

Végezetül köszönetet mondok a Zorkóczy Péter igazgatónak és Lauda Ildikónak (Duna-Armatúra), valamint Vörös Ferenc feltalálónak a rendelkezésemre bocsátott anyagokért, továbbá Ferencz Juliának, aki szintén rendelkezésre bocsátotta archívuma képeit, amiből sajnos csupán töredéket lehetett e cikkben bemutatni.

Felhasznált szakanyag:

[1]Ej Picardie: Aknafedlapok ,rácsok... gyártmány és beépítési ismertető (Duna Armatura Kft)

[2]Duralevel System: Szinttartó csatornaépítések beépítési ismertető (FCSM Zrt)

[3]Ferencz Júlia felvételei (saját archívumából)

AZ ELEVENISZAP REOLÓGIAI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA AZ ISZAP PEHELY SZERKEZET ÉS ÜLEPÍTHETŐSÉG FÜGGVÉNYÉBEN

**DR. BAKOS VINCE¹, DR. GYARMATI BENJÁMIN²,
DR. LAURENT VACHOUD³, KOVÁCS RÉKA¹, CIFKA FANNI¹,
DR. CHRISTELLE WISNIEWSKI³**

¹ BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM, ALKALMAZOTT BIO-TECHNOLÓGIA ÉS ÉLELMISZER-TUDOMÁNYI TANSZÉK, 1111 BUDAPEST

² BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM, FIZIKAI KÉMIA ÉS ANYAG-TUDOMÁNYI TANSZÉK, 1111 BUDAPEST,

³ UMR QUALISUD (UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER, FACULTÉ DE PHARMACIE), (TA B95/16 – 73 RUE JEAN-FRANCOIS BRETON, 34398 MONTPELLIER CEDEX 5, FRANCE)

Kulcsszavak: eleveniszap, fonalasodás, viszkózus iszappuffadás, reológia, viszkozitás

Rövid összefoglalás

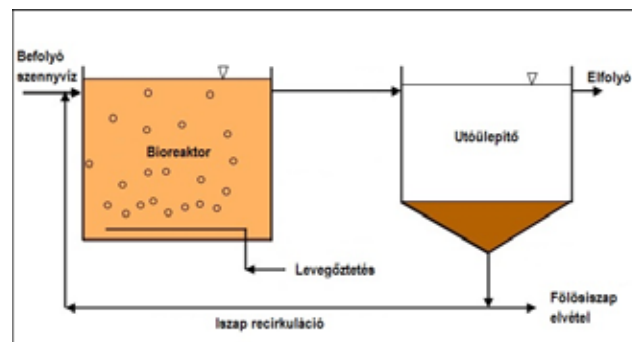
Az eleveniszap szerkezete és ülepedési tulajdonságai alapvetően meghatározzák a tisztítás hatékonyságát. A magyar-francia bilaterális projekt keretében zajló kutatás célja az volt, hogy az eleveniszap szerkezetének biotechnológiai eszközökkel történő átalakításával megvizsgáljuk, hogy a fonalas gyakoriság növekedése, valamint az extracelluláris poliszacharid túltermelés milyen hatással van az eleveniszap szuszpenzió reológiai tulajdonságaira. A kutatómunka elején standardizált mérési módszert dolgoztunk ki a reológiai tulajdonságok nyomon követésére. A kidolgo-

zott módszerrel nyomon követtünk folytonos üzemű laboratóriumi modellkísérletek során végbemenő iszap pehely szerkezet változásokat, valamint nagyüzemi tisztító telepekről származó minták reológiai méréseit is elvégeztük. Az eredmények arra utaltak, hogy a vizsgált iszap szerkezet változások a viszkozitás és a konzisztencia növekedését eredményezték, az iszapszerkezet romlásával egyre komplexebb anyagösszetétel áll elő. Viszkózus iszappuffadás esetén az oxigénátadás hatékonyságának egyértelmű csökkenése volt kimutatható.

