



**XXXII. Országos
Tudományos Diákköri
Konferencia
2014**



**Tejipari szennyvizek biológiai
tisztíthatóságának vizsgálata**

Készítette:

Varga Regina

Témavezető:

Dr. Kárpáti Árpád

Mérnöki Kar, Környezetmérnöki Intézet

Pannon Egyetem

Veszprém

Absztrakt

A vízszennyezés-vízfelhasználás tekintetében a tejfeldolgozás az egyik legszennyezőbb élelmiszeripari terület. Bizonyos források szerint 1 liter tej előállítása során mintegy 6-10 liter szennyvíz keletkezik. A tejipari szennyvizek magas oldott és lebegőanyag tartalommal rendelkezhetnek, nagy koncentrációban tartalmaznak zsírokat, fehérjéket és szénhidrátokat. A szénhidrátokon belül is leginkább a laktóz és tejsav található meg nagy mennyiségben. Ezekből az összetevőkből eredően a tejfeldolgozás szennyvizei magas szerves anyag tartalmúak, amely igen nagy KOI-t eredményez.

A vizsgált szennyvíz egy hazai tejfeldolgozó üzemből származó szennyvíz volt. A keletkező kevert szennyvizet az üzem területén fizikai-kémiai módszerrel előkezelik a közcatornába történő bebocsátást megelőzően, egyedi határértékeknek megfelelően. Az előkezelt szennyvíz KOI-ja ennek megfelelően 500-2500 mg/l közötti koncentrációkat mutatott. Az össz-szerves anyag tartalom a szennyvíz lebegőanyag tartalmával arányosan változott, az oldott KOI ugyanakkor viszonylag állandó volt. Ammónium-nitrogén koncentrációja 3-10 mg/l között volt, foszfortartalma a vegyszeres előkezelés hatására csaknem teljes mennyiségében eltávolításra került.

Vizsgálataimat egy eleveniszapos és egy biofilmes SBR reaktorban végeztem. Az eleveniszapos kísérleti reaktort kommunális szennyvíztisztítóból származó eleveniszappal oltottam be, illetve a tölteteken kommunális szennyvízzel alakítottam ki a biofilm réteget. A tisztítás során a különféle mikroorganizmus csoportoknak kedvezve oxikus és anoxikus körülményeket egyaránt alkalmaztam, hozzávetőlegesen 75-25 %-os arányban. Az anoxikus ciklus javítja az iszap ülepedését, illetőleg magasabb nitrogén tartalmú szennyvíz esetén (nem megfelelő előkezelésnél) a denitrifikáción keresztül elősegíti a teljes nitrogén eltávolítást. A levegőztetés során az oldott oxigén koncentrációját mindkét rendszernél 2 mg/l-ben limitáltam. Az eleveniszapos reaktort 3-5 g/l-es eleveniszap koncentrációval működtettem, ezzel szemben a töltetes reaktorban törekedtem az 1 g/l alatti iszapkoncentráció biztosításra.

Az eleveniszapos rendszernél a terhelést folyamatosan növeltem, így idővel az iszapterhelés 1500-2000 mg KOI/ g iszap körülire emelkedett. A magas tisztítási hatékonyságot mutatja, hogy a terheléstől függetlenül, az elfolyó tisztított vízben jórészt 50 mg/l alatti (homogén) KOI-t mértem.

A biofilmes rendszer terhelését is folyamatosan növelve ugyan valamelyest változó, de hatékony szerves anyag eltávolítást tapasztaltam. Az elfolyó vízben mért olykor magasabb homogén KOI (>100 mg/l) oka lehetett a töltetek felúszása, amely az iszap ülepedését némileg akadályozza. Biofilmes tisztítók esetében éppen ezért elterjedt utószűrés alkalmazása.

Kulcsszavak: szennyvíztisztítás, biofilm, eleveniszap

Tartalomjegyzék

1	Szennyvíztisztítás szükségessége	1
2	Szennyvizek jellemzői	2
2.1	Lakossági szennyvizek	2
2.2	Az ipari szennyvizek	3
2.2.1	Tejipari szennyvizek	4
3	Biológiai szennyvíztisztítási módszerek	6
3.1	Eleveniszapos szennyvíztisztítás	6
3.2	Biofilmes szennyvíztisztítás	7
4	Ipari szennyvizek előkezelésének lehetőségei	9
4.1	Flotálás	9
5	Célkitűzés	10
6	Analitikai módszerek	11
6.1	A kémiai oxigénigény meghatározása	11
6.2	Az ammónium-koncentráció meghatározása	11
6.3	A nitrát-koncentráció meghatározása	11
6.4	A nitrit-koncentráció meghatározása	11
6.5	A foszfortartalom meghatározása	11
6.6	Az oldott és lebegőanyag-tartalom meghatározása	11
7	Üzemben keletkező szennyvíz összetétele	12
7.1	Üzem szennyvíztisztítása	12
8	Előtisztított szennyvíz összetétele	14
9	Kísérleti rendszerek bemutatása	16
9.1	Eleveniszapos rendszer	16
9.2	A biofilmes rendszer	21
10	Eredmények	23
10.1	Az eleveniszapos rendszer tisztítási eredményei	23
10.2	A biofilmes rendszer eredményei	30
11	Összefoglalás	35
	Irodalom jegyzék	37
	Mellékletek	40

1 Szennyvíztisztítás szükségessége

A népesség és az életszínvonal növekedése, a még mindig növekvő ipari termelés, valamint az ivóvízkészletek csökkenése és azok védelmének egyre szigorúbb szabályozása fontossá teszik a keletkező szennyvizek tisztítását [1]. A szennyvíztisztítás célja ennek megfelelően a lakosság és az ipar által elszennyezett víz minőségének visszaállítása, a befogadóba történő kijuttatást megelőzően [2]. A tisztításnak olyan mértékűnek kell lennie, hogy az elfolyó vízben maradó anyagok ne befolyásolják károsan a befogadó természetes öntisztuló képességét. Az elérendő tisztítási hatékonyságot két szempont szerint határozzák meg. Az egyik a befogadóra vonatkozó (imissziós) határérték. A másik a hatóságok által előírt aktuális (emissziós) határértékek. Minél nagyobb a szennyvíztisztító telep kapacitása, annál szigorúbb kibocsátási határértékeket vonatkoznak rá [3].

A szennyvíz a háztartásokból csatornahálózatokon keresztül, illetve tengelyen szállítva kerülhet a tisztítótelepre [2]. Az ipari szennyvizeket abban az esetben ha nem tartalmazzak a települési tisztító biológiájára kockázatot jelentő komponenseket, a lakossági szennyvízzel együtt kezelik. Amennyiben az ipari szennyvíz mégis tartalmazna toxikus vegyületeket, a mikroorganizmusok rövid időn belül lemergeződnének, amely a tisztítórendszer összeomlásához vezethet. Fontos megjegyezni, hogy a kommunális telepeken az ipari szennyvizek jelentősen megnövelhetik a medencék terhelését még előkezelés után is. Tejjiparnál például a szennyvíz zsír- és fehérjetartalmát flotáló (felúszató) berendezésekkel távolítják el [4]. Ezzel számottevően csökken a szervesanyag-tartalom. Emellett a leválasztott zsírok és fehérjék anaerob iszaprothasztóba történő közvetlen betáplálásával növelhető a biogázhozam.

A szennyvíz tisztítására nem csak a mesterségesen megépített szennyvíztisztító telepek alkalmasak. Vannak különböző természetes tisztítási módszerek. Ide tartoznak a szennyvíztisztító tavak, továbbá a növényekkel vagy gyökérszűrő mezőkkel történő szennyvíztisztítás. A tavas szennyvíztisztításnál természetes fizikai (pl. ülepedés, párolgás), kémiai (pl. oxidáció) és biológiai (pl. sejtszintézis) folyamatok biztosítják a szennyezőanyagok eltávolítását [5-6]. A talajban történő tisztításban a növényzet mellett egyéb élő szervezetek, az állatok és a mikroorganizmusok is részt vesznek. Utóbbiak szerepe a tisztítótelepeken is meghatározó. Napjainkban a szennyvizek tisztítására a fajlagos költségek csökkentéséért és a megkívánt tisztított vízminőség elérése érdekében legtöbbször a fizikai-kémiai és biológiai módszerek kombinációit alkalmazzák.

2 Szennyvizek jellemzői

Tág értelemben minden szennyezett víz szennyvíznek tekinthető. A települési szennyvizek meghatározó részét a lakosság és az ipar által elszennyezett víz teszi ki. A maradék rész a mezőgazdaságnak és a szolgáltató ágaknak köszönhető illetve bizonyos esetekben a csatornarendszerbe történő beszivárgás (infiltráció) sem hanyagolható el. Kiemelendő, hogy az állattartás során keletkező hígtrágya nem sorolható be szennyvíznek a jelenlegi szabályozás szerint [2].

A tisztítótelepre érkező szennyvíz minősége és mennyisége változó. A kommunális szennyvíz összetett rendszer, mely nagy mennyiségben tartalmaz az emberi fogyasztás során bekerülő szerves anyagokat, élő szervezeteket, patogén és ártalmatlan mikroorganizmusokat, továbbá a növekedésükhöz szükséges tápanyagokat. Emellett megfelelő környezetet (pH, hőmérséklet) teremt a mikroorganizmusok szaporodására. [2-7]

Gyakori, ám már illegális az ereszcatornák rákötése a szennyvízhálózatra, amely nem csak feleslegesen növeli a tiszta esővíz okozta folyadékterhelést a szennyvíztisztítóban, de sokkal jobb, ha a háztetőn összegyűlt csapadék a talajba szivárog, biztosítva a talajvíz utánpótlást.

2.1 Lakossági szennyvizek

A kommunális szennyvíz a lakosság élettevékenysége során keletkezik. Nagy hányadéért a háztartások és a különböző közintézmények felelősek. Ide tartoznak az iskolák, szociális létesítmények, kórházak valamint a kereskedelmi és szolgáltató létesítmények [8]. Szerves anyag tartalma leginkább az emberi fogyasztás révén alakul ki. Az emberek által fogyasztott tápanyagok (szénhidrátok, fehérjék, zsírok) mintegy negyede jut a szennyvízbe [2]. Köszönhetően az eltérő háztartási tevékenységeknek jelen vannak benne különböző mosó- és diszpergáló szerek is, melyek hatására a szennyvízbe bekerülő darabos szerves szennyezők a csatornarendszerben haladva aprózódnak.

A legtöbb esetben a kommunális szennyvizek nem jelentenek veszélyt a tisztítóra. Ki kell azonban emelni, hogy ha a közcsatornába bocsátott szennyvíz kockázatot jelent a tisztító biológiájára, illetve ezzel együtt a tisztító hatékonyságára, a kibocsátott szennyvizet a keletkezési helyen előkezeltetni szükséges. Ilyen például a kórházak szennyvize, mely nagy koncentrációban tartalmazhat veszélyes anyagokat, fertőtlenítő szereket. [2]

Összességében a lakosság által a szennyvíztisztítóba bocsátott szennyvíz biológiailag jól bontható anyagokat tartalmaz, melyek eltávolítására hagyományos elevenes iszapos

rendszerek kellő biztonságot jelentenek. Az egyre szigorodó határértékek azonban megkövetelik a rendszerek folyamatos fejlesztését, esetleg a biológiai tisztítás kémiai szennyezőanyag-eltávolítással történő kiegészítését. [2, 7, 9-10]

2.2 Az ipari szennyvizek

Az ipari szennyvizek összetétele és mennyisége nagyfokú eltérést mutat, amely az adott területen folytatott gazdasági tevékenység függvénye. Tekintettel változatosságukra, illetve veszélyességükre, az ipari szennyvizek kezelését legtöbbször a tevékenység helyén kell megoldani. Azok az ipari szennyvizek viszont, melyek nagy mennyiségben tartalmaznak biológiailag lebontható anyagokat, és nem jelentenek semmilyen veszélyt a tisztító mikroorganizmus közösségére, célszerű kisebb előtisztítást követően, csatornarendszeren keresztül a tisztítótelepre juttatni. Ide tartozhatnak például a tej- és húsipari szennyvizek, a konzervgyárak szennyvizei, főként tehát az élelmiszeripari szennyvizek. [2]

Az ipari szennyvizek káros hatásai közül lényeges megemlíteni a habproblémákat, az olajtartalom miatti magas oldott oxigén igényt, illetve a szélsőséges pH-t [11].

Keletkezési helyüktől és az adott technológiától függően különböző mennyiségben tartalmazhatnak veszélyes komponenseket. Ide nem csak a tisztított elfolyó vízben megmaradó, a befogadóra veszélyes anyagokat értjük, hanem azon összetevőket is, melyek a biológiai medencékbe történő bejutásukkal elpusztíthatnak egyes baktérium fajokat, a tisztító elégtelen működését vonva ezzel maga után. Így csökken a tisztítás határfoka és nő az elfolyó vízben visszamaradt szennyezőanyagok mennyisége, melyek a rendszer megfelelő működése során önmagukban biológiai úton eltávolíthatóak lennének. Ezek az események a befogadók veszélyeztetésén (eutrofizáció, oxigénhiány, mérgezés) kívül hatósági eljárásokat és nagymértékű büntetéseket vonhatnak maguk után.

Különböző nehézfémek, mint például a higany, a kadmium és az ólom gyakorlatilag átalakulás nélkül hagyják el a szennyvíztisztítót. Élővizekbe kerülve felhalmozódnak az állatokban, végső soron tehát az emberi szervezetre is komoly kockázatot jelentenek. Ezen vegyületek még a szennyvíziszapon keresztül is elhagyhatják a tisztítót. Amennyiben ez így történik, az iszap további hasznosítása különböző iszapkezelések nélkül lehetetlenné válik [2]. A cianidot is fontos kiemelni a veszélyt jelentő anyagok közül, amely a halak tömeges pusztulását okozza, valamint a fenolokat, és a klórozott, nitrált vagy szulfonált szerves vegyületeket. Napjainkban már jogszabályok mondják ki az ipari szennyvizek előkezelésének

szükségességét, melynek célja tehát a veszélyes szennyező komponensek eltávolítása- vagy legalábbis mennyiségük határérték alá történő csökkentése [2, 5].

2.2.1 Tejipari szennyvizek

A vízszennyezés-vízfelhasználás tekintetében a tejfeldolgozás az egyik legszennyezőbb élelmiszeripari terület [12]. A tejiparban keletkező szennyvizek mennyisége és összetétele egyaránt függ az előállított termék fajtájától, jellegétől, a gyártási programtól, a gyártási módszer pillanatnyi üzemeltetésétől, illetve a vízfelhasználástól [13]. A tejiparban a vizet valamennyi technológiai lépésnél használják, beleértve a tisztítást, a sterilizálást, a melegítést és a hűtést. A tejipari szennyvizeket gyakran hígítják különféle mosóvizek, melyek származhatnak tartályok, csövek, és különféle berendezések (keverők, homogenizálók) átmosásából [13-15].

Egyes források alapján 1 liter tej feldolgozása során a különféle folyamatokon keresztül összességében mintegy 6-10 liter szennyvíz keletkezik [16].

A tejipari szennyvizek (dairy wastewater – DWW) magas oldott és lebegőanyag tartalommal rendelkezhetnek, nagy koncentrációban tartalmaznak zsírokat, fehérjéket és szén-hidrátokat [17-19]. A szénhidrátokon belül is leginkább a laktóz található meg nagy mennyiségben [16].

Ezekből az összetevőkből eredően a tejfeldolgozás szennyvizei magas szerves anyag tartalmúak, amely igen nagy KOI-t eredményez. Mivel a szerves komponensek meghatározó része biológiailag bontható, a BOI a KOI közel teljes mennyiségét elérheti [26].

Az állatokon keresztül kis mennyiségben a természetes hormonok is bekerülnek a nyers tejbe, azon keresztül pedig a tejipari szennyvizekbe. A tejipari szennyvizekre jellemző koncentrációjuk igaz elenyésző ahhoz képest, amennyire az állattartó telepek szennyvizeiben kimutathatók [20-22]. Nehezen eltávolítható veszélyes kemikáliákat ezek a szennyvizek rendszerint nem tartalmaznak [23].

A tejipari kevert szennyvizek KOI-ja flotálás előtt 2500-3000 mg/l azt követően átlagosan 1350 mg/l [24-25]. Ez összeegyeztethető Kaewsuk és társai (2007) által publikált értékekkel, melyeket az *1. táblázat* tartalmaz. Ettől valamelyest eltérnek Farizoglu és Uzuner (2011) eredményei, akik jóval szélesebb koncentrációtartományokról számolnak be (*2. táblázat*).

1. táblázat. A tejipari szennyvizek összetétele I. [26]

Paraméter		Minimum	Maximum	Átlagos
pH	-	5,1	6,9	6
BOI	mg/l	2000	2900	2634
Σ KOI	mg/l	1700	4000	2584
sz. KOI	mg/l	700	880	674
TP	mg/l	2,4	3,6	3,1
TKN	mg/l	21	49	36
Szulfát	mg/l	3	8,2	4,8
SS	mg/l	430	750	614
TDS	mg/l	1300	3000	1870
TS	mg/l	1200	3700	2391
olajok, zsírok	mg/l	103	460	224

Az említett szennyvizek összetételéről az irodalomban kevés információt találni [15]. Viszonylag kevés átfogó tanulmány született, amely alapos információkat szolgáltat a tejipari szennyvizek minőségéről, és részletesen bemutatja azok összetételét különféle gyártási technológiák mellett [27].

