesen a tápanyag hiány az aerob lépcsőben a pehely-képző baktériumokat is érintheti. Ha az aerob medence több medencéből áll, és a korábban felvett tápanyag feldolgozására rendelkezésre áll megfelelő tisztítási idő, akkor ez a pehelyképző baktériumok számára szelektív előnyt jelent.

A konvencionális szennyvíztelepeknél elsősorban a hatékonyabb tápanyag-eltávolítás céljából levegőztető medence elején a szennyvíz és az eleveniszap összekeverésével a reaktor kaszkád elvet követve „szelektort” ajánlatos betervezni. A szükséges kontakt-időt 10 – 20 perc között célszerű megválasztani. A kontakt-zónában az ajánlott terhelési érték 3,0 – 4,0 kg BOI/kg nap. A kontakt-zónát elhagyó szennyvíz és eleveniszap keverék folyamatosan a hagyományos eleveniszapos egységbe jut, ahol $< 0,4 \text{ kg BOI/kg nap}$ terhelést célszerű beállítani. A kontakt-zóna, vagy „szelektor” üzemeltetése denitrifikáció céljából anoxikus módon is történhet. A szelektor hatás érvényesülése végett a kontakt-zóna kialakításánál - reaktor kaszkád elv alapján - hosszanti átfolyású medencét kell betervezni. A kontakt-zónához csatlakozó kisebb terhelésű aerob reaktort szintén hosszanti átfolyással, de kaszkádok nélkül célszerű kialakítani. Ennél a tisztítási technológiánál a fonalások szaporodása az esetek nagy részében kizártnak tekinthető.

A biológiai foszfor eltávolításnál alkalmazott anaerob szelektorban sok esetben anaerob bontási termékek (rövid láncú zsírsavak) halmozódnak fel és ezek termékek az anoxikus és aerob fokozatokon áthaladva a fonalas szervezetek számára szubsztrátként szolgálnak és azok szaporodását elősegítheti. A tapasztalatok alapján elmondhatjuk, hogy az anaerob szelektorok hatása a fonalas baktériumok szaporodásának visszaszorítása céljából nem egyértelműen bizonyított.

- *Aerob szelektor alkalmazása*

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 regeneráltuk. A regenerálás után az iszap bioszorpciós kapacitása megnő és ezzel együtt a pehely- képző heterotróf baktériumok életfeltételei, javulnak és fonalas szervezetek szaporodása, csökken. A regenerálási idő kb. 1 óra és az oxigén koncentrációt legalább 2,0 mg/L értéken kell tartani.

3.3 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 fonalások sem tudnak elszaporodni
- A biotöltetekenél a fonalások 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.

3.4 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 35%-át, hogy ily módon a téli és nyári fonalásodás megakadályozzuk. Ha a két szelektor medence össz térfogat 15% körül van akkor valószínű, hogy csak a téli fonalásodás fog fellépni. A tápanyag eltávolító rendszerekben a 15 % alatti értéket viszont technológiai okok miatt nem lehet beállítani.

A csőreaktor elv (a szennyvíz „dugó-szerű” haladása) alkalmazása.

A szennyvíz tisztítási szakkönyvek ma már egyértelműen állást foglalnak amellett, hogy a tisztító telepeknek a kialakításánál a reaktor kaszkád elvet célszerű követni (*Metcalf & Eddy, Inc., 2003*). Ennek hatására az aerob medence első szakaszában magas terhelés mellett a pehelyképző baktériumok szaporodása lesz a meghatározó, és itt hatékonyan felveszik a könnyen bontható tápanyagokat, amik a fonalas baktériumok szaporodását segítenék elő. A csőreaktor kialakításnak köszönhetően, a tisztítás további szakaszaiban a fonalas baktériumok már nem tudnak szaporodni, sőt megjelennek a magasabbrendű ún. indikátor szervezetek, amik az eleven iszap mennyiségét és ezzel párhuzamosan a fonalas baktériumokat nagymértékben csökkentik (*White et. al, 1980; Lee Sang-Eun et. al, 1982*). 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. 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 fölősiszap mennyiség és feldolgozás, stabil biológiai működés és a kémiai foszfor kicsapás a másik oldalon.