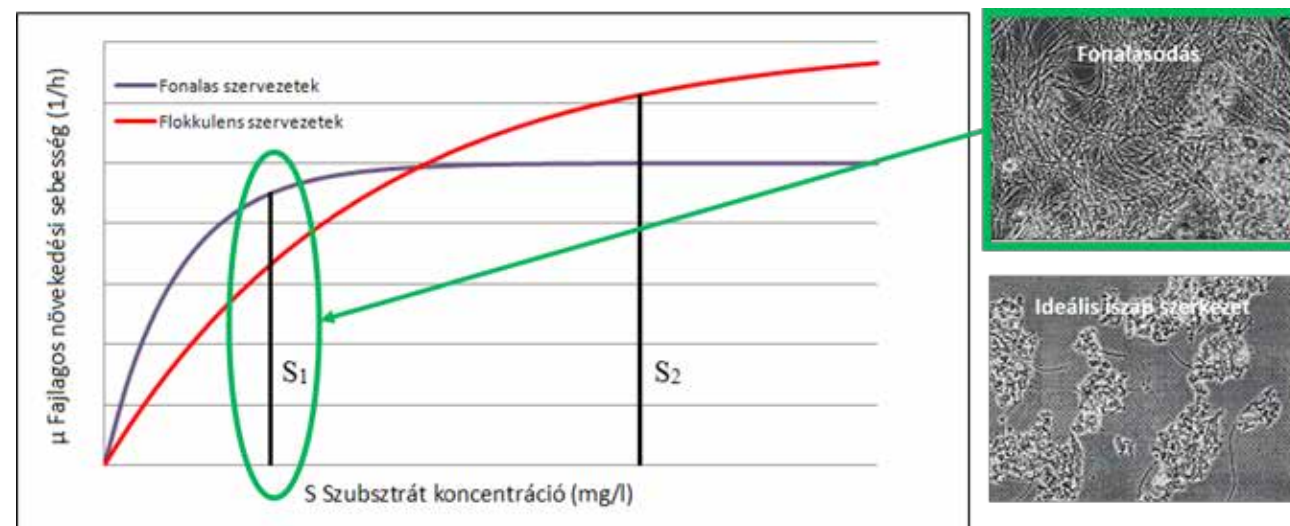
Bevezetés, a kutatás célja

Az eleveniszapos technológia (lásd 1. ábra) hatékonyságát alapvetően meghatározza a tisztított szennyvíz lebegőanyag tartalma, ami nagymértékben függ az utóülepítőben leválasztott eleveniszap ülepíthetőségétől és szűrőkapacitásától.

A befolyó szennyvízminőség, a bioreaktor elrendezés és az üzemeltetési körülmények meghatá-



1. ábra. Az eleveniszapos technológia egyszerűsített folyamatábrája

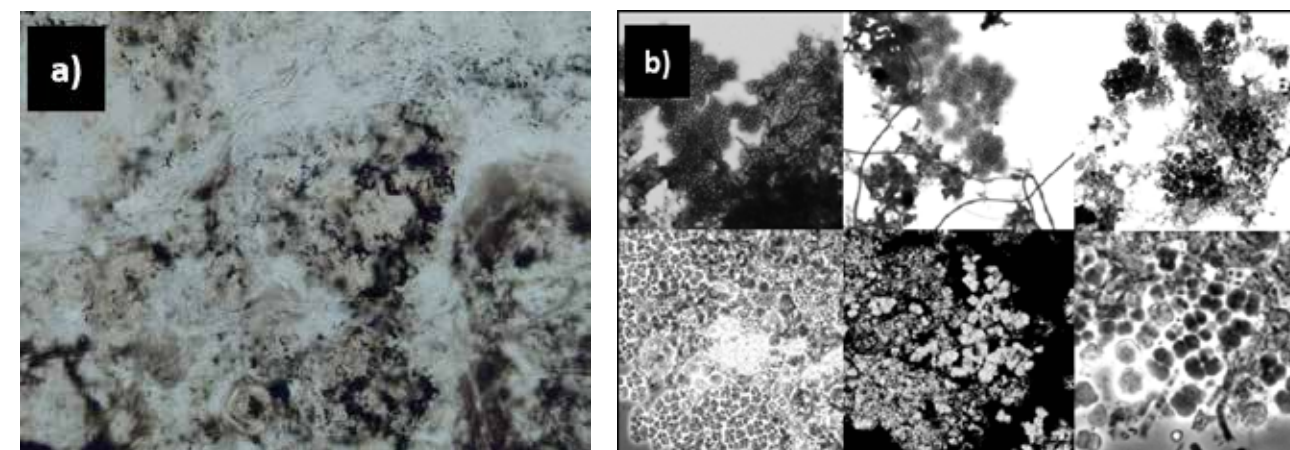


2. ábra. A flokkulensek és fonalások növekedési kinetikája a szubsztrát koncentráció függvényében (Chudoba et al., 1973, mikroszkópos képek: Jenkins et al., 2004)