A szerves anyagok és jellemző tápanyagok meghatározó része magából a tejből, illetve a tejtermékekből erednek. A nitrogén főleg a tejfehérjékből származik és változatos formákban (szerves nitrogén – fehérjék, karbamid, nukleinsavak, és ionos formák – ammónium, nitrit, nitrát) lehet jelen. A foszfor szintén megtalálható szerves formában, bár inkább szervetlen vegyületei (foszfátok, polifoszfátok) a jellemzőek.

Lebegőanyag tartalma a sajt- és túró gyártás során jut a szennyvízbe, de végső koncentrációjának kialakításában az ízesítő anyagok is szerepet játszanak. Régen a tejipari szennyvizek lebegőanyag tartalma alapján tudták megbecsülni azok kezelhetőségét.

2. táblázat. A tejipari szennyvizek összetétele II. [27]

Paraméter		Minimum	Maximum	Átlagos
pH	-	5,52	5,78	5,63
BOI	mg/l	483	6080	1860
Σ KOI	mg/l	921	9004	3445
sz. KOI	mg/l	635	8064	2445
TP	mg/l	9	111,5	35,7
TKN	mg/l	8	230	109
Ammónium	mg/l	2,5	90	23,4
VSS	mg/l	168	506	329
SS	mg/l	134	804	398
olajok, zsírok	mg/l	142	400	288

3 Biológiai szennyvíztisztítási módszerek

A biológiai szennyvíztisztítási módszerek során a szerves szén, a nitrogén és a foszfor eltávolítását, a nem ülepedő kolloid részecskék koagulációját és a szerves anyagok stabilizációját mikroorganizmusok végzik. Ezek a szervezetek a lebegő és oldott anyagokat átalakítják, sejtépítésre használják, miközben víz és különféle gázok szabadulnak fel [8]. A mikroorganizmusok életműködéséhez szükség van energiaforrásra, a sejtszintézis feltétele továbbá a szén, a nitrogén és a foszfor, illetve különféle mikrotápanyagok jelenléte. Növekedésüket számos tényező befolyásolja. Ezek közül is a legfontosabbak a tápanyag-koncentráció, a kémhatás és a hőmérséklet.

3.1 Eleveniszapos szennyvíztisztítás

A kommunális és az ipari szennyvizek tisztítására leggyakrabban alkalmazott módszer az eleveniszapos tisztítás [2]. Az eleveniszap a mikroorganizmusok szuszpenziója, amely lényegében a szennyezőanyagok lebontására képes baktériumokból és gombákból áll. A módszer lényege, hogy a biológiailag bontható anyagokat kapcsolatba hozzák a mikroorganizmusokkal, amelyek a szerves anyagok jelentős részét lebontják. Ez történhet oxigén közvetlen, vagy közvetett jelenlétében (nitrifikáció-ammónia eltávolítás, denitrifikáció-nitrát-eltávolítás) vagy anélkül (foszforeltávolítás). Közben a szennyvíziszap mellett jelentős mennyiségű szén-dioxid és gázformájú nitrogén is keletkezik. Magának a szennyvíziszapnak is van nitrogén, illetve foszformegkötő képessége, mivel ezek az anyagok elengedhetetlenek a mikroorganizmusok növekedéséhez. Ezek sejtanyagra vonatkoztatott mennyisége 4-9 %, illetve 1,5-6 % [2]. A biológiailag megtisztított vizet ezt követően ülepítik, az iszap egy részét pedig visszaforgatják a medencébe (iszaprecirkuláció). A szennyvíziszap főleg szenet, hidrogént, oxigént, nitrogént és foszfort tartalmaz. Emellett található benne biológiailag nem bontható (inert), az iszapon adszorbeálódott anyagok. Az ilyen inert anyagok közé tartoznak a különböző fémek. A különböző nem kívánatos komponensek (például szulfid) eltávolítása egyszerűen megoldható különböző fémionok szakszerű adagolásával. Ez azon alapul, hogy az ilyen komponensek kötött állapotban nem veszélyesek, oldott állapotban viszont gátló hatásúak. Tipikus példa az oldott szulfidok vassal történő „kicsapatása”. Ekkor azonban az iszap mennyisége és szerves anyagtartalma megnő, amely a szennyvíziszap további kezelése, esetleges felhasználása szempontjából hátrányos lehet.

A biológiai lebontást két mikroorganizmus csoport végzi. Az autotrófok, melyek feladata a nitrifikáció, és a heterotrófok, melyek a szerves anyag eltávolításáért és a denitrifikációért felelősek. A foszforfelvétel a foszforakkumuláló heterotróf (PAH) mikroorganizmusok munkája révén megy végbe. Ezen folyamatok együttes megvalósítása három, egymástól eltérő körülmények között oldható meg. A nitrifikációhoz oxigénellátottságot, a denitrifikációhoz oldott oxigén hiányt, a foszforeltávolításhoz pedig váltakozó aerob és anaerob körülmények szükségesek. Ez kétféle úton teljesíthető: az egyes részfolyamatokat vagy térben, vagy időben különítjük el egymástól. Ha időben különítjük el az egyes folyamatokat, azok egy medencében, de változó körülmények között játszódnak le. Az időben ciklizált (SBR) rendszereket szakaszos betáplálással vagy levegőztetéssel lehet biztosítani. Térbeli elkülönítésről akkor beszélünk, ha a műveleteket egymás után, egymással sorba kapcsolt medencékben végezzük. A térben elkülönült rendszereket folyamatos betáplálás, cirkuláció és folyamatos levegőztetés jellemzi [4,29-30]

Az eleveniszapos szennyvíztisztítási eljárást kezdetben szakaszos betáplálással és külön ülepítő nélkül alkalmazták. Napjainkban azonban ezek a magasabb szintű tisztítás szükségessége és a fejlesztések révén folyamatos betáplálással működnek. A megfelelő oxigénkoncentráció felületi kevertetéssel vagy diffúzorok segítségével valósítható meg. Ennek két lényeges szerepe van; biztosítja a mikroorganizmusok megfelelő életkörülményeit, valamint folyamatosan keveri a biomasszát annak érdekében, hogy a baktériumok a tápanyagokkal folyamatos érintkezésben legyenek.

Az eleveniszapos szennyvíztisztításnak számos változata létezik. A környezetvédelem erősödése a legtöbb területhez hasonlóan a szennyvíztisztítás fejlődését is megkövetelte. Emiatt folyamatosak a fejlesztések új módszerek kidolgozására [1,5,31-32].

3.2 Biofilmes szennyvíztisztítás

A biofilmes rendszerek jelenleg kevésbé alkalmazottak, részben a biofilmhordozók magas ára miatt. A biofilm nagyobb rugalmasságot biztosít bizonyos tekintetben, mivel az eleveniszapos rendszereknél a fajlagos terhelésüktől függetlenül, a megfelelő működés alapfeltétele a keletkező iszap ülepíthetősége, jó hatásfokú iszapvisszatartás elérése. A folyamatos átfolyású reaktorokban a biomassza visszatartásának egyik lehetősége a mikroorganizmusok immobilizálása egy adott rendszerben. Ez a lassan szaporodó mikroorganizmusok terén különösen fontos. Ez a baktériumok megfelelő gél anyagba történő immobilizálásával, vagy megfelelő biofilm-hordozó felület biztosításával érhető el. Utóbbinál a mikroorganizmusok

valamilyen inert hordozó felületéhez tapadnak azon változó vastagságú biológiai hárttyát hozva létre.

A biofilm közösségben élő mikroorganizmusok többszörösen nagyobb méretű kolóniákat alkotnak az eleveniszapos rendszerek iszap pelyhecskéihez képest. A lapszerűen kiépülő biofilmekben az anyagtranszport meghatározója a diffúzió. Az egy irányúvá korlátozott tápanyag diffúzió ugyanilyen irányú tápanyag limitációt eredményez, ami a biofilm mélysége szerint rendeződő mikrobiális szelekciót eredményez.

Vastagabb biofilm réteg képződése esetén a rögzítő felülethez közeli mikroorganizmus rétegek már csak korlátozottan juthatnak szerves tápanyagokhoz és oxigénhez. Az ilyen terekben a filmvastagság függvényében a heterotróf oxidálók elhalása, illetőleg az anoxikus és anaerob folyamatok fognak dominálni. Ezek gyengítik a biofilm és a hordozója közötti kötőerőket, így lehetővé teszik a film könnyebb leszakadását a folyadékáramlás hatására. Stacioner hordozó felületek alkalmazásakor a biofilm vastagsága a hidraulikus nyíróerővel szabályozható. A mozgó biofilm hordozók esetén a biofilm növekedése és leszakadása dinamikus egyensúlyt hoz létre a biofilm vastagsága, térfogategységben kialakuló tömege tekintetében. Az ilyen rendszerekben a biofilmtömeg felületarányos, mivel a filmvastagság kisebb tartományban változtatható, mint az egységnyi térfogatban kialakítható hordozó felület.

A biofilmes rendszerek jól alkalmazhatóak túlterheltté vált eleveniszapos rendszerek kibővítésére. Kedvező ilyenkor a lassan szaporodó mikroorganizmusok biofilmen történő elszaporítása. Hasonlóan kedvező a biofilmmel történő tisztítás a híg szennyvizek esetében, melyeknél túlzott iszaprecirkulációs árammal sem biztosítható megfelelő eleveniszap koncentráció a reaktorban.

A biofilmes rendszerek teljesítményét meghatározóan a fajlagos hordozófelület és a tápanyag-diffúzió sebessége limitálja. A biofilm hordozók fajlagos felületének növelésével az egységnyi térfogatban visszatartható biofilm tömeg jelentős tisztítási kapacitást biztosít a szerves anyag és nitrogénformák egyidejű és hatásfokú eltávolításához. Az ammónium oxidáció és a nitrogén-oxid redukció sebessége is a biofilm hordozó felületével arányos.

A biofilmben kialakuló nagy iszapkor lényegesen változatosabb mikrobiális együttélést tesz lehetővé, mint az eleveniszaposé. Ez a szerves anyag teljesebb lebontását és lényegesen kisebb iszaptermelést eredményez [2].

4 Ipari szennyvizek előkezelésének lehetőségei

Az előkezelés célja a szennyvízben található, a tisztító biológiájára veszélyes anyagok olyan mértékű eltávolítása, hogy azok a rendszerben káros hatást ne okozzanak. Ezek legtöbbször valamilyen fizikai-kémiai módszerek, például a koaguláció és flokkuláció, illetve a flotálás.

A koaguláció a kolloid részecskék destabilizálását (összetapadását) jelenti a vízkezelés, szennyvízkezelés során. A folyamat a részecskék közötti taszítóerő csökkenésének, vagy megszűnésének hatására következik be, melynek eredményeként a részecskék könnyen összetapadhatnak [33]. A sztrippelés lényege pedig, hogy a folyadékfázisban található különféle illékony anyagokat abból levegő átfúvatásával eltávolítják.

4.1 Flotálás

A szennyvizek tisztításánál a fizikai-kémiai eljárások alkalmazásának elsődleges célja a lebegőanyagok eltávolítása, illetve a szerves anyag tartalom csökkentése. Ennek egyik lehetősége a flotálás, amelyet elsősorban ipari szennyvizek előkezelésére alkalmaznak. Az ilyen berendezések általában vízben oldott levegővel segítik elő a különböző fázisok szétválasztását. Lényege, hogy a levegőbuborékok segítségével kapcsolhatjuk össze a kisebb méretű szilárd részecskéket, melyek a felszínre kerülve könnyen elválasztók a folyadékfázistól. A flotálásnak többféle változata van, melyek között a lényeges különbség mindössze a leválasztáshoz szükséges levegő előállításában van, amely történhet többek között levegő, vagy valamilyen egyéb gáz befúvásával, elektrolízissel, illetve a szennyvízben már egyébként is megtalálható oldott gázok felszabadításával [34-35].

A flotálás elősegítéséhez különböző segédanyagokat használhatunk. Ilyenkor azonban az előkezelő térben már koaguláció és flokkuláció is végbemegy. Lényegében tehát a vegyszerek segítségével végzett flotálásnál az említett két folyamat előnyeit hasznosítjuk. A koagulációs lépésben kialakult különálló pelyhek összekapcsolódása, aggregálása történik a flokkulációs folyamatban. A kivált anyagrészek növekedni kezdenek, melynek eredménye, hogy sokkal könnyebben leválaszthatók lesznek. A folyamat a részecskék közötti taszítóerő csökkenésének, vagy megszűnésének hatására következik be, melynek eredményeként a részecskék könnyen összetapadhatnak. A koagulálás, flokkulálás folyamatai legtöbb esetben jelentősen hőmérséklet- és pH-függőek, tehát a környezeti körülményeket minden esetben szabályozni szükséges [36-38].

5 Célkitűzés

Szakmai munkám során egy hazai tejfeldolgozó üzemben keletkező, fizikai-kémiai előkezeléssel előtisztított szennyvíznek a biológiai tisztíthatóságát vizsgáltam.

Az előtisztítás a jelenleg érvényes közcsatorna határértékek figyelembevételével történik. A közcsatornára történő rácsatlakozás előtti mennyiségmérés, illetve a fajlagos kibocsátási költségek alapján az előtisztított szennyvíz csatornahálózatba történő bebocsátási költségei pontosan meghatározhatók. Ez, illetve az előtisztító rendszer üzemelési költségei (vegyszerfelhasználás, iszapelszállítás, elektromos áram, munkaerő) adják az üzem szennyvíztisztításának teljes költségét, amennyiben a megelőző beruházási, illetve az abból eredő amortizációs költségeket nem vesszük figyelembe. Az előkezelő technológia esetleges üzemzavaraiból (nem megfelelő vegyszeradagolás (szennyvízminőség ingadozás miatt), vagy levegőbevitel) eredő határérték túllépések esetén a szennyvízkezelésben természetesen többletköltségek jelentkezhetnek.

A tejipari szennyvizek szerves anyag tartalmának meghatározó része a mikroorganizmusok számára könnyen bontható, amelyből adódóan biológiai tisztítás esetén magas hatékonyság feltételezhető. Munkám célja annak vizsgálata volt, hogy a hagyományos eleveniszapos, illetve biofilmes rendszerekben milyen hatékonysággal biztosítható az előkezelt szennyvíz további tisztítása. A hatékony biológiai szennyezőanyag lebontás eredményeit látva, szükségesnek tartottam meghatározni azt is, hogy milyen iszapterhelésig lehetséges az élővízi befogadókra vonatkozó határértékek betartása. Emiatt a rendszerek terhelését mindaddig növeltem, míg a főbb szennyvízminőségi paraméterek tekintetében megfelelő elfolyó vízminőséget mértem.

Természetesen az előtisztított szennyvízzel végzett kísérletek mellett azt is lényeges lenne megvizsgálni, hogy a nyers szennyvíz megtisztítása is biztosítható-e a biológiai rendszerekkel. Jelentős költségmegtakarítást ugyanis csak akkor lehetne elérni, ha csökkenthető (esetleg elhagyható) lenne a vegyszerfelhasználás, illetve amelyen keresztül a kisebb keletkező vegyszeres iszap mennyiség révén az elszállítási költségek is visszaszoríthatók. A vizsgált előtisztított szennyvíz minőségének bemutatásánál látni fogjuk, hogy bizonyos esetekben az előkezelt szennyvíz összetétele nem felelt meg a tervezett értékeknek, szerves anyag koncentrációja jóval magasabb volt. Ebből kiindulva tehát töményebb szennyvíz vizsgálatával kapcsolatban is lettek tapasztalataim, amelyek a jövőbeni kutatáshoz jó alapot jelenthetnek.

6 Analitikai módszerek

6.1 A kémiai oxigénigény meghatározása

A kémiai oxigénigény meghatározása Lovibond által forgalmazott fotométer segítségével, kálium-dikromátos, küvettás módszerekkel történt, abszorbancia alapján. Egy-egy minta esetében több, rendszerint 2-3 párhuzamos mérést végeztem. Az eredmények értékelésénél a táblázatokban feltüntetett értékek ezek átlagát tartalmazzák. A Lovibond által forgalmazott gyári küvetták mellett a laboratóriumban általunk előállított reagensekkel is végeztünk méréseket a MSZ 260/16-82 szabvány szerint.

6.2 Az ammónium-koncentráció meghatározása

Az ammónium koncentrációjának meghatározását a MSZ ISO 7150-1:1992 szabvány szerint végeztem, melynek szerkezete és műszaki tartalma teljes mértékben megegyezik az ISO 7150-1:1984 szabványéval. A szabvány egy manuális fotometriás módszert ad meg a vízben lévő ammónium meghatározására.

6.3 A nitrát-koncentráció meghatározása

A nitrát-ion mennyiségének meghatározása a MSZ/11-71 szabvány szerint történt. Alapja a nitrátok reakciója nátrium-szaliciláttal lúgos közegben.

6.4 A nitrit-koncentráció meghatározása

A nitrit vizsgálatát a MSZ 260/10-85 szabvány alapján végeztem. Elve, hogy savas közegben a nitrition diazotálja a szulfanil-amidot.

6.5 A foszfortartalom meghatározása

A foszfor mennyiségét a tisztítandó és az elfolyó vízben a MSZ EN 1189 nemzeti szabvány alapján végeztem, amely teljesen megegyezik az EN 1189:1996 európai szabvánnyal. Leírja mind az ortofoszfát, mind pedig a teljes foszformennyiség meghatározásának menetét.

6.6 Az oldott és lebegőanyag-tartalom meghatározása

Az összes szárazanyag-tartalom és az izzítási maradék meghatározása (valamint az iszapkoncentráció meghatározása) az MSZ 260/3-73 szerint történt.