A biológiai tisztító rendszer kialakításánál ajánlatos figyelembe venni:

- Tisztás során fontos feltétel, hogy az aerob medence több részre legyen osztva, ezzel biztosítható - a megfelelően méretezett medence térfogatok mellett - a stabil nitrifikáció, a minimalizált fölős iszap mennyiség, és a minimális fűvő kapacitás beépítés. Ajánlatos a levegőztető térfogatot (a teljes eleven iszapos rendszerre vonatkoztatva) legalább négy részre osztani a következő arányok szerint: 15%-15%-15%-40%.
- Az anoxikus tér kialakításánál célszerű figyelembe venni, hogy az a teljes eleveniszapos medencének maximum 15%-a legyen.
- Stabilan működő utóülepítőt (pl. Dorr) kell kialakítani. Biztosítani kell a hatékony fölős-iszap elvételt, amit megkönnyíthet, hogy az iszapstabilizálás megtörténik az aerob medencékben.

3.5 A fonalásodás kezelésének mechanikai-akusztikai (ultrahang) módszere

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

Ennek a technikának az alkalmazásához a fölős-iszap egy részét (napi mennyiség kb. 1/10 részét), be kell sűríteni 5-6%-ra, majd ezt kell az ultrahanggal kezelni. Ennek hatására a sejtek fizikailag feltárodnak és a citoplazmából a felszabaduló enzimek oldatba mennek. A kezelés hatására a fonalas baktériumok fonálszerkezete szétroncsolódik és ennek következtében a fonalas baktériumok szaporodása, lecsökken, vagy megszűnik. Mivel a feltárás során szerves anyag szabadul fel a biológiai lépcső belső terhelése kb. 15-20%-kal nő, csak olyan szennyvíztelepeken javasolt a használata, ahol rendelkezésre áll a terhelés növekedéséből származó többlet-tisztítási kapacitás.

Összefoglalás

A hazai felmérés szerint a leggyakrabban előforduló fonalas baktérium típusok a *Microthrix parvicella*, *021N*, *Thiothrix*, *Haliscomenobacter hydrossis*, *Sphaerotilus natans*, *nocardia formák* és a *nocardia* típusokhoz hasonló fonalas gombák. A felsorolt fonalas szervezetek szaporodásának megakadályozására más –és más technológiai módszert kell alkalmazni, bár ezekben a módszerekben vannak közös elemek, amelyek valamennyi fonalas szervezet visszaszorításánál célszerű alkalmazni.

Egy jól működő stabil nitrifikációt végző kommunális szennyvíztisztító telepen a fonalas baktériumok közül zömmel 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 fonálszerkezetének „elpusztítására” legjobban az alumíniumklorid vagy a polialumínium-klorid adagolása vált be. Az eleveniszap koncentrációra vonatkozó 3 g Al³⁺/kg x nap adagolás mellett 15-25 napos adagolási idő után a *Microthrix parvicella* teljesen elpusztítható. A levegőztető vagy anaerob medencében kell adagolni az alumínium-klorid tartalmú szereket.

A fonalas szervezetek szaporodásának általános visszaszorításában a szelektoroknak (aerob, anoxikus, anaerob) és csőreaktor elvet követő kaszkád reaktor rendszer alkalmazásának döntő szerepe van.

Summary

The sludge bulking due to filamentous organism growth is one of the most widespread problems in activated sludge biological wastewater treatment system operation. The correct identification of filamentous microorganisms is essential for finding the proper methods of controlling their growth. The microscopic sludge examination is central to the solution of bulking problems.

In Hungary survey of filamentous organisms indicates that commonly occurring types are *Microthrix parvicella*, *021N*, *Thiothrix*, *Haliscomenobacter hydrossis*, *Sphaerotilus natans*, *nocardia forms and fungi*.

It is well known that filamentous bulking is more prevalent in completely mixed activated sludge systems. Plants exhibiting low dispersion numbers that is those tending towards ideal plug-flow reactors produced sludge with better settling characteristics than those high dispersion numbers and approaching complete mixing. It has been clearly demonstrated that filamentous bulking is more prevalent in completely mixed activated sludge systems. The high concentration gradient of available BOD along a plug flow system creates a considerable selection pressure in favor of beneficial floc-forming bacteria.

The concept of a selector is use of a specific bioreactor design that favors the growth of floc-forming bacteria instead of filamentous bacteria to provide an activated sludge with better settling and thickening properties. The high substrate concentration in the selector favors the growth of non-filamentous organisms.

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 Közöny, 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

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

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