rozóak az eleveniszap szerkezet kialakulásában. Gyakori, a 2-3. ábrákon szemléltetett, az ülepíthetőség jelentős romlását eredményező problémák a fonalások túszaporodása, ill. a viszkózus iszappuffadás (Wanner et Jobbágy, 2014). Előbbi kialakulhat tagolatlan rendszerekben, ún. low DO – low S körülmények között (Chudoba et al., 1973, Wanner et al. 2001., Jobbágy et al., 2015), ugyanakkor szelektorok megfelelő alkalmazásával ideális iszapszerkezet érhető el (ld. 2. ábra).

A viszkózus iszappuffadás a tápanyaghiányos szennyvizeket (pl. borászati szennyvizek) tisztító hagyományos – pót N és P forrásokat adagoló teljesen aerob - rendszerek tipikus problémája, ami az ún. extracelluláris poliszacharidok (EPS: extracellular polysaccharide) túlzott felhalmozódásaként jelentkezik (lásd. 3. ábra). A súlyos probléma megelőzhető a glikogén akkumuláló szervezetek (GAO: Glycogen Accumulating Organisms) felszaporí-

tásával, amihez azonban anaerob szelektorok alkalmazása szükséges (Jobbágy et al., 2002; Kiss et al., 2011).



3. ábra. a) Túlzott mennyiségű extracelluláris poliszacharidot tartalmazó eleveniszap minta mikroszkópos képe tussal való festést követően (200-szoros nagyítás, saját felvétel) b) Glikogén akkumuláló mikroorganizmusok (GAO: Glycogen Accumulating Organisms) telepei anaerob szelektorok alkalmazása esetében (200-, 400-, és 1000-szeres nagyítások, Kiss et al., 2011)

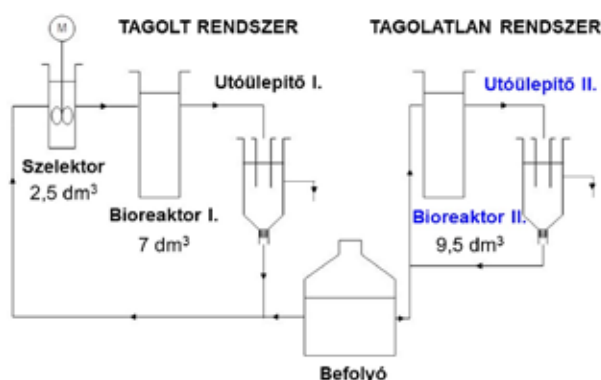
Ezek a nemkívánatos iszap szerkezet változások az elfolyó szennyvízminőség és az üzembiztonság veszélyeztetése mellett, a szuszpenzió folyási tulajdonságait is befolyásolhatják, csakúgy, mint az oxigén átadás hatékonyságát és a szivattyúk energia felvételét (Seyssiecq et al., 2003, Estiaghi et al., 2013). A magyar-francia kétoldalú együttműködésben zajló kutatás célja az volt, hogy az eleveniszap szerkezet és ülepíthetőség, valamint a reológiai tulajdonságok között összefüggéseket keressünk és tárjunk fel annak érdekében, hogy a reológiai vizsgálatok eredményei

hasznos indikátorokként szolgáljanak az iszap-szerkezet alakulását illetően, és jó eszközként felhasználhatóak legyenek költségkímélő nagyüzemi rendszerek tervezésében és üzemeltetésében.