7 Üzemben keletkező szennyvíz összetétele

A vizsgált tejfeldolgozó üzemben éves szinten mintegy 350-400 millió liter tej feldolgozása történik. Ez a hazai tejtermelés nagyjából negyedét jelenti. Ebből valamivel több, mint 100 millió liter külföldi áruházak polcain kerül értékesítésre.

Az üzem területén naponta mintegy 1000-1500 m³ szennyvíz keletkezik. Az üzem vízfogyasztása, illetőleg a termelésből keletkező szennyvíz mennyisége ciklikusan változik. A termeléstől függően a keletkező szennyvíz mennyisége csúcsidőszakban meghaladhatja a 120 m³/h mennyiséget is.

A laboratóriumi vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy minősége a termelési folyamatoktól és egyéb körülményektől (pl. csapadék, mosatások gyakorisága) függően nagymértékben változhat. Éppen ezért van szerepe a kiegyenlítő medencének, amely hozzájárul a flotáló technológia terhelésének kiegyenlítéséhez, a vegyszeradagolás beállításán keresztül pedig a megfelelő elfolyó előtisztított szennyvíz megfelelő minőségének biztosításához.

A nyers szennyvíz kémiai oxigénigénye 3.000 – 6.000 mg/l között változott. Ennek mintegy 40 %-a volt a biokémiai oxigénigény (800 – 2.000 mg/l). Lebegőanyag tartalma 500 – 1.000 mg/l között ingadozott, míg pH-ja rendszerint 6,5-10 között volt.

A jelenleg érvényes közcsatornába történő bevezetésre vonatkozó szabályozás alapján 50-80 %-os szerves anyag eltávolításra van szükség (28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 4. sz. melléklet).

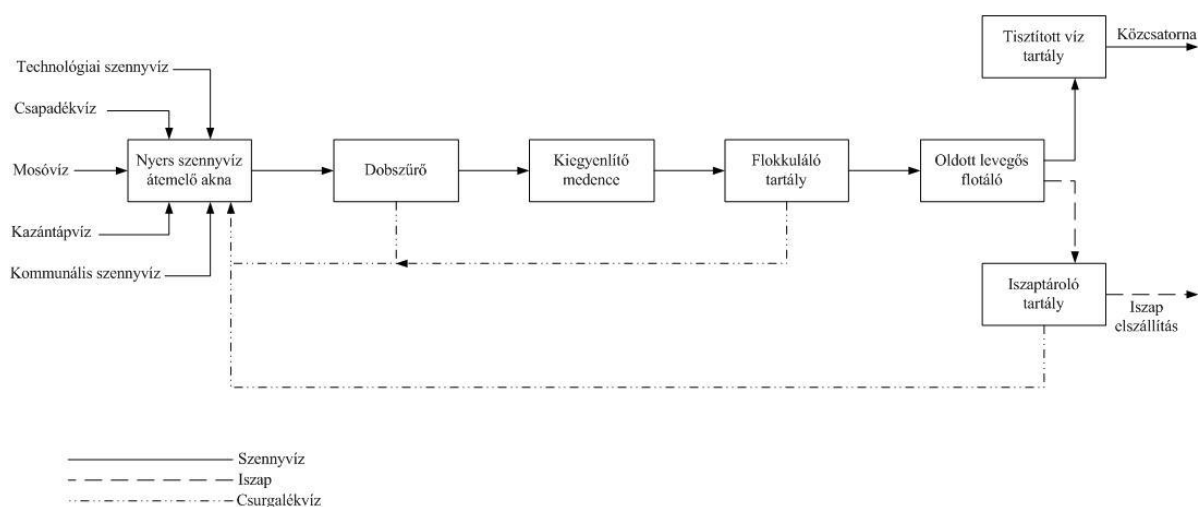
7.1 Üzem szennyvíztisztítása

A nyers tej fogadása és feldolgozása során keletkező technológiai szennyvizek gravitációs úton a nyers szennyvíz feladóaknába érkeznek. Szintén ide kerül az üzem területén keletkező kommunális szennyvíz, a padlóösszefolyókon keresztül érkező szennyvizek, a burkolt területen összegyülekező csapadékvizek és a különféle mosóvizek is. A szennyvíz előtisztítási technológia egyes lépéseinek csurgalékvizei is a feladóaknába vannak bevezetve. Az aknában egy rácskosár van elhelyezve, amely a befolyás előtt a nagyobb darabos szennyezőanyagok eltávolítására hivatott, a technológia további berendezéseinek védelme érdekében. A nyers szennyvíz aknából a szennyvíz nyomott vezetéken keresztül a dobszűrőre, majd onnan a kiegyenlítő medencébe jut. A dobszűrő a 2 mm feletti lebegőanyagok eltávolítását szolgálja. A kiegyenlítő medence levegőztetett és folyamatosan kevert, a szennyvíz frissen tartása

érdekében. A kiegyenlítő medencéből kerül a szennyvíz a flotációs technológiára. A szennyvíz feladása automatikusan, a flotáló technológia kapacitásának megfelelően folyamatosan történik.

A flotálóba történő bevezetést megelőzően történik meg a fizikai kémiai előkezeléshez szükséges vegyszerek (fém-só és polimer, lúg) bekeverése az erre szolgáló tartályban. A flokkulátor tartály elősegíti a koagulált szennyvíz pelyhesedését. A szennyvíz innen gravitációsan jut a flotáló térbe, ahol megtörténik a fázisszétválasztás. A felúszó iszapot egy beépített kotrószerkezet surrantón keresztül a flotáló berendezés részét képező habiszap gyűjtő vályúba továbbítja, majd innen az iszap nyomott vezetéken keresztül jut az iszaptároló tartályba. Az előtisztított szennyvíz egy, a tárolására és mennyiségének mérésére szolgáló tartályba folyik. Innen kerül kivételre a technológiai mosatásokhoz szükséges mosóvíz.

Az előtisztított szennyvíz a tárolótartályból az elvezető csatornába folyik, amely a közcsontra rendszerhez csatlakozik.



1. ábra. Az üzem szennyvíztisztításának folyamata

8 Előtisztított szennyvíz összetétele

Az 7. fejezetben már említésre került, hogy az üzem területén keletkező szennyvizet homogenizálást követően oldott levegős flotálással előkezelik. A kezelés hatékonyságának függvényében így a szennyvíz szerves anyag tartalma kisebb-nagyobb arányban lecsökken, nitrogéntartalma töredékére esik vissza és a vegyszeres kezelés hatására foszfortartalma csaknem teljes mértékben eltávolításra kerül. Az előkezelt szennyvíz minőségét a fontosabb szennyvízminőségi paraméterek tekintetében a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat. Az előkezelt szennyvíz összetétele

Dátum	Jellemzők				
	<i>pH</i>	<i>Homogén KOI</i>	<i>Szűrt KOI</i>	<i>Ammónium-N</i>	<i>Összes foszfor</i>
	-	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>
2013.11.09	6,8	610	540	8,9	0,5
2013.11.13	6,6	630	510	9,1	0,4
2013.11.18	7	580	500	6,2	0,4
2013.11.23	7,2	630	570	4	0,5
2013.11.25	6,9	700	590	4,2	0,5
2013.11.28	7,6	1080	850	2,9	0,7
2013.12.02	7	1140	1030	3,3	0,9
2013.12.04	7	1140	1030	3,1	0,9
2013.12.10	6,8	1350	1010	3,4	1
2013.12.14	7	820	710	4,4	0,8
2013.12.19	7,1	940	750	4,5	0,8
2013.12.23	7,9	1470	1140	7,7	1,2
2013.12.29	7,8	1630	1200	6	1,3
2014.01.03	7,8	1810	1260	6,7	1,3
2014.01.06	7,4	590	405	7,9	0,5
2014.01.10	6,7	1600	550	9	0,7
2014.01.14	6,4	1820	590	9	0,7
2014.01.17	6,1	985	660	5,7	5,7
2014.01.20	6,8	2340	540	7,1	0,1
2014.01.23	6,8	2470	670	6,1	0,3
2014.01.27	6,1	2610	865	2,3	0,4
2014.01.30	6,8	2430	460	7	0,2
2014.02.03	7,2	1050	380	2,3	0,1
2014.02.06	6,7	1220	540	3	0,2
2014.02.09	7	1410	400	4,6	0,1
2014.02.12	7,1	1430	390	4,4	0,1
2014.02.18	7,8	1200	515	2,1	0,4
2014.02.25	7,3	1820	670	4,1	0,9
2014.02.27	7,2	1790	620	2,1	1
2014.03.04	7,1	1350	540	2,2	0,8
2014.03.10	7,2	1200	580	2,6	0,8
2014.03.16	7	2050	750	3	1,2
Átlag	7,0	1326	698	5,5	0,8
Minimum	7,9	2610	1260	9,1	5,7
Maximum	6,1	580	380	2,3	0,1

A 3. táblázat adatai alapján látható, hogy az előtisztított szennyvíz minősége széles tartományban változott. A pH semleges körüli értéket mutatott, csak az enyhén savas és az enyhén lúgos tartományban ingadozott. Ez a mikrobiológiai rendszerek számára mindenképp előnyösnek volt tekinthető. A megfelelő pH-érték az üzemi előtisztító pontos pH-szabályzásának volt köszönhető.

A vizsgált szennyvíz szerves anyag tartalmában ugyanakkor jelentős eltéréseket tapasztaltam, a legmagasabb mért KOI pontosan 4,5-szer volt magasabb, mint a legalacsonyabb. Ez jelentősen befolyásolhatja a biológiai tisztítók működését, főleg, ha az adott biomassza érzékeny a hirtelen terhelésváltozásra. Ilyen esetekben célszerű kiegyenlítő medence beiktatása a biológiai tisztítási lépés elé. Állandó értéken tartott eleveniszap koncentráció esetén közel 5-ször nagyobb szerves anyag terhelést csak igen ellenálló, vagy alulterhelt rendszerek tudnak elviselni.

Másrészről látható, hogy az elfolyó előtisztított szennyvíz szerves anyag tartalma a legtöbb esetben nem felel meg a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet 4. mellékletében meghatározott küszöbértékeknek. A dolgozat tárgya nem terjed ki ennek véleményezésére, azonban azt érdemes megemlíteni, mivel a szűrt KOI értékek jóval alacsonyabbak, feltételezhető, hogy a szerves anyagok kicsapása hatékonyan működik, a leválasztásuk ugyanakkor nem megfelelő.

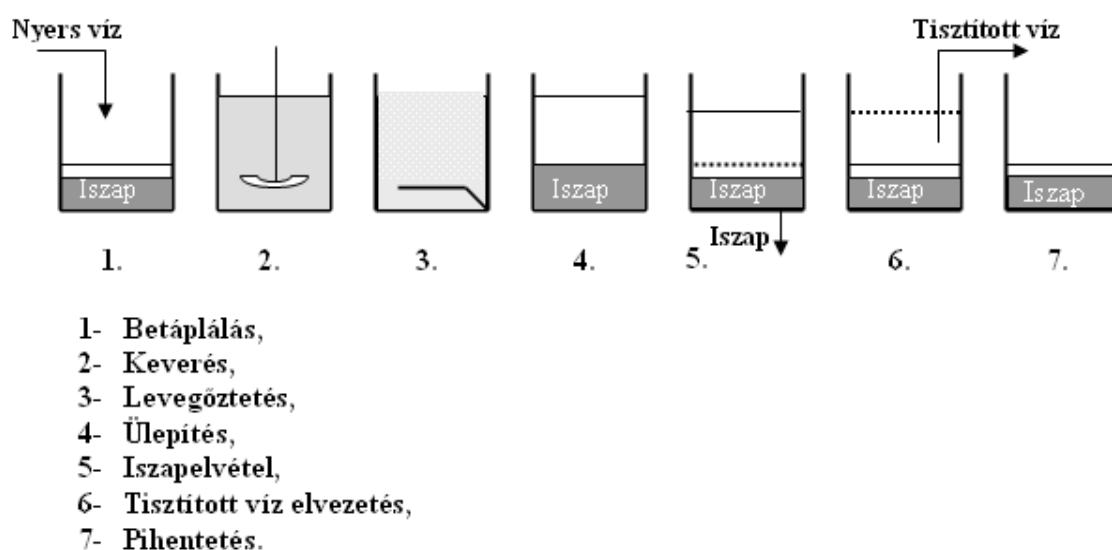
A magas szerves anyag tartalom ugyanakkor segítette munkámat abból a szempontból, hogy a szerves anyag terhelés növeléséhez nem kellett olyan nagymértékben növelni a folyadékterhelést, mintha hígabb szennyvízzel dolgoztam volna.

A szennyvíz nitrogéntartalma igen alacsony volt (<10 mg/l), illetve a feladott mintákban minden esetben 1 mg/l alatti foszfortartalmat mértem. Ilyen tápanyaghiányos szennyvizek esetén minden esetben szükséges N és P tartalmú segédanyagok adagolása megfelelő arányban. Tápanyag adagolást ugyanakkor a vizsgálataim során nem alkalmaztam. Ennek eredményei a következő fejezetben részletesen is bemutatásra kerülnek.

9 Kísérleti rendszerek bemutatása

Vizsgálataimat két szakaszos betáplálású SBR reaktorban végeztem, melyek felépítését és működését ebben a fejezetben szeretném bemutatni.

Az SBR (Sequencing Batch Reactor) reaktorok elkülönített ülepítő nélküli, ciklikus üzemű rendszerek. Az egyik legrégebb óta alkalmazott eleveniszapos tisztítók. Legfontosabb előnyük, hogy egyszerűek, megfelelően hatékonyak és különösebb figyelmet nem igényelnek. Működésük könnyen szabályozható egyetlen időkapcsolóval, mely megfelelő időközönként önmagától váltogatja az egyes ciklusokat. Működésüket a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. Az SBR rendszerek általános működésének vázlata [28]

9.1 Eleveniszapos rendszer

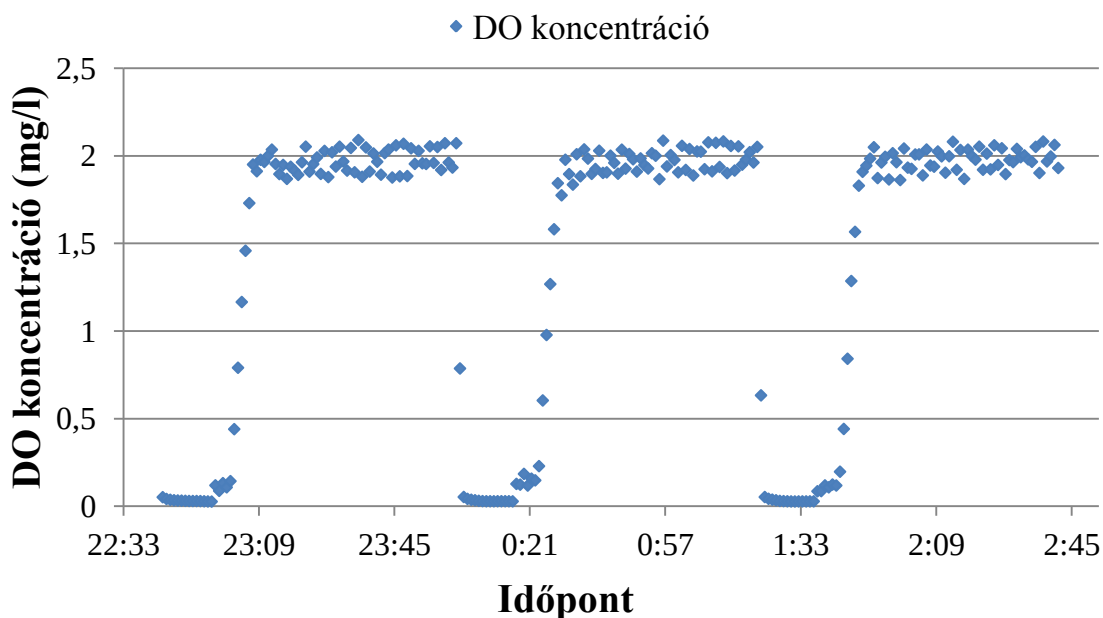
Az alkalmazott eleveniszapos SBR rendszer alapját egy 5 literes teljes térfogatú műanyag reaktor alkotta (3. ábra). A rendszer keverését mágneses keverővel biztosítottam. A magas fordulatszámot biztosítani képes keverő, illetve az alkalmazott nagyméretű mágnes lehetővé tette a reaktor hatékony átkeverését, még annak teljesen feltöltött állapotában is. A plexi reaktor aljába annak alapterületével megegyező üveglapot vágattam annak érdekében, hogy a mágnes a reaktor alját ne koptassa ki. A reaktor levegőztetését egy nagyteljesítményű akvarisztikai pumpával, gumicsővel, illetve a reaktor alján a gumicsőre csatlakoztatott, a reaktor teljes kerületén átívelő rugalmas perforált csővel biztosítottam. Ez egy durvabuborékos levegőztető rendszert alkotott, amely rövid idő alatt tudta biztosítani a kívánt oldott oxigénkoncentráció elérését. A nagy teljesítményű pumpa lehetővé tette, hogy a

perforált csövet az eleveniszap ne tömje el, ezért a rendszer e téren csak minimális karbantartási igényvel rendelkezett. A reaktor kommunális szennyvíziszappal került beoltásra.