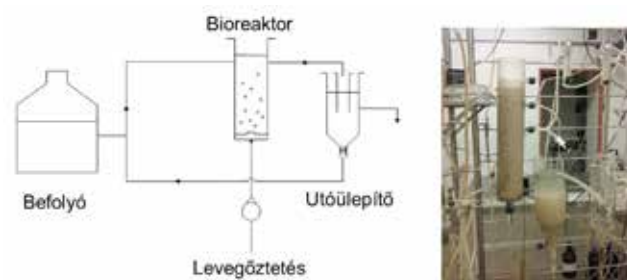
Kutatási koncepció, alkalmazott módszerek

A célok eléréséhez a biotechnológia eszközeivel, folytonos üzemű laboratóriumi modell-kísérletekben különböző eleveniszap pehelyszerkezeteket alakítottunk ki, a fonalassodást, ill. a viszkózus iszappuffadást szándékosan

előidézve. Emellett nagyüzemi szennyvíztisztító telepekről vett eleveniszap mintákat is vizsgáltunk. A kísérletekből, valamint a nagyüzemi rendszerekből származó minták reológiai tulajdonságait követtük nyomon. Összesen három többhetes laboratóriumi modellkísérletet végeztünk (2015. október-november, 2016. március-április, valamint 2017. év folyamán). A reológiai mérések standardizálását 2015. év őszén végeztük el egységes mérési protokoll kidolgozásával. Ennek felhasználásával végeztük a reológiai nyomon követést 2016-17. folyamán. Jelen közleményünkben a 2015-2016. évben végzett kísérleteket és kapott eredményeket mutatjuk be. A 2015 őszén, valamint 2016 tavaszán üzemeltetett laboratóriumi modellrendszerek sematikus rajzát a **4. és 5. ábrák** szemléltetik.



4. ábra. A 2015 őszén összeállított modell berendezések technológiai elrendezési rajza



5. ábra. A 2016 tavaszán összeállított modell berendezés technológiai elrendezési rajza és fényképe

A 2015. ősszel végzett kísérlet során elsődleges cél egy egységes reológiai mérési módszer kidolgozása volt. A kidolgozott módszerrel a **4. ábrán** bemutatott tagolt és tagolatlan modellrendszerekben kialakult iszapszerkezetek, valamint nagyüzemi tisztítótelepekről származó iszapminták reológiai tulajdonságait mértük.

A 2016. évi kísérlet során egy rendszert üzemeltettünk, amelynek egyetlen aerob bioreaktor tere 9,5 l hasznos térfogatú volt (HRT (hidraulikai tartózkodási idő) = 19 h, SRT (iszapkor) = 23 d). A kísérleti rendszerbe folytonos betáplálással tápanyaghiányos műszennyvizet adagoltunk, amely kristálycukrot, Na-acetátot, féltédes fehér bort, ammónium-kloridot, di-kálium-hidrogén-foszfátot és Ca-, valamint Mg-sókat tartalmazott (Bakos et al., 2016). Célunk az volt, hogy a kísérletindításkor a reaktorba töltött, nagyüzemi telepről származó jól ülepihető iszap pehely szerkezetét fokozatosan a rossz ülepihetőség irányába módosítsuk, extracelluláris poliszacharid túlzott felhalmozódásának előidézésével.

Nyomon követtük a befolyó és az elfolyó szennyvíz pH-ját, KOI, NH₄N, NO₃N és PO₄P koncentrációját, a hőmérsékletet, a biomasz-

szá koncentrációt és ülepedési indexet (hígítatlanul és hígítva egyaránt – SVI és DSVI), mikroszkópos vizsgálatokkal (Olympus CX41) pedig az iszap pehely szerkezetének változását. A reológiai méréseket Anton Paar Physica MCR 301 típusú mérőműszerrel végeztük el PP50/S lap-lap mérőfej alkalmazásával rotációs üzemmódban, 2 mm mérési réstávolsággal. A vizsgált eleveniszap minta koncentrációját a mérések előtt egységesen 3,5 g/l értékre állítottuk. A mért látszólagos viszkozitási adatokat pedig a 0,1 – 100 s⁻¹ nyírási sebesség tartományon értékeltük ki, és a reológiai görbékből (nyírási sebesség vs. viszkozitás) meghatároztuk a vizsgált szuszpenziók konzisztencia együtthatóját (K, [Pa.sⁿ]), valamint folyási indexét (n, [-]) az Ostwald hatvány összefüggés felhasználásával (ld. 1. egyenlet, Khongnakorn et al., 2010).