3. ábra. Az eleveniszapos kísérleti rendszer

A levegőztetés során az oldott oxigén koncentrációja folyamatosan szabályozva volt. Ezt egy on-line DO szonda biztosította, melynek jele alapján a levegőztetés 2 mg/l oldott oxigén koncentráció felett lekapcsolt, alatta pedig működésbe lépett. Ennek alapján a reaktorban mért DO koncentráció folyamatosan 1,9-2,1 mg/l között változott (4. ábra). A szonda az oldott oxigén koncentráció mellett a hőmérsékletet is folyamatosan rögzítette.



4. ábra. Három egymást követő tisztítási ciklus DO adatai

A szennyvíz betáplálása egy, a hidraulikai terhelésnek megfelelő térfogatú műanyag edényből történt. A szennyvíz frissen tartása érdekében azt rendszeresen hűtőszekrényben tároltam, és minden nap csak annyi szennyvizet töltöttem a betápedénybe, amennyi aznap a reaktorra feladásra került. Az elfolyó tisztított vizet szintén egy műanyag edénybe gyűjtöttem, a mintavételt, illetve az analitikai elemzést követően az edényt ürítettem és elmostam.

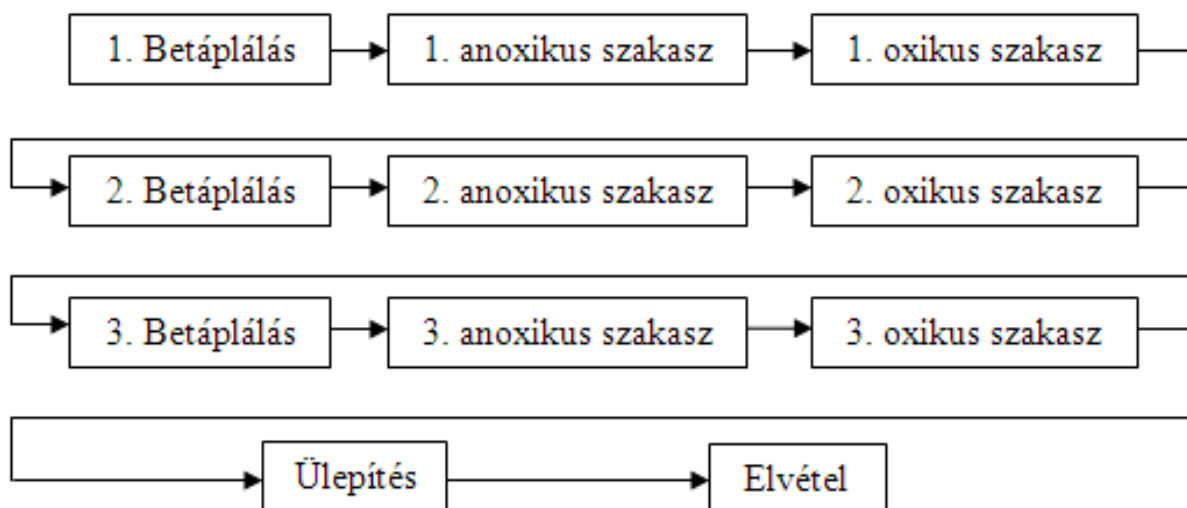
A szennyvíz betáplálását és a tisztított víz elvételét perisztaltikus pumpákkal biztosítottam (M2. ábra). Azt, hogy a kívánt mennyiségű szennyvíz kerüljön feladásra a reaktorba, a pumpa közbözésével biztosítottam.

A megfelelő mennyiségű tisztított szennyvíz elvételét úgy oldottam meg, hogy a reaktorban a tisztított víz elvételét biztosító cső alját a reaktor alaptérfogatának szintjére helyeztem, és a pumpa működési idejét valamivel a kívánt vízmennyiség elvételéhez szükséges időnél hosszabbra állítottam.

A kísérletek során a rendszerben megfelelő pH uralkodott, ezért a tisztítás során pH állításra nem volt szükség. A pH-t naponta többször, kézi üzemben terepi pH-mérővel ellenőriztem. A

tisztítás a laboratóriumban jellemző 20-22 °C-os hőmérsékleten zajlott, a pillanatnyi hőmérséklet értéket az alkalmazott vezérlőegység folyamatosan (10 másodperces időközönként) rögzítette, az oldott oxigén koncentrációhoz hasonlóan.

A 2. ábrán bemutatott tisztítási körülmények pontos változtatását egy előre beprogramozott OMRON ZEN típusú vezérlőegység biztosította (M1. ábra.). Az egymást követő tisztítási lépéseket az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra. A tisztítási folyamat sémája

Naponta 3 db 8 órás tisztítási ciklus játszódott le a reaktorban. Az egyes lépések időtartama a 4. táblázatban került összefoglalásra. Az 5. ábrán látható, hogy egy cikluson belül háromszor ismétlődött a betáplálás, a keverés és a levegőztetés. Ennek abban van jelentősége, hogy így nem kellett minden oxikus szakasz után ülepíteni és elvenni a tisztított vizet. Ezzel időt takaríthattam meg, illetőleg növelhettem a biológiai tartózkodási idő (betáplálás + keverés + levegőztetés) és a teljes hidraulikai tartózkodási idő (betáplálás + keverés + levegőztetés + ülepítés + elvétel) arányát. A feladás és az anoxikus szakasz a gyakorlatban nem különültek el egymástól, a nyers szennyvíz betáplálása ugyanis az anoxikus szakasz kezdetén történt. Ezzel gyakorlatilag nem három, hanem kilenc tisztítási ciklus játszódott le egy nap.

Ha minden betáplálás előtt elvettem volna a tisztított vizet, azonos HRT mellett a biológiai tisztítási időt kellett volna csökkenteni.

4. táblázat. Egy tisztítási ciklus felépítése, és az egyes lépések időtartama

Tisztítási lépés	Időtartam (perc)
Betáplálás	5
Anoxikus ciklus	30 (35)
Oxikus ciklus	110
Betáplálás	5
Anoxikus ciklus	30 (35)
Oxikus ciklus	110
Betáplálás	5
Anoxikus ciklus	30 (35)
Oxikus ciklus	110
Ülepítés	30
Elvétel	15
BRT/HRT	0,9

A levegőztetés szabályzását, illetve a pillanatnyi adatok kijelzését és tárolását egy Hach Lange SC 1000 típusú vezérlő biztosította (M3. ábra). Az akár nyolc érzékelőt is kezelni képes rendszer nálam csak a két reaktor oldott oxigén koncentrációját mérte, és a mért értékek esetén szabályozta a levegőztetést. A tárolt adatokat rendszeresen PC-re továbbítottam, az adatokból pedig diagramokat készítettem annak érdekében, hogy levegőztetés szabályozását ellenőrizsem (4. ábra). A több hónapon át tartó kísérletsorozat alatt minden esetben megfelelő szabályzást tapasztaltam.

Az DO figyelésért felelős szonda percenként 6 adatrögzítést végez. Ennek köszönhetően kvázi folyamatos információnk van a reaktorban uralkodó környezeti körülményekről, melyet a rögzített adatok is hűen tükröznek. A szondák segítségével a rövid reagálási idő miatt a közeg jellemző paraméterei gyorsan szabályozhatók, tehát viszonylag állandó értéken tarthatók. Ez tette lehetővé azt, hogy amennyiben a tartandó oldott oxigénszintet 2 mg/l-ben határoztam meg, akkor a reaktorban a DO folyamatosan 1,9-2,1 mg/l között legyen. 2 mg DO/l koncentráció alatt ugyanis a levegőztetés azonnal bekapcsol, afelett pedig automatikusan leáll.

Vizsgálataim során a reaktor terhelését folyamatosan növeltem annak érdekében, hogy a rendszer maximális kapacitását megismerjem.

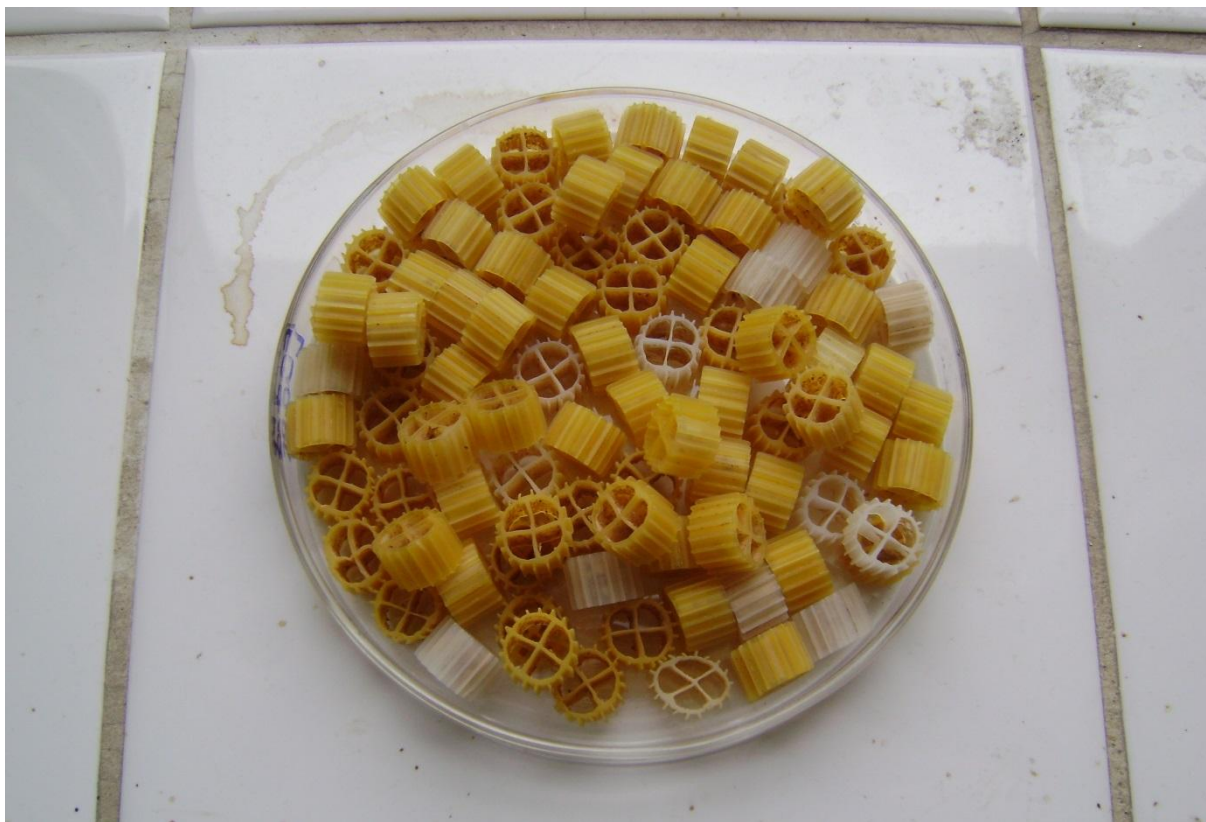
9.2 A biofilmes rendszer

A biofilmes rendszer felépítését tekintve megegyezett az eleveniszapos kísérleti rendszerrel (6. ábra). A reaktor anyaga, térfogata, a feladás, az elvétel, a keverés és a levegőztetés kialakítása azonos volt. A biofilmes rendszer tisztítását is ugyanaz az OMRON ZEN berendezés szabályozta, így az alkalmazott tisztítási folyamat is megegyezett a két rendszernél. Az oldott oxigén koncentrációját mérő DO szonda jele alapján ugyanaz az SC 1000 vezérlőegység szabályozta a levegőztetést.



6. ábra. A biofilmes kísérleti rendszer

A reaktorban kezdetben 16 %-os, később 25 %-os töltöttségi arányban tartalmazott biofilmhordozó töltetet. Az alkalmazott biofilm hordozó Kaldness K1 típusú töltet volt (7. ábra). A kaldnes K1 hordozó leggyakrabban polipropilénből (PP), polietilénből (PE), vagy nagy sűrűségű polietilénből készül (HDPE). Kis műanyag, kerék alakú töltet, melynek átmérője 12 mm, magassága pedig 9 mm. Tömege m^3 -enként 130 kg, egy m^3 -en hozzávetőlegesen 66 340 hordozó található. Gyártói tapasztalatok alapján 5-15 nap alatt alakul rajta ki a biofilm réteg. Egyszerű, robosztus kialakítása van. Könnyű telepíteni és üzemeltetni. Üzemeltetési költség szempontjából a víznél alacsonyabb sűrűsége miatt a legtöbb hordozóval szemben versenyképesebb.



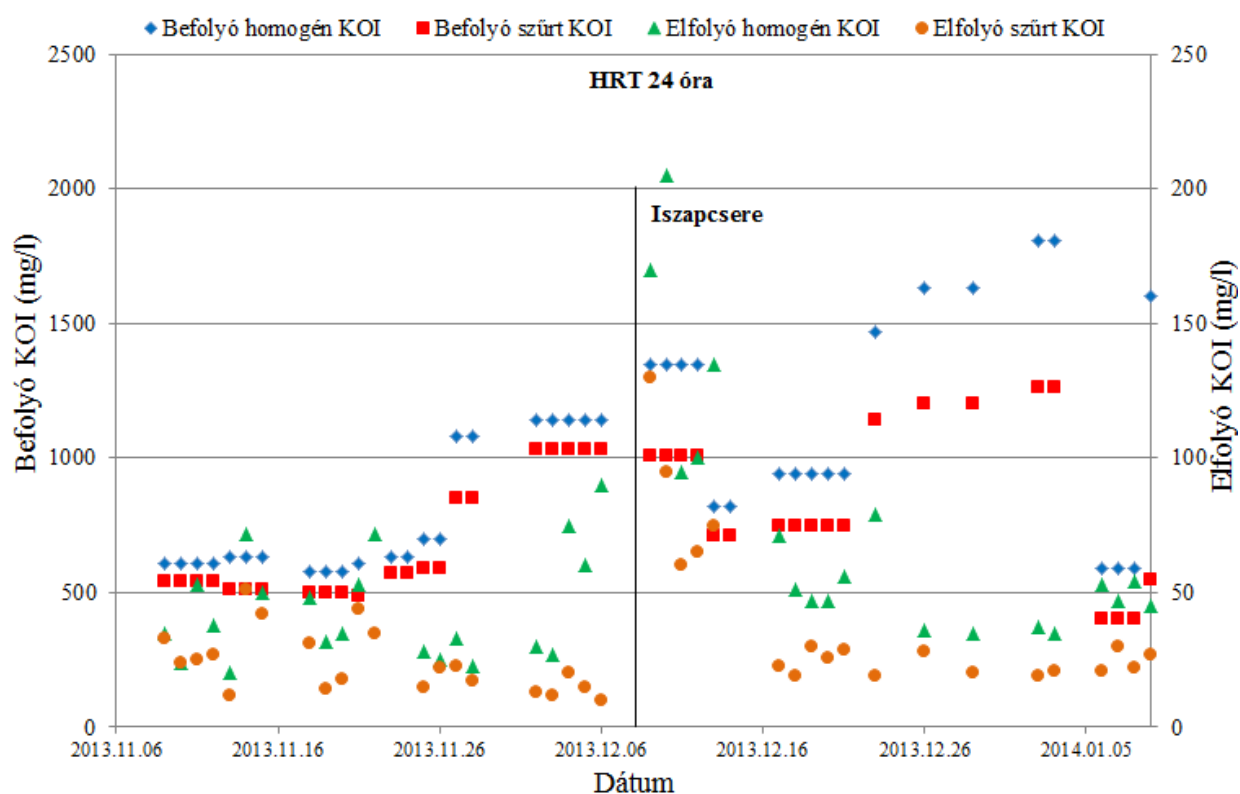
7. ábra. Kaldness K1 biofilm hordozó

A töltet mennyisége a kísérletek során nem változott, a töltöttségi szint azért növekedett, mert idővel (a hidraulikai terhelés növelése miatt) a reaktor alaptérfogatát csökkenteni kellett. Az eleveniszap koncentrációt minimalizálni igyekeztem, ezért az iszap elvétele céljából a reaktor tartalmát rendszeresen leszűrtem. Így sikerült biztosítani, hogy a rendszer eleveniszap koncentrációja 1 g/l alatti legyen. Mivel a tölteteken kialakuló biomassza tömeg a kutatás során az időszakos töltetcsere és a biofilm növekedése miatt nem volt állandó, a rendszerben kialakult mikroorganizmus tömeg a működés során valamelyest változott. Ez a következő fejezetben részletesebben bemutatásra kerül.

10 Eredmények

10.1 Az eleveniszapos rendszer tisztítási eredményei

A kísérleti rendszereket 24 órás hidraulikai tartózkodási idővel indítottam. Ez megfelel a legtöbb kommunális szennyvíztisztítóra jellemző folyadék tartózkodási időnek. Amennyiben figyelembe vesszük a rendszerben az 1 napos HRT mellett kialakult eleveniszap koncentrációt (4-5 g/l), illetve a befolyó szennyvíz 1000 mg KOI/l átlagos szerves anyag tartalmát, megállapítható, hogy az iszap szerves anyag terhelése is a hagyományos települési tisztítókéra jellemző. Az 1 napos hidraulikai tartózkodási idő mellett mért befolyó és elfolyó KOI értékeket a 8. ábra tartalmazza.



8. ábra. Az eleveniszapos rendszer tisztítási eredményei 1 napos HRT mellett

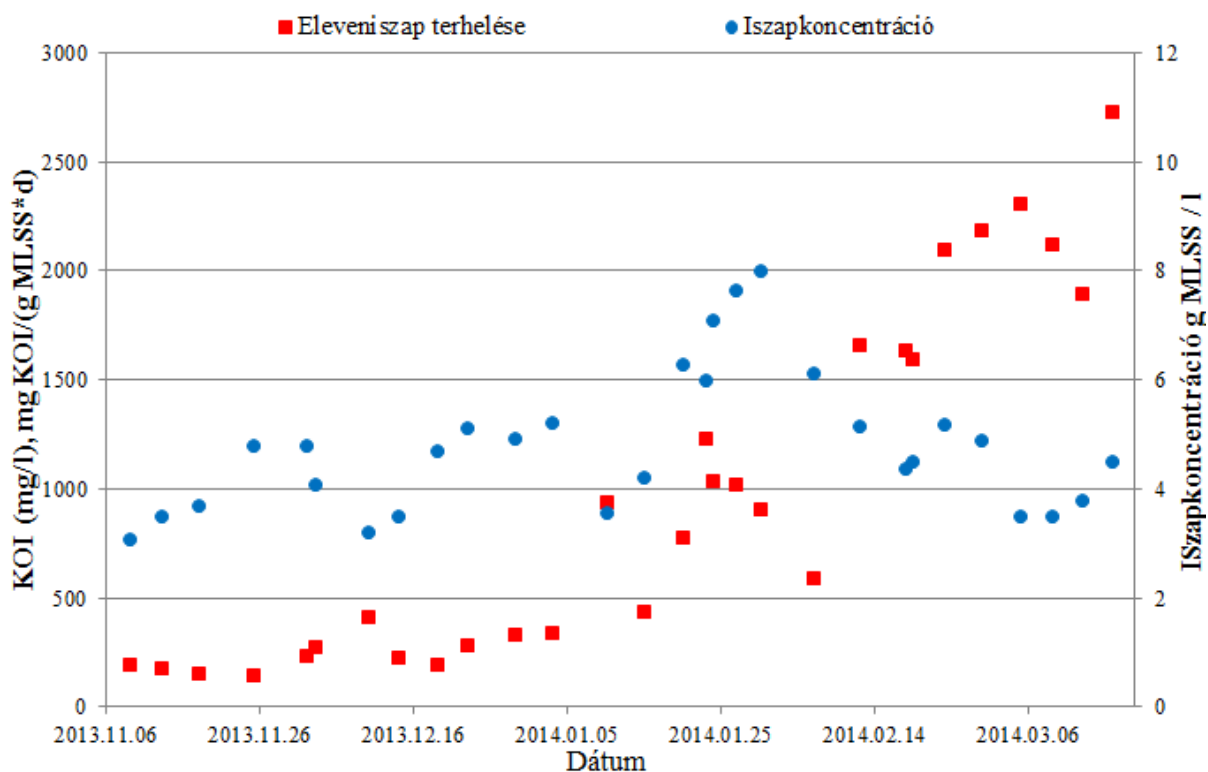
Az ipari szennyvizek biológiai tisztításának kezdeti szakaszában a legtöbb esetben megfigyelhető egy hosszabb-rövidebb ideig tartó adaptációs időszak. Ennek során a baktériumok alkalmazkodnak a tisztítandó szennyvíz összetételéhez. Mivel a reaktort kommunális szennyvíztelepről származó eleveniszappal oltottam be, a kutatás előtt feltételeztem adaptáció lejátszódását. A tisztított szennyvíz szerves anyagtartalma ugyanakkor már a reaktor elindítását követő első napokban is olyan alacsony volt, amely szerint a települési szennyvíztisztító iszapjának valószínűsíthetően nem okozott gondot a hirtelen

megváltozott szennyvízminőség. Ennek alapján megállapítható, hogy a vizsgált előkezelt tejipari szennyvíz gyakorlatilag csak könnyen bontható szerves anyagokat tartalmaz, és nem fordulnak elő benne olyan komponensek, melyek jellegük (toxicitás, molekulaméret) miatt a baktériumok alkalmazkodását igénylik.

Az első függőleges vonal a 8. ábrán egy iszapcserét jelez, amit a levegőztető rendszer meghibásodása miatti leállás tett szükségessé. Itt már sokkal inkább megfigyelhető a kezdeti magasabb, majd egyre alacsonyabb elfolyó szerves anyag tartalom, amelyből feltételezhető, hogy a kommunális tisztítóból származó eleveniszap adaptációs időszakon ment keresztül. Ez az időszak nagyjából egy hétig tartott. Figyelve azonban a biofilmes reaktor eredményeit látható, hogy ebben az időszakban ott is megnövekedett szerves anyag tartalmat figyelhettünk meg a tisztított vízben (*következő alfejezet*). Visszatekintve, vizsgálataink kezdeti szakaszában is elért magas tisztítási hatékonyságra, feltételezhető, hogy az iszapcserét követő kezdeti magasabb KOI-t az elfolyó vízben valamilyen nehezebben lebontható komponens eredményezte.

A valamivel magasabb homogén KOI a változó iszapüledésnek volt köszönhető. Az előkezelt szennyvízben maradt vas viszont idővel javította az iszap üledését ezért később a reaktorban alacsonyabb iszapindexet, és ezzel párhuzamosan az elfolyó vízben alacsonyabb lebegőanyag tartalmat mértem.

A reaktor működése során mért iszapkoncentráció értékeket és az eleveniszap relatív szerves anyag terhelését a 9. ábrán foglaltam össze.



9. ábra. Az eleveniszap-koncentráció és a relatív iszapterhelés

A 24 órás HRT mellett a reaktorra jellemző eleveniszap koncentráció 3-5 g/l között változott. A relatív iszapterhelés kezdetben 150-200 mg KOI / (g MLSS*d) volt, amely néhány hét alatt 350 mg KOI / (g MLSS*d) körüli értékre emelkedett. Ez nem sokkal haladta meg a hagyományos kommunális tisztítók eleveniszapjának terhelését.

Az előző fejezetben részletesen bemutatásra került a flotálással előkezelt, tisztítandó szennyvíz összetétele. A 3. táblázatból látható volt, hogy foszfor és nitrogén is csak minimális mennyiségben volt jelen a szennyvízben.

A rendelkezésre álló elemek mennyisége korlátozza a biológiai rendszerek produkcióját. Az anyagkörforgalmat a Liebig-törvény értelmében az az elem fogja limitálni, amelyből a legkevesebb áll rendelkezésre az élőlény számára (az egyensúlyi arány az elemek atomarányával egyezik meg az élő szervezetben). Ez az arány a három legfontosabb biogén elem esetében a következő:

$$C : N : P = 106 : 16 : 1 \quad [39] \quad (1)$$

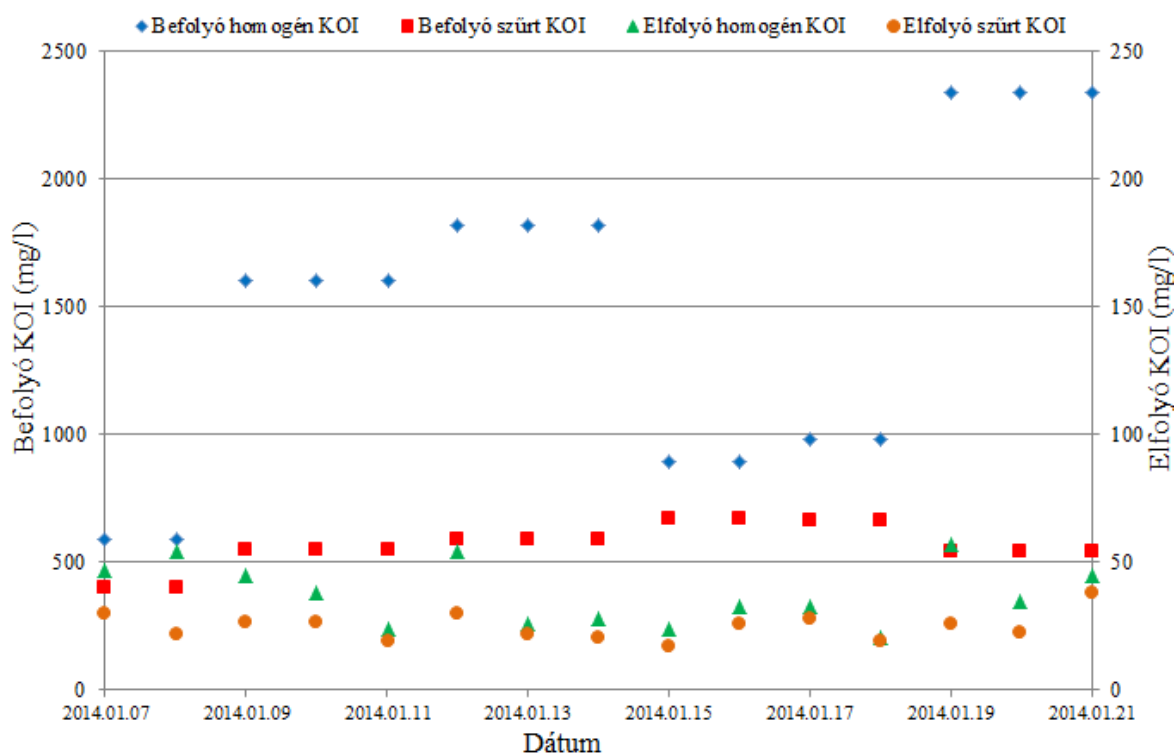
Természetesen ettől az aránytól eltérések lehetségesek, a bemutatott arány inkább átlagosnak tekinthető. A biológiai szennyvíztisztításnál az említett tápanyagok szükséges arányaként 100 : 10 : 1-es értéket tartanak iránymutatónak [40]. Ez alapján elmondható, hogy az eleveniszap növekedése a jellemző szennyvízösszetétel mellett, külső tápanyag adagolás

nélkül igen korlátozott, mind az alacsony nitrogén, mind a kis foszfortartalom miatt. Nagy valószínűséggel ennek volt köszönhető az, hogy bár a rendszerben kellő szerves anyag eltávolítást tapasztaltunk, a reaktorban az iszapkoncentráció számottevő mértékben nem emelkedett.

Attól függetlenül viszont, hogy ammónium tartalmat a tisztítandó szennyvízben nem mértem, egyéb nitrogénforma – kis mennyiségben ugyan, de – előfordulhatott benne. Ez alatt leginkább a szerves nitrogénvegyületeket értem. Ennek meghatározására TN mérésre lett volna szükség, melynek végrehajtására azonban a laboratóriumban nem volt lehetőségem.

Az iszaphozamot a tápanyaghiány okozta mikroorganizmus elhalás – tehát az elhalt sejtek tovább feldolgozható anyagának felemésztése – is befolyásolja. Ezért van az, hogy kellő szerves anyag limitáció esetén, magasabb nitrogén tartalmú szennyvizeknél a kialakuló alacsony KOI/TKN arány miatt az autotróf fajok a heterotróf baktériumokkal egyensúlyba kerülhetnek. A kísérleti reaktorban viszont a nitrogénhiány miatt éppen az autotróf mikroorgnaizmusok kiszorulása figyelhető meg.

A szerves anyagok mellett tehát nem hanyagolható el a baktériumok sejtanyagának felépítésében szerepet játszó nitrogén és foszfor sem, melyek arány a sejtek szárazanyagában 4-9, illetőleg 1,5-6 % között lehet [2]. Hiányuk esetén a sejtek megfelelő növekedése, szaporodása szükségszerűen korlátozott.



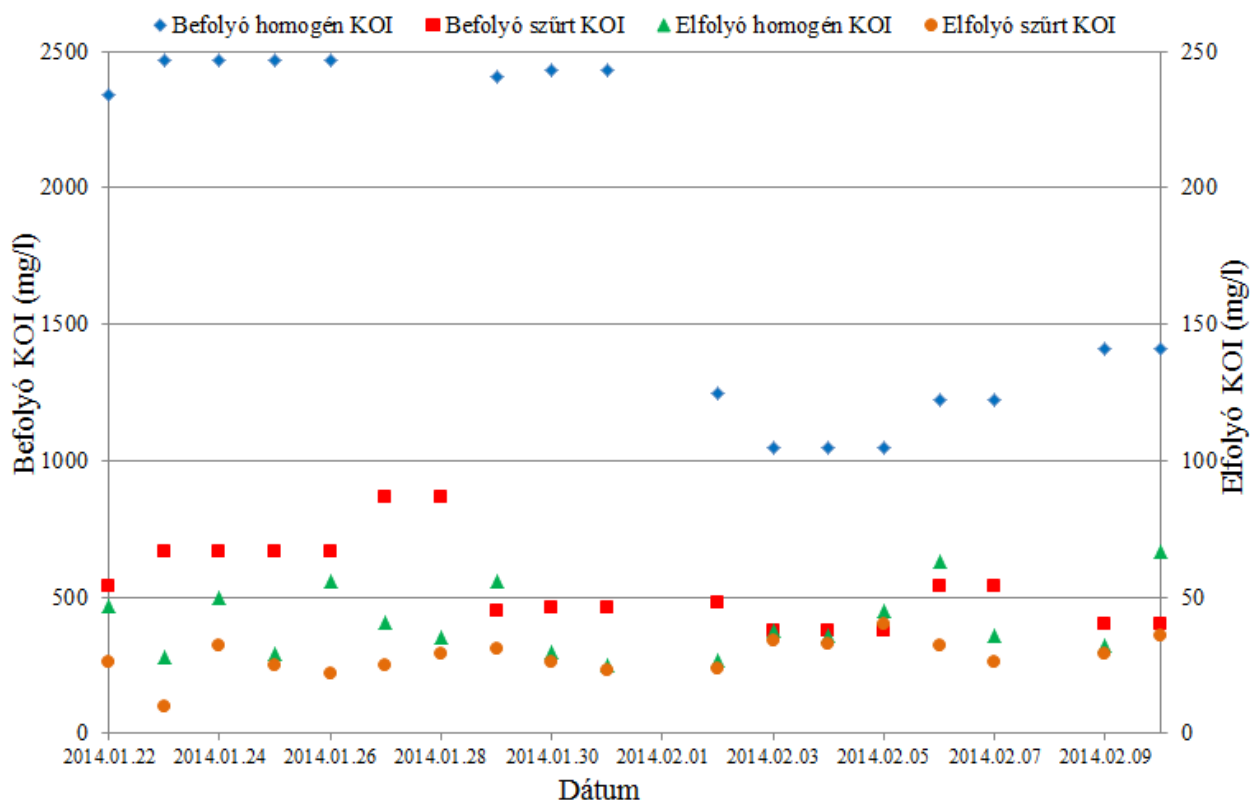
10. ábra. Az eleveniszapos rendszer tisztítási eredményei 17 órás HRT mellett

A folyadékterhelés ezt követő növelésével egyidőben, annál jóval nagyobb mértékben emelkedett a rendszer szerves anyag terhelése. Az iszapkoncentráció kismértékben emelkedett csak, a relatív iszapterhelés 500-800 mg KOI / (g MLSS*d) értékre nőtt (9. ábra).

A tisztított víz KOI-ja az eddig megszokottak szerint alakult, sok esetben a homogén KOI csak kismértékben haladta meg a szűrt értéket.

A 9. ábrát figyelve látható, hogy az iszap mennyisége a reaktorban a vizsgált időszakban gyorsabban növekedett. A befolyó szennyvíz szennyezőanyag tartalmának meghatározó részét az üzemi előkezelést követően az előtisztított vízben maradt lebegőanyag tartalom jelentette. A nem megfelelő iszapleválasztás hatására nem csak szerves anyag koncentráció volt magasabb a reaktorokra feladott vízben, hanem valószínűsíthetően valamennyi foszfor is maradt a szennyvízben csapadék formájában. Ezt a 3. táblázat eredményei megerősíteni látszanak. A foszforhiány így valószínűsíthetően nem limitálta az iszapszaporodást. A nagyfokú iszapüledést jelzi, hogy az SVI index 40 körül alakult.

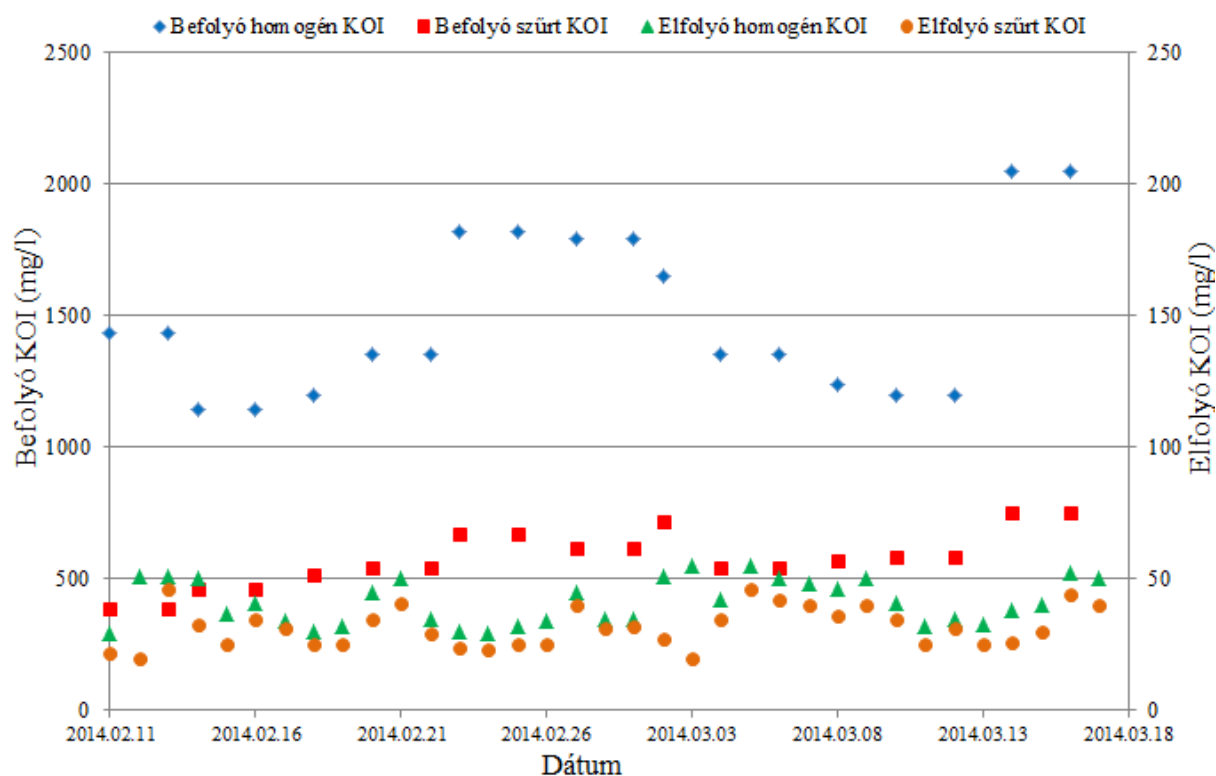
Egy későbbi lépcsőben a HRT-t fél napra állítottam be. A reaktort elhagyó tisztított víz minősége nem változott, a 40 mg/l-es KOI-t csak a homogén minta szerves anyag tartalma haladta meg bizonyos esetekben (11. ábra).