$$\eta = K \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)}$$

1. egyenlet

ahol:

η : viszkozitás [Pa.s]

K : konzisztencia koefficiens [Pa.sⁿ]

$\dot{\gamma}$: nyírási sebesség [1/s]

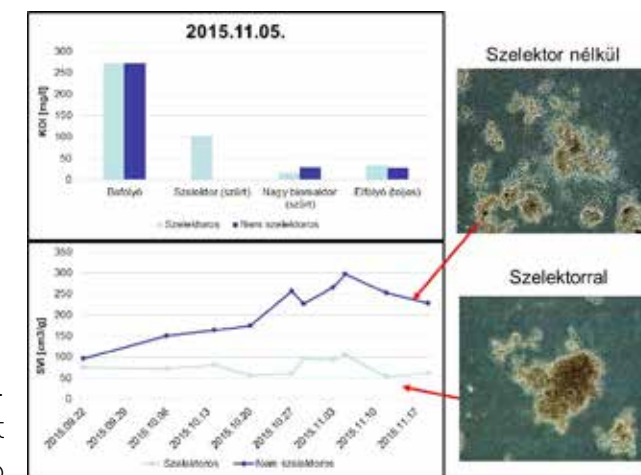
n : folyási index [-]

Eredmények

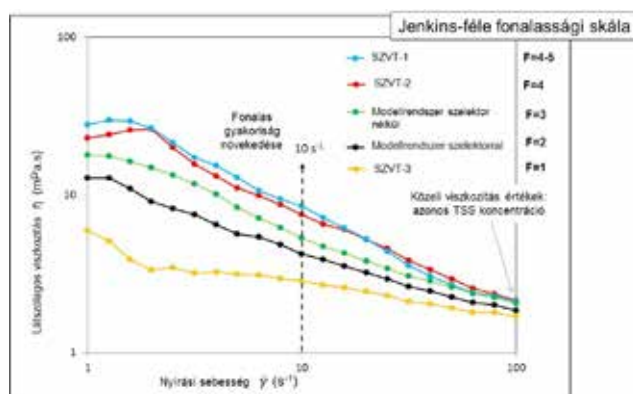
Amint azt a **6. ábrán** szemléltettük, a 2015. október-novemberben végrehajtott kísérlet során a megfelelő szubsztrát koncentráció profilok kialakításával a szelektoros modellrendszerben ideális közeli, a szelektor nélküli, tagolatlan rendszerben nagy fonalas gyakorisággal jellemezhető iszap szerkezet alakult

ki. Az azonos eleveniszappal elindított modellrendszerek biomasszájának ülepihetősége közel két hónap elteltével nagymértékben különbözött, míg az iszap ülepedési index a szelektoros rendszer esetében stabilan alacsony maradt, addig a tagolatlan rendszeré 250 cm³/g fölé emelkedve igen rossz ülepihetőséget mutatott.

A kísérlet ideje alatt sikerült egységes reológiai mérési módszert kidolgozni, amellyel a modellrendszerek kialakult iszap szerkezetének vizsgálata lehetővé vált. Emellett további, nagyüzemi szennyvíztisztító telepekről származó, különböző fonalas gyakorisággal jellemezhető eleveniszap mintákat is megvizsgáltunk. A reológiai mérések eredményeit a **7. ábra** mutatja be. Az eredmények arra utalnak, hogy nagyobb fonalas gyakoriság mellett azonos nyírási sebességhez nagyobb viszkozitás tartozik, ám ennek megerősítésére további vizsgálatokat tervezünk.

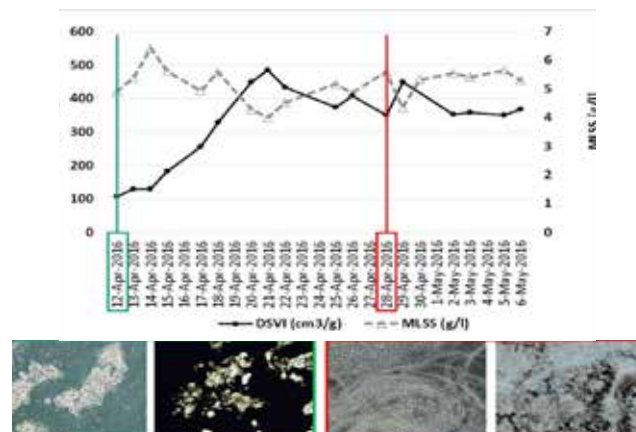


6. ábra. A 2015 őszén zajló modellkísérlet szubsztrát koncentráció profiljai, a modellrendszerek biomaszájának ülepedési indexe és szerkezetének mikroszkópos képe.