11. ábra. Az eleveniszapos rendszer tisztítási eredményei 12 órás HRT mellett

A kutatás ezen szakaszát az eddigieknél még magasabb szerves anyag terhelés jellemezte (800-1200 mg KOI / (g MLSS*d); 9. ábra). Az iszapkoncentráció itt már 7-8 g/l-re emelkedett, amelyet iszapelvétellel 5 g/l körüli értékre csökkentettem. Az előkezelt szennyvíz lebegőanyag tartalma a flotált iszap nem megfelelő leválasztása miatt továbbra sem csökkent, amely az iszap növekedésének és ülepedésének (a lebegőanyaggal bevitt vas miatt) egyaránt kedvezett.

A rendszer jelenleg 6 órás HRT mellett üzemel. Erre az időszakra jellemző elfolyó szerves anyag tartalmakat mutat az 12. ábra.



12. ábra. Az eleveniszapos rendszer tisztítási eredményei 6 órás HRT mellett

A rendszer 1,5-2,5 g KOI / (g MLSS*d) fajlagos terhelés mellett is hatékonyan működik. Az elfolyó homogén és szűrt KOI is valamennyi esetben 50 mg/l alatti.

Az analitikai vizsgálatok során a tisztított víz szerves anyag tartalma mellett rendszeresen meghatároztam az elfolyó víz nitrogéntartalmát is. Ezek a mérések az ammónium koncentrációján túl a nitrit és nitrát tartalomra is kiterjedtek. Az egyes nitrogénformák esetében mért koncentrációk minden esetben 1 mg/l alatti értéket képviseltek. Ammónium a tisztított vízben ritkán volt kimutatható.

A biológiai résztisztítást nyújtó rendszerekben a lebontott BOI₅-ben mért tápanyag és levegőztető rendszerben lévő iszapkoncentráció hányadosa 1-nél nagyobb. Ebben az esetben,

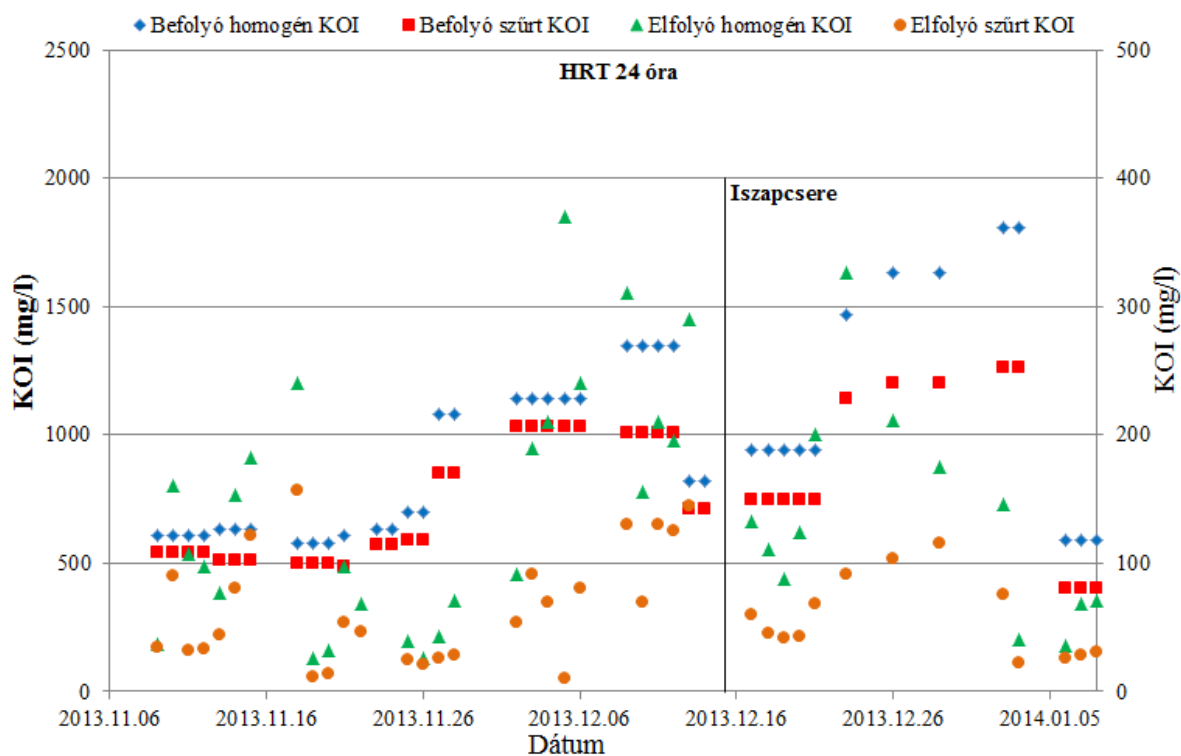
a szennyvízben lévő szerves anyag egy része kerül csak lebontásra. A teljes biológiai tisztítást nyújtó rendszernél az említett érték 0,5-0,75 közötti. Ebben az esetben, a szennyvízben lévő szerves anyagok lebontódnak, a mikroszervezetek sejtanyaga azonban nem. Totál oxidációs rendszereknél 0,1-nél kisebb, ennél a tisztítási rendszernél a szennyvízben lévő szerves anyagokon túlmenően a mikroszervezetek sejtanyagának nagy része is lebontásra kerül [41].

Az eleveniszap ülepedésének vizsgálatakor mért iszapindex (SVI) 15 ml/g-nak bizonyult. Az iszap már alig öt perc alatt 120 ml térfogatra ülepedett le (a kezdeti 1000 ml-ről) és az ülepedés 30 perc után sem változott számottevően. Mindezt 8 g/l-es MLSS koncentráció mellett. Összehasonlításként szeretném megemlíteni, hogy jól ülepedő iszapról akkor beszélhetünk, ha az iszapindex, tehát az 1 literes mérőhengerben fél óra alatt leülepedett iszap térfogatának és az eleveniszap koncentráció hányadosa 100 ml/g alatti [42].

Fontos lehet kiszámolni, hogy az irodalomban megtalálható optimális tápanyagarányok beállításához milyen mennyiségű vegyszerre van szükség. 1200 m³ napi szennyvízmennyiséget alapul véve, 1000 mg KOI/l szerves anyag koncentráció, és 10 mg/l N koncentráció mellett, az előkezelt szennyvízben foszfortartalmat nem feltételezve a 100 : 10 : 1 C : N : P arány beállításához napi szinten 108 kg nitrogénre és 12 kg foszforra lenne szükség. Előbbi 231 kg karbamidban (a karbamid 46,67 %-os nitrogén tartalmával számolva), míg utóbbi 102 kg trinátrium-foszfátban (trisó, 9,8 % P-tartalom) van jelen. A karbamid közelítő ára jelenleg 200 Ft/kg, a trisóé 700 Ft/kg. Ezek alapján a segédanyag adagolás részéről a szennyvíztisztításnál naponta 120.000 Ft körüli többletköltség jelentkezne. Emellett a megnövekvő iszaphozam is további költségeket gerjeszt az elszállítandó iszapmennyiség növekedése végett.

10.2 A biofilmes rendszer eredményei

Hasonlóan az eleveniszapos rendszerhez, a biofilmes reaktort is kezdetben 1 napos hidraulikai tartózkodási idővel és az oxikus szakaszban 2 mg/l-es DO limittel üzemeltettem. A kísérletek kezdeti szakaszának eredményei a 13. ábrán kerültek összefoglalásra.



13. ábra. A biofilmes rendszer tisztítási eredményei 24 órás HRT mellett

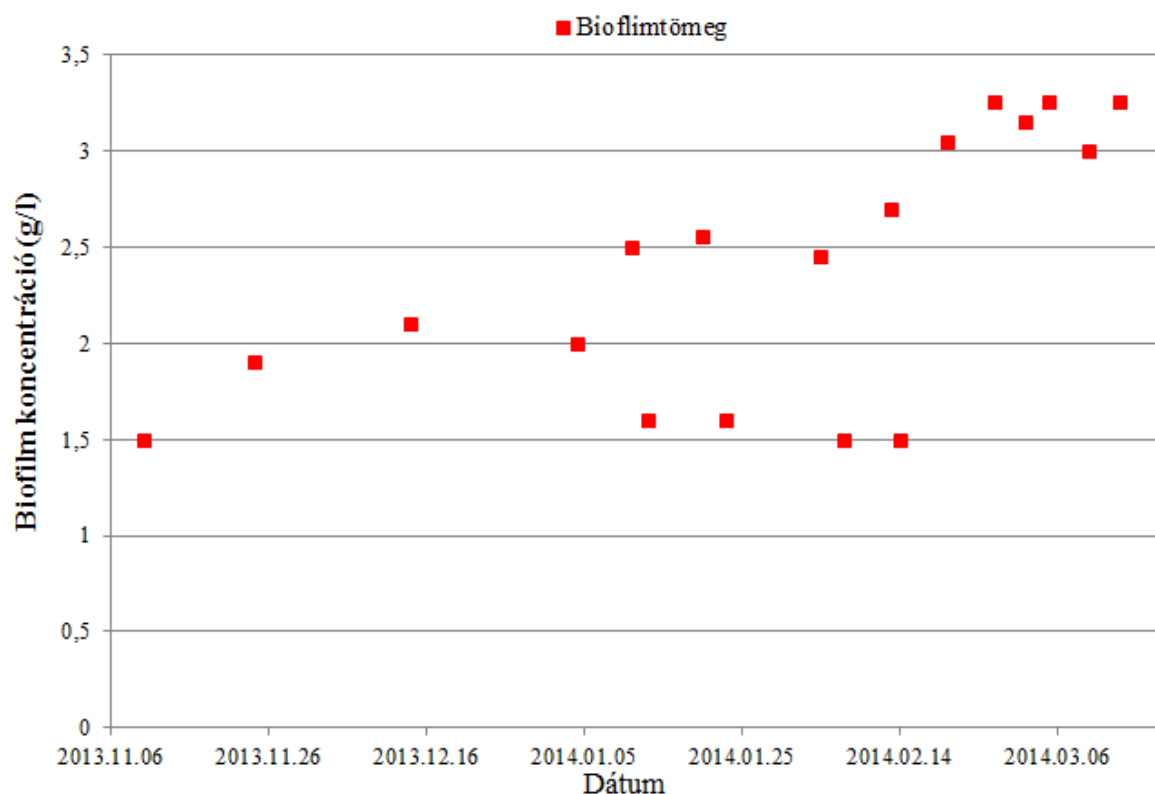
Itt már sokkal inkább megfigyelhető a tisztítás hatékonyságának ingadozása. A tisztított víz szerves anyag tartalma jóval szélesebb tartományban ingadozott, mint az eleveniszapos reaktornál. A jóval magasabb elfolyó homogén KOI-nak az oka vélhetően a töltetek víznél kisebb sűrűsége lehetett, melynek eredményeképpen az ülepedés során a töltetek a folyadékfázis tetejére úsznak, csökkentve ezzel a hordozókról letöredező – és esetlegesen szaporodó – biofilm részek, sejtek ülepedését. A gyakorlatban alkalmazott MBBR rendszereknél éppen ezért membránszűrést alkalmaznak az iszap visszatartására.

A levegőztető rendszer meghibásodása miatt idővel itt is szükséges volt újraindítani a rendszert. Az iszapkoncentrációt az iszap folyamatos elvételével sikerült 1 mg/l alatt tartani.

A tölteteken kialakult biofilm tömegének ellenőrzésével próbáltam meghatározni a rendszer terhelését. A reaktorban elhelyezett 500 ml térfogatnak megfelelő tölteten a kutatás során nagyjából 1,5-3 g biofilm alakult ki, ami hozzávetőlegesen 0,5-1,5 g biofilm/l koncentrációt

eredményezett (14. ábra). A terhelés ennek alapján a vizsgálatok ezen része alatt 200-500 mg KOI/ (g biofilm MLSS*d)-nek alakult.

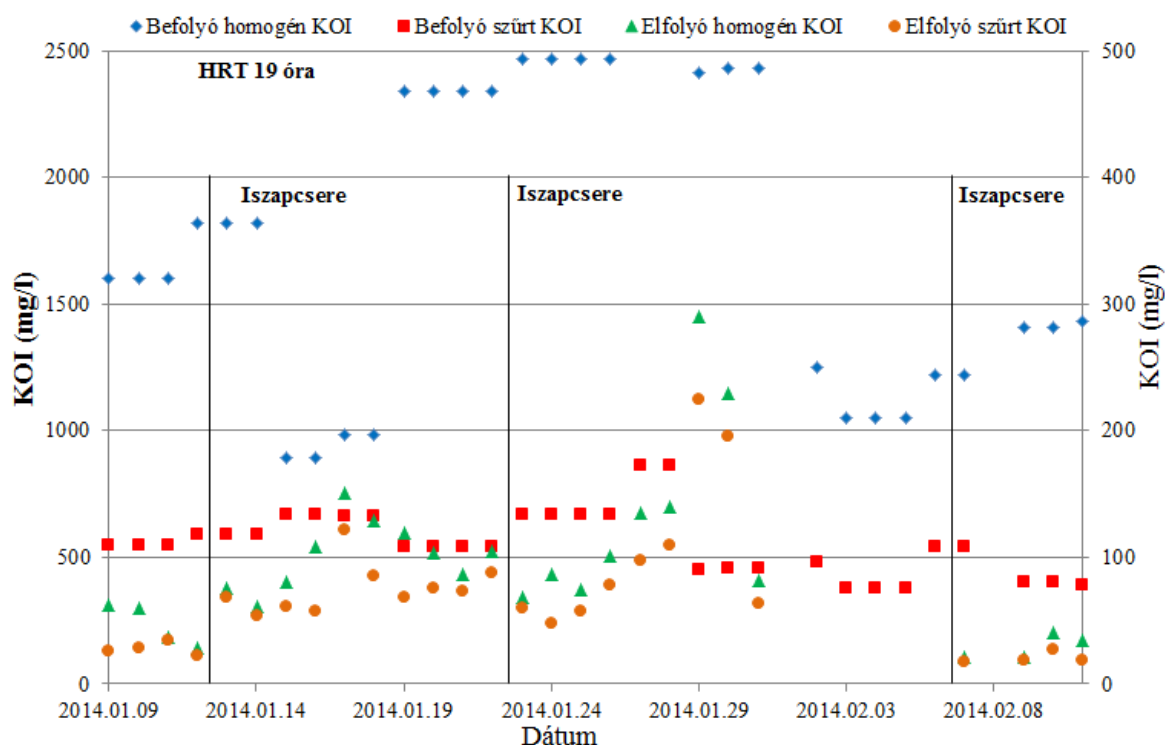
Az említett töltetmennyiség 3 literes alaptérfogat mellett 16,6 %-os, majd a későbbi 2 literes alaptérfogat mellett 25 %-os töltöttségnek felelt meg.



14. ábra. A biofilmtömeg változása a hordozón

A 13. ábrán megfigyelhető, hogy az elfolyó KOI már jobban függött feladott szennyvíz szerves anyag tartalmától, illetőleg ezen keresztül a terheléstől. Látható, hogy 500 mg KOI / (g biofilm MLSS*d) terhelésig hatékony szerves anyag oxidáció volt megfigyelhető.

A reaktor terhelését később itt is megemeltém, bár az eleveniszapos rendszerhez képest kisebb mértékben. A 19 órás HRT mellett mért KOI értékeket a 15. ábrán foglaltam össze.



15. ábra. A biofilmes rendszer tisztítási eredményei 19 órás HRT mellett

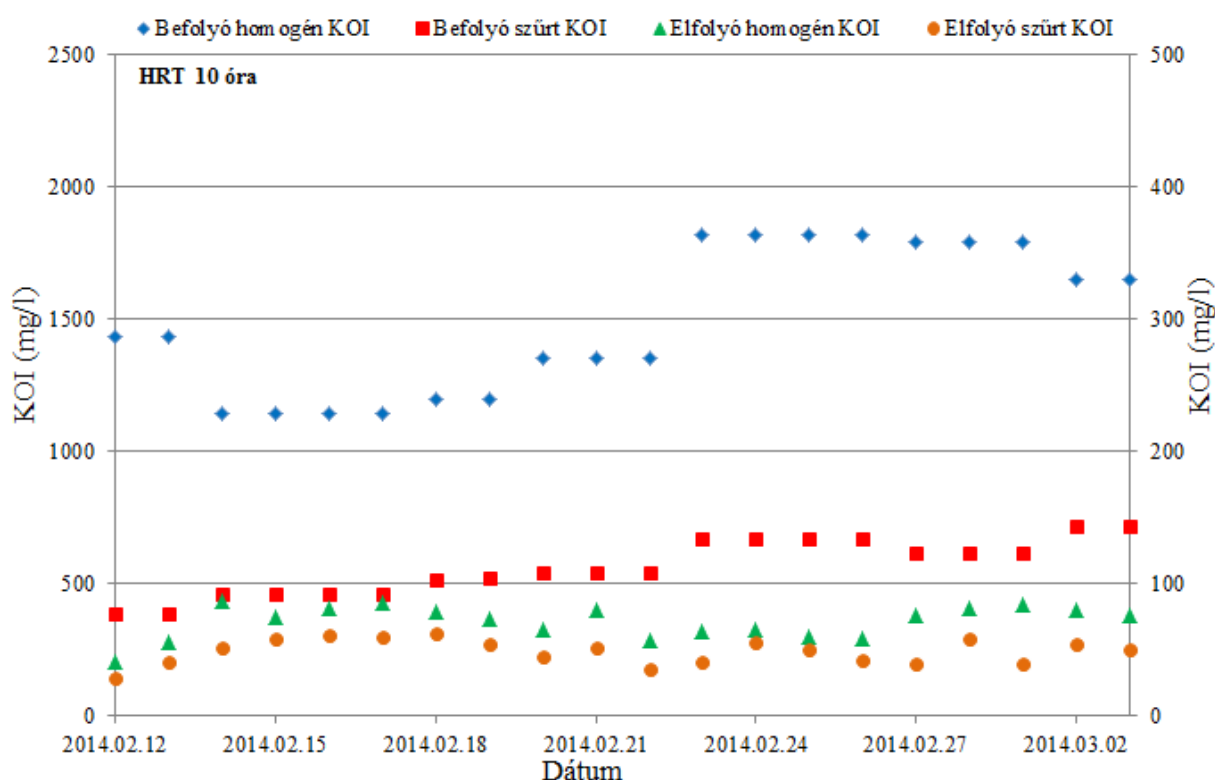
19 órás HRT mellett megfigyeltem, hogy 2 mg/l-es DO koncentráció mellett a töltetek felületén kialakult biofilm feketedni kezdett. A 15. ábrán látható, hogy ehhez 1000 mg KOI / (g biofilm MLSS*d) terhelés felett minden esetben egy hétre volt szükség. Ennek oka az lehetett hogy a tölteteken kialakuló iszapréteg vastagának növekedésével az oxigén egyre kisebb mértékben tudott bediffundálni a biofilm belsejébe, melynek eredményeképpen a töltet felületéhez közel eső részek anaerob körülmények alakulhattak ki. Irodalmi tapasztalatok alapján tudjuk, hogy ilyen esetekben a biofilm felületén még végbe mennek ugyan az oxigén igénylő folyamatos, a réteg belsejében már viszont csak anoxikus és anaerob folyamatok tudnak lejátszódni. Utóbbiak csökkentik a töltet felülete és a biofilm közötti kötőerőt, melynek eredményeképpen a sejtek elhalnak és letöredeznek.

Ezt alátámasztani látszott az is, hogy míg a biofilm folyamatos elhalása volt megfigyelhető azokon a tölteteken, melyeken valamivel nagyobb iszapréteg volt kialakulva, addig a vékonyabb rétegekben, illetve a kialakuló eleveniszapban mindezt nem tapasztaltam.

A biofilm pusztulása során semmi jel nem mutatott arra, hogy a tölteten élő bevonat alakulna ki ismét, ezért ilyen esetekben a hordozó cseréje mellett döntöttem. A reaktorba helyezett tölteteken minden esetben előzetesen kialakítottam biofilmréteget kommunális eleveniszap és lakossági szennyvíz segítségével.

Az eleveniszap eltávolítást minden esetben a folyadékfázis 15 mikrométer pórusátmérőjű szűrőpapíron történő átáramoltatással végeztem. Ahhoz, hogy ezt a folyamatot megkönnyítsem, kis mennyiségben polielektrolitot használtam. A biofilm berothadását kezdetben annak tulajdonítottam, hogy a folyadékban feleslegben maradt polielektrolit képez olyan réteget a biofilm felületén, amely akadályozza az oxigén diffúzióját. Mivel a jelenség azt követően is fennállt, miután az iszap összehúzását már mellőztem, akkor kezdtem el az irodalomban utánajárni a probléma okának. Ezért van az, hogy a 19 órás tartózkodási idővel a rendszer közel egy hónapig ment, és csak miután az oldott oxigén szintet 3 mg/l-re növeltem, azután tudtam a terhelésen ismét emelni.

Az előzőekben bemutatott negatív tapasztalatokkal szemben ugyanakkor kis biofilm vastagság esetén is hatékony szerves anyag lebontást sikerült elérni. Miután az oldott oxigén koncentrációját 3 mg/l-re emeltem az oxikus ciklusban, 50 mg/l alatti elfolyó KOI értéket mértem. A pozitív tisztítást látva döntöttem a rendszer folyadékterhelésének csaknem megkétszerezése mellett. A 16. ábra a 10 órás HRT-re vonatkozó KOI értékeket tartalmazza.

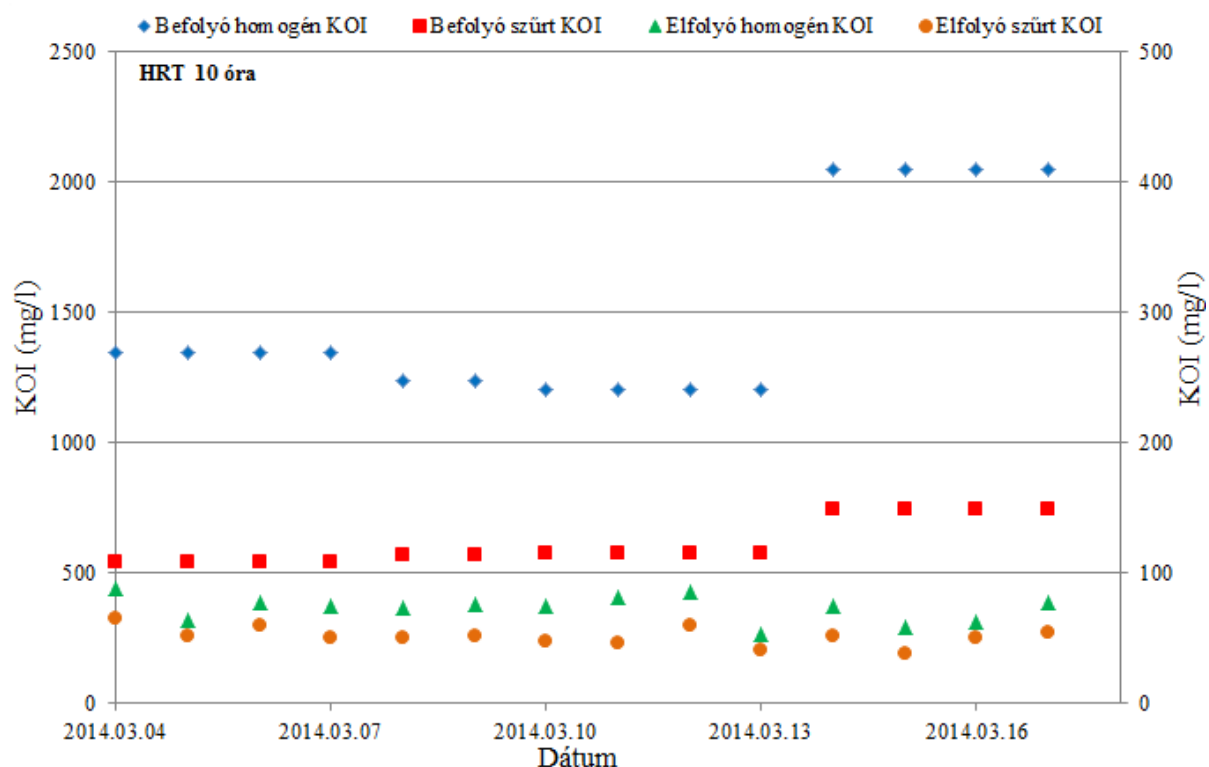


16. ábra. A biofilmes rendszer tisztítási eredményei 10 órás HRT mellett

10 órás HRT mellett az elfolyó szennyvíz KOI-ja 50-80 között mozgott. Tekintve azt, hogy a megnövekedett szerves anyag terhelés miatt már 3 mg/l DO koncentráció mellett is megfigyelhető volt a biofilm feketedése, az előzőekben már ismertetett problémák

megelőzése érdekében a DO-t 4 mg/l-re növeltem. Az emelést követően néhány nappal a tölteteken kialakuló biofilm feketedésének nyoma sem maradt.

Hasonlóan az eleveniszapos rendszerhez, a vizsgálatok következő szakaszában 6 órás HRT mellett üzemelt a reaktor, melynek szerves anyag terhelése így 3 g KOI/g biofilm MLSS fölé emelkedett. Az elfolyó víz minősége továbbra is változatlan maradt, bár meg kell jegyezni, ez már csak 6 mg/l-es DO mellett biztosítható (17. ábra).



17. ábra. A biofilmes rendszer tisztítási eredményei 6 órás HRT mellett

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a biofilmes rendszerek irodalomban megemlített előnyeivel ellentétben a töltetes reaktor jóval nagyobb érzékenységgel rendelkezett a vizsgálatok során. A tisztítás hatékonysága a sokszor számunkra ismeretlen ok miatt ingadozott. Az oldott oxigén koncentrációjának növelése biztonságosabbá tette ugyan a tisztítást, viszont úgy gondolom, nem megfelelő előtisztítás esetén a biofilm kevésbé tolerálja az előkezelt szennyvízben esetlegesen maradó összetettebb szennyező anyagokat, vagy tisztítási segédanyagokat. Valószínűsíthetően az előkezelt vízben feleslegben maradó polimer a biofilm felületén megkötődve korlátozza a tisztítást.

11 Összefoglalás

Az előző fejezetben bemutatott eredményekből látható volt, hogy az eleveniszapos rendszer 2 g KOI / (g MLSS*d) szerves anyag terhelésnél is szinte teljes KOI eltávolítást mutatott. Ezt összehasonlítva a települési tisztítók terhelésével, nagyjából tízszeres különbségről van szó, amelyből következik, hogy azonos iszapkoncentráció tartása mellett esetünkben tized akkora eleveniszapos medencetérre van szükség. Az előkezelt szennyvízben maradt vas lehetővé tette az iszap megfelelő ülepedését, így az iszapindex 8 g/l-es iszapkoncentráció mellett is jóval 100 alatti értéket mutatott. Magasabb iszapkoncentráció tartásával szintén csökkenthető a szükséges medencetér fogat.

2 g KOI / (g MLSS*d) szerves anyag terhelés esetén 8 g MLSS/l iszapkoncentrációnál napi 1500 m³ átlagosan 1000 mg KOI/l szerves anyagot tartalmazó szennyvíz tisztító térfogat igénye 100 m³ alatti.

A kutatás folytatásaként szeretném kimérni azt, hogy az anoxikus szakaszra mennyire van szükség a tisztításkor, a nitrogén terhelés ugyanis gyakorlatilag elhanyagolható, így az élővízi befogadókra előírt TN határérték gond nélkül teljesíthető. Az anoxikus lépés segíti az iszap ülepedését, és az így létrejövő hidrolízis hatásos lehetett az oxikus akkumulációra.

Az analitikai vizsgálatok megerősítették, hogy az előkezelt szennyvíz nagyon tápanyaghiányos volt. Ez a heterotrófok működését a minimális iszaphozamot látva igaz korlátozhatta, bár ez a tisztítás hatékonyságát érdemben nem befolyásolta. Ez alapján a nitrogén és foszfor pótlására nem feltétlenül van szükség, ami nem csak azért tekinthető költségtakarékos megoldásnak, mert ezzel naponta csaknem 400 kg vegyszer felhasználása kerülhető el, hanem mert a korlátozott iszaphozam az iszap elszállítás költségeit is csökkentheti.

A biofilmes rendszer is kellő biztonságot adhat a szerves anyag eltávolításánál, amennyiben kellően bedolgozódik. Ennek megfigyelését a viszonylag gyakori iszapcserek ugyanakkor korlátozták. A tapasztalatok e téren azt mutatják, hogy az eleveniszapos rendszerekkel szemben jóval nagyobb oldott oxigén koncentrációt kell alkalmazni. Ezt különböző irodalmi források is megemlítik. Az alkalmazott nagy terhelésnél ugyanis az oxigén bevitelnek olyannak kell lenni, hogy a biofilmben egyértelműen oxikus környezet alakuljon ki.

A pozitív eredményeket látva a következőkben szeretném vizsgálni a nyers szennyvíz biológiai tisztításának hatékonyságát is, ugyanis jelentős megtakarítás nem az előkezelt szennyvíz azt követő biológiai tisztításával érhető el, hanem egyértelműen a fizikai-kémiai

lépés elhagyásával. Ennek megfelelően a későbbiekben tervezem részletes költségszámítás elkészítését a vizsgált tejipari szennyvíz biológiai tisztítására vonatkozóan. A beruházási költségek még jobban visszaszoríthatók, a jelenleg vizsgált terhelés további emelésével, az üzemeltetés forrásigénye ugyanakkor az oldott oxigén koncentrációjának csökkentésével redukálható. Ezek realitását laboratóriumi körülmények között szükséges kimérni, ami a következő hónapok munkáját jelenti számomra.

Veszprém, 2014.06.18.

Irodalomjegyzék

- [1] Blackall, L.L., Ekema, G.A., Griffiths, P.C., Kárpáti Á., Kroiss, H., Limdrea K.C., Morgenroth, E., Seviour, R.J., Svardal, K., Wentzel, M.C., Vilderer, P.A. – Szerk. **Kárpáti, Á.:** Eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek és ellenőrzése, Ismeretgyűjtemény No.2, Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológiai Tanszék, Veszprém, 2002.
- [2] **Kárpáti, Á.:** A szennyvíztisztítás alapjai, ismeretgyűjtemény, Pannon Egyetem, Veszprém, 2007
- [3] 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízzennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól. Magyar Közlöny 200. szám, 2005/12. 15619-15671
- [4] **Kárpáti, Á.:** Szennyvíziszap rothasztás és komposztálás, Ismeretgyűjtemény No.6, Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, Veszprém, 2002.
- [5] **Öllös, G.:** Csatornázás – szennyvíztisztítás I.-II., Aqua Kiadó, Budapest, 1991.
- [6] Hartmann, L., Jardin, N., Kaiser, R., Schön, G.– Szerk. **Kárpáti, Á.:** A szennyvíztisztítás fejlődése a XX. Században, az eleveniszapos szennyvíztisztítás fejlesztési irányelvei, Ismeretgyűjtemény No.1, Veszprémi Egyetem Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, Veszprém, 2001.
- [7] **Benedek, P.:** Vízisztítási, szennyvíztisztítási zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1982.
- [8] **Metcalf & Eddy:** Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, revised by George Tchobanoglous and Franklin L. Burton; Third edition, McGraw-Hill Inc, USA, 1991.
- [9] **Görözd, A.:** Település vízgazdálkodás enciklopédia, Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1984.
- [10] <http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/kornykem1/szennyviz.htm> (2013.)
- [11] **Öllös, G.:** Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése I., Akadémiai Kiadó, Budapest, 1995.
- [12] BREF 2006, Integrated pollution prevention and control, Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries, August 16, 2006
- [13] **Britz, T. J., Schalkwyk, C., Hung, Y.T.,** (2006) Treatment of dairy processing wastewater, in: L.K. Wang, Y.-T. Hung, H.H. Lo, C. Yapijakis (Eds.), Waste Treatment in the Food Processing Industry, Taylor and Francis Group, New York, 2006, pp. 1–29.
- [14] **Leal, M., Freire, D., Cammarota, M., Sant' Anna Jr., G.,** (2006) Effect of enzymatic hydrolysis on anaerobic treatment of dairy wastewater, Process Biochem. 41 (5) 1173–1178.
- [15] **Demirel, B., Yenigun, O., Onay, T. T.,** (2005) Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review, Process Biochem. 40 (8) 2583–2595. Zielinski, M., Janczukowicz, W., Dezbowski, M., (2008) Biodegradability evaluation of dairy effluents originated in selected sections of dairy production, Bioresources Technology 99 (10) 4199–4205.
- [16] **Adulkar, T. V., Rathod, V. K.,** (2013) Ultrasound assisted enzymatic pre-treatment of high fat content dairy wastewater, Ultrasonics Sonochemistry

- [17] **Gadhe, A., Sonawane, S. S., Varma, M. N.,** (2014) Kinetic analysis of biohydrogen production from complex dairy wastewater under optimized condition, *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (3) 1306–1314
- Orhon, D., Gorgun, E., Germirli, F., Artan, N.** (1993) Biological treatability of dairy wastewaters. In: **Burak, D., Orhan, Y., Turgut, T.O.,** 2005. *Anaerobic Treatment of Dairy Wastewater: A Review. Process Biochem.* 40 (8) 2583–2595.
- [18] **Orhon, D., Gorgun, E., Germirli, F., Artan, N.** (1993) Biological treatability of dairy wastewaters. In: **Burak, D., Orhan, Y., Turgut, T.O.,** 2005. *Anaerobic Treatment of Dairy Wastewater: A Review. Process Biochem.* 40 (8) 2583–2595.
- [19] **Perle, M., Kimichic, S., Shelf, G.,** (1995) Some biochemical aspects of the anaerobic degradation of dairy wastewater, *Water Research* 29 (6) 1549–1554.
- [20] **Gadd J. B., Tremblay L. A., Northcott G. L.,** (2010) Steroid estrogens, conjugated estrogens and estrogenic activity in farm dairy shed effluents. *Environ Pollutant* 156 (3) 730-736.
- [21] **Arnon, S., Dahan, O., Elhanay, S., Cohen, K., Shore L. S.** (2008) Transport of testosterone and estrogen from dairy-farm waste lagoons to groundwater. *Environ Sci Technol* 42 (15) 5521–5526
- [22] **Zheng, W., Yate, S. R., Branford, S. A.** (2008) Analysis of steroid hormones in a typical dairy waste disposal system. *Environ Sci Technol* 42 (2) 530–535.
- [23] **Sarkar, B., Chakrabarti, P. P., Vijaykumar, A., Kale, V.** (2006) Wastewater treatment in dairy industries possibility of reuse, *Desalination* 195 (1-3) 141–152.
- [24] **Buntner, D., Sánchez, A., Garrido, J. M.** (2013) Feasibility of combined UASB and MBR system in dairy wastewater treatment at ambient temperatures, *Chemical Engineering Journal* 230 475–481.
- [25] **Thorasampan, W.,** (2008) Utilization of Purple Photosynthetic Bacteria with Submerged Membrane Bioreactor for dairy wastewater. Master Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand
- [26] **Kaewsuk, J., Thanuttamavong, M.,** (2007) Application of photosynthetic bacteria using for dairy wastewater treatment by submerged membrane bioreactor. *Eng. J. Kasetsart Univ.* 61 (20) 76–86.
- [27] **Farizoglu, B., Uzuner S.,** (2011) The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system, *Biochemical Engineering Journal* 57 46–54
- [28] **Gulyás, G.:** Ipari szennyvíz tisztításának laboratóriumi méretű rendszerben történő vizsgálata, Diplomadolgozat, Pannon Egyetem, Környezetmérnök Intézet, 2010.
- [29] **Gujer W., Henze M., Mino T., Matsuo T., Wentzel M. C. and Marais G. v R.** (1994) The activated sludge model No. 2: Biological phosphorus removal.
- [30] **Akca, L., et al.** (1993) A Model for Optimum Design of Activated Sludge Plants
- [31] **Barótfi, I.:** Környezettechnika kézikönyv, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2003.
- [32] **Réti, L.:** A III. szennyvíztisztítási fokozat helye, szerepe, indokoltsága a hazai és az európai uniós szennyvíztisztítási elvárásokban, MHT XIX. Vándorgyűlésén elhangzott előadás.

- [33] http://technologia.chem.elte.hu/hu/techn_lab_tanar/Deritesvizsgalat.pdf
- [34] <http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/Ipari%20%C3%A9s%20kommun%C3%A1lis%20szennyvizek%20tiszt%C3%ADt%C3%A1s.pdf>
- [35] http://technologia.chem.elte.hu/hu/techn_lab_tanar/Deritesvizsgalat.pdf
- [36] **Mizsey, P., Koczka, K., Tungler, A.:** Technológiai hulladékvizek kezelése fiziko-kémiai módszerekkel, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, Magyar Kémiai Folyóirat, Összefoglaló közlemények, 114. évfolyam, 3. szám, 2008.
- [37] http://www.korte.hu/?page_id=6&language=hu
- [38] <http://www.water-chemistry.in/2009/11/relationship-between-bod-cod-toc-and-thod/>
- [39] **Szilágyi, F.:** Ökológia mérnökök számára, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2000.
- [40] **Winkler, M.:** Optimális tápanyagarány szennyvíztisztításkor, Összefoglaló, laboratóriumi analízis és üzemi mérés technika, Hach Lange Kft, Budapest
- [41] Debreceni Egyetem, Vízelvezés és Szennyvíztisztítás, egyetemi előadásanyag (www.agr.unideb.hu/ktvbsc/dl2.php?dl=67/8_eloadas.ppt)
- [42] **Kárpáti, Á.** A szennyvíztisztítás fejlődése a XX. században, Ismeretgyűjtemény, Veszprémi Egyetem, Veszprém, 2001.

Mellékletek



M1. ábra. Az alkalmazott OMRON ZEN 10C típusú vezérlő



M2. ábra. A szennyvíz feladását és a tisztított szennyvíz elvételét biztosító perisztaltikus pumpák



M3. ábra. Az alkalmazott Lange SC1000 szabályzó egység

M1. táblázat. Eleveniszapos reaktor tisztított vizének összetétele 24 órás HRT-nél

Dátum	Jellemzők				
	pH	Homogén KOI	Szűrt KOI	Ammónium-N	Nitrát-N
	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2013.11.09	8,2	35	33	2,9	1
2013.11.10	8,1	24	24	0,3	0,2
2013.11.11	8,3	53	25	0,2	0
2013.11.12	8,4	38	27	0,5	0
2013.11.13	8,7	20	12	0,1	0
2013.11.14	8,5	72	51	0,4	0,1
2013.11.15	8,2	50	42	0,1	0,1
2013.11.18	8,3	48	31	1,4	0,2
2013.11.19	8,5	32	14	1	1
2013.11.20	8,3	35	18	1,2	0,9
2013.11.21	8,6	53	44	4,1	1,2
2013.11.22	8,5	72	35	1,4	0,9
2013.11.25	8,3	28	15	0,1	0,5
2013.11.26	8,3	25	22	0	0,1
2013.11.27	8,2	33	23	0,1	0,2
2013.11.28	8,1	23	17	0,1	0,5
2013.12.02	8,3	30	13	0,1	0,2
2013.12.03	8,4	27	12	0,1	0,3
2013.12.04	8,7	75	20	0,1	0,1
2013.12.05	8,6	60	15	0,1	0
2013.12.06	8,6	90	10	0,1	0
2013.12.09	8,4	170	130	1,5	0,2
2013.12.11	8,5	95	60	0,1	0,4
2013.12.12	8,4	100	65	0	0,3
2013.12.13	8,5	135	75	0,2	0,1
2013.12.17	8,7	71	23	0,3	0,2
2013.12.18	8,6	51	19	0,1	0,2
2013.12.19	8,5	47	30	0	0,1
2013.12.20	8,5	47	26	0,1	0,1
2013.12.21	8,5	56	29	0,2	0,1
2013.12.23	8,2	79	19	0,2	0,2
2013.12.26	8,5	36	28	0,2	0
2013.12.29	8,5	35	20	0,1	0
2014.01.02	8,6	37	19	0,1	0,1
2014.01.03	8,4	35	21	0	0,2
2014.01.06	9,2	53	21	0,1	0,2
2014.01.07	8,7	47	30	0,2	0,1

M2. táblázat. Eleveniszapos reaktor tisztított vizének összetétele 17 órás HRT-nél

Dátum	Jellemzők				
	pH	Homogén KOI	Szűrt KOI	Ammónium-N	Nitrát-N
	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2014.01.08	8,8	54	22	0,1	0,2
2014.01.09	8,6	45	27	0,1	0,3
2014.01.10	8,9	38	27	0,2	0
2014.01.11	8,7	24	19	0,2	0
2014.01.12	8,6	54	30	0,1	0,1
2014.01.13	8,3	26	22	0,1	0
2014.01.14	8,3	28	20	0,1	0,1
2014.01.15	8,4	24	17	0,2	0,4
2014.01.16	8,5	33	26	0,2	0,2
2014.01.17	8,3	33	28	0,1	0
2014.01.18	8,3	21	19	0,1	0
2014.01.19	8,5	57	26	0,1	0,2
2014.01.20	8,8	35	23	0	0,1
2014.01.21	8,4	45	38	0,1	0,1

M3. táblázat. Eleveniszapos reaktor tisztított vizének összetétele 12 órás HRT-nél

Dátum	Jellemzők				
	pH	Homogén KOI	Szűrt KOI	Ammónium-N	Nitrát-N
	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2014.01.21	8,4	45	38	0,1	0,4
2014.01.22	8,3	47	26	0	0,2
2014.01.23	8,5	28	10	0,1	0,1
2014.01.24	8,4	50	32	0,1	0
2014.01.25	8,4	29	25	0,2	0
2014.01.26	8,4	56	22	0,2	0,2
2014.01.27	8,3	41	25	0,2	0,2
2014.01.28	7,4	35	29	0,2	0,1
2014.01.30	8,3	30	26	0,1	0,2
2014.01.31	8,5	25	23	0,2	0,5
2014.02.02	8,4	27	24	0,3	0,2
2014.02.03	8,4	38	34	0,3	0,2
2014.02.04	8,4	36	33	0,3	0,3
2014.02.05	8,5	45	40	1,4	0,5
2014.02.06	8,3	63	32	0,6	0,1
2014.02.07	8,3	36	26	0,2	0
2014.02.09	8,3	32	29	0,2	0
2014.02.10	8,4	67	36	1,9	0,2
2014.02.11	8,4	29	22	0,1	0,3

M4. táblázat. Eleveniszapos reaktor tisztított vizének összetétele 6 órás HRT-nél

Dátum	Jellemzők				
	<i>pH</i>	<i>Homogén KOI</i>	<i>Szűrt KOI</i>	<i>Ammónium-N</i>	<i>Nitrát-N</i>
	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2014.02.12	8,3	51	20	0	0
2014.02.13	8,4	51	46	0,1	0,2
2014.02.14	8,6	50	33	0	0,2
2014.02.15	8,3	37	25	0	0,1
2014.02.16	8,4	41	35	0	0
2014.02.17	8,6	34	31	0	0
2014.02.18	8,5	30	25	0	0,2
2014.02.19	8,5	32	25	0	0,3
2014.02.20	8,3	45	35	0,1	0
2014.02.21	8,5	50	41	0,1	0,2
2014.02.22	8,4	35	29	0,2	0,1
2014.02.23	8,6	30	24	0,2	0,1
2014.02.24	8,5	29	23	0,2	0,2
2014.02.25	8,5	32	25	0,1	0,5
2014.02.26	8,3	34	25	0	0,2
2014.02.27	8,2	45	40	0,1	0,1
2014.02.28	8,4	35	31	0	0,5
2014.03.01	8,1	35	32	0,1	0,1
2014.03.02	8,5	51	27	0,2	0
2014.03.03	8,5	55	20	0,1	0
2014.03.04	8,4	42	35	0,1	0,2
2014.03.05	8,3	55	46	0,2	0
2014.03.06	8,4	50	42	0,2	0
2014.03.07	8,4	48	40	0,1	0,1
2014.03.08	8,2	46	36	0	0,2
2014.03.09	8,3	50	40	0	0,1
2014.03.10	8,2	41	35	0	0
2014.03.11	8,2	32	25	0,1	0
2014.03.12	8,4	35	31	0,1	0,2
2014.03.13	8,3	33	25	0	0,3
2014.03.14	8,5	38	26	0	0,1
2014.03.15	8,2	40	30	0,2	0,4
2014.03.16	8,2	52	44	0	0,2
2014.03.17	8,4	50	40	0	0

M5. táblázat. Biofilmes reaktor tisztított vizének összetétele 24 órás HRT-nél

Dátum	Jellemzők				
	<i>pH</i>	<i>Homogén KOI</i>	<i>Szűrt KOI</i>	<i>Ammónium-N</i>	<i>Nitrát-N</i>
	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2013.11.09	8,5	37	34	0,8	0,9
2013.11.10	8,3	160	90	0,3	0,5
2013.11.11	8,4	107	32	0,2	0,1
2013.11.12	8,3	98	33	0,4	0,2
2013.11.13	8,3	77	44	0,2	0
2013.11.14	8,4	153	80	0,1	0
2013.11.15	8,2	182	122	0,1	0,2
2013.11.18	8,2	240	157	0	0,1
2013.11.19	8,4	26	11	0,2	1,4
2013.11.20	8,2	32	14	0,1	0,6
2013.11.21	8,5	98	54	0,4	0
2013.11.22	8,5	68	47	0,1	0,2
2013.11.25	8,3	39	25	0,1	0,1
2013.11.26	8,4	26	21	0,1	0,4
2013.11.27	8,3	43	26	0	0,3
2013.11.28	8,3	71	28	0	0,1
2013.12.02	8,4	91	54	0,2	0,2
2013.12.03	8,5	189	91	0,1	0,2
2013.12.04	8,6	210	70	0,2	0
2013.12.05	8,5	370	10	0,1	0
2013.12.06	8,5	240	80	0,1	0
2013.12.09	8,3	310	130	0,2	0,1
2013.12.10	8,5	155	70	0,1	0,1
2013.12.11	8,5	210	130	0	0,1
2013.12.12	8,5	195	125	0,1	0,2
2013.12.13	8,5	290	145	0,5	0,3
2013.12.17	8,6	132	60		0,1
2013.12.18	8,5	111	46	0,2	0,5
2013.12.19	8,6	88	42	0,1	1
2013.12.20	8,5	124	43	0,2	0,9
2013.12.21	8,5	200	68	0,2	1,2
2013.12.23	8,3	326	91	0,2	0,2
2013.12.26	8,3	211	104	0,3	0,1
2013.12.29	8,5	175	116	0,4	0,1
2014.01.02	8,5	146	76	2,4	0,1
2014.01.03	8,4	41	22	4,8	0,2
2014.01.06	9,1	36	26	6,5	1
2014.01.07	8,7	68	28	1,8	0,9

M6. táblázat. Biofilmes reaktor tisztított vizének összetétele 19 órás HRT-nél

Dátum	Jellemzők				
	<i>pH</i>	<i>Homogén KOI</i>	<i>Szűrt KOI</i>	<i>Ammónium-N</i>	<i>Nitrát-N</i>
	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2014.01.08	8,8	71	31	0,5	0
2014.01.09	8,5	62	26	0,1	0
2014.01.10	8,7	60	28	0,4	0,2
2014.01.11	8,6	37	34	0,1	0,1
2014.01.12	8,6	28	23	0,1	0,1
2014.01.13	8,5	76	69	0,1	0,2
2014.01.14	8,4	61	54	0	0,5
2014.01.15	8,5	81	61	0,2	0,1
2014.01.16	8,5	108	58	0,2	0
2014.01.17	8,3	151	122	0,2	0,1
2014.01.18	8,5	129	85	0,1	0,4
2014.01.19	8,3	119	68	0,1	0,2
2014.01.20	8,3	104	76	0,1	0
2014.01.21	8,4	87	73	0,1	0
2014.01.22	8,2	105	88	0,1	0
2014.01.23	8,6	68	60	0,1	0,1
2014.01.24	8,5	87	48	0,1	0,2
2014.01.25	8,6	74	57	0,1	0,5
2014.01.26	8,5	101	78	0,1	0,4
2014.01.27	8,5	135	98	0,1	0,2
2014.01.28	8,5	140	109	0,1	0,1
2014.01.29	8,5	290	225	0	0
2014.01.30	8,4	229	195	0,1	0
2014.01.31	8,4	82	64	0,1	0,2
2014.02.07	8,5	21	18	0,1	0,2
2014.02.09	8,4	21	19	0,1	0,3
2014.02.10	8,5	40	27	0	0,5
2014.02.11	8,5	35	19	0	0,3

M7. táblázat. Biofilmes reaktor tisztított vizének összetétele 10 órás HRT-nél

Dátum	Jellemzők				
	pH	Homogén KOI	Szűrt KOI	Ammónium-N	Nitrát-N
	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2014.02.12	8,4	41	29	0,1	0,5
2014.02.13	8,4	56	41	0	0,4
2014.02.14	8,6	87	52	0	0,2
2014.02.15	8,5	75	59	0,1	0,1
2014.02.16	8,5	82	61	0,1	0,5
2014.02.17	8,5	85	60	0	0,2
2014.02.18	8,4	79	62	0,1	0,2
2014.02.19	8,5	74	55	0	0,4
2014.02.20	8,3	65	45	0,1	0,2
2014.02.21	8,4	80	52	0,1	0,3
2014.02.22	8,4	57	35	0,1	0,2
2014.02.23	8,3	64	41	0	0,1
2014.02.24	8,4	65	56	0,1	0,2
2014.02.25	8,6	60	50	0	0
2014.02.26	8,3	58	43	0	0,2
2014.02.27	8,4	76	40	0	0,1
2014.02.28	8,5	82	58	0,2	0,5
2014.03.01	8,5	84	40	0	0,4
2014.03.02	8,3	80	54	0	0,4
2014.03.03	8,5	76	50	0,1	0,1

M8. táblázat. Biofilmes reaktor tisztított vizének összetétele 6 órás HRT-nél

Dátum	Jellemzők				
	pH	Homogén KOI	Szűrt KOI	Ammónium-N	Nitrát-N
	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2014.03.05	8,3	64	52	0	0
2014.03.06	8,4	78	60	0,2	0,1
2014.03.07	8,4	74	50	0,2	0
2014.03.08	8,3	73	50	0,1	0,2
2014.03.09	8,5	76	52	0,1	0
2014.03.10	8,3	75	48	0,1	0,5
2014.03.11	8,2	82	47	0,1	0,4
2014.03.12	8,4	85	60	0,1	0,4
2014.03.13	8,1	54	42	0	0,2
2014.03.14	8,3	74	52	0	0
2014.03.15	8,4	59	38	0,2	0,4
2014.03.16	8,4	62	50	0	0,4
2014.03.17	8,2	78	55	0	0,3