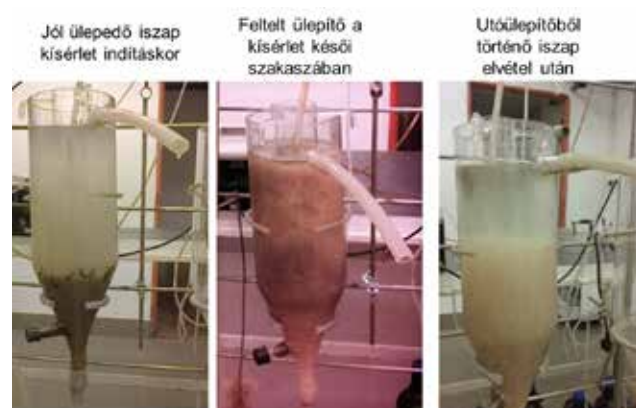


7. ábra. A kísérleti modellrendszerek biomasszájának, valamint a nagyüzemi tisztítótelepekről származó eleveniszap minták reológiai görbéi 2015 őszén (Jenkins-féle fonalassági skála: 0 – nincs a mintában fonalas, 6 – túlzott fonalas gyakoriság, teljes elfonalasodás, Jenkins et al., 2004)

A 2016 tavaszán végzett kísérlet során az ülepedés gyors és drasztikus leromlása volt tapasztalható, amint azt a **8. ábra** iszap ülepedési index diagramja és az egyes időpontokhoz tartozó mikroszkópos felvételek is szemléltetik. A mikroszkópos vizsgálatok azt mutatták, hogy a kísérlet első felében a biomassza jelentősen elfonalasodott. Emellett azonban egyértelműen észlelhető volt az extracelluláris poliszacharid mennyiségének növekedése is, azaz a fonalasodás és a sejten kívüli poliszacharid felhalmozódás egyszerre jelentkezett. A **9. ábra** utóülepítőről készített felvételei is alátámasztják a jelentős ülepedés romlást. A kísérlet utolsó hetében folyamatos iszapelúszás volt tapasztalható, amit az utóülepítő aljáról történő iszapelvétellel (és reaktorba történő visszajuttatással) lehetett csak időszakosan mérsékelni.



8. ábra. A hígított iszap ülepedési index (DSVI: Diluted Sludge Volume Index), az iszapkoncentráció (MLSS: Mixed Liquor Suspended Solids), és az iszap pehely szerkezet alakulása a 2016. évben, tápanyaghiányos befolyó szennyvízzel végzett modellkísérlet során. (A mikroszkópos képek 200-szoros nagyításban készültek, natív és tussal festett mintákból egyaránt.)



9. ábra. Az utóülepítőről készült felvételek a kísérlet elején és annak késői szakaszában

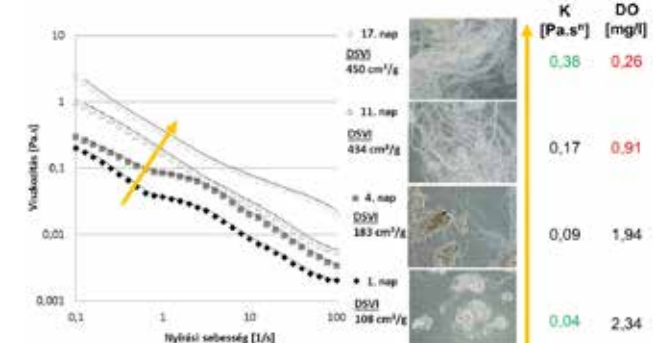
A reológiai vizsgálatok azt mutatták, hogy a viszkozitás és a konzisztencia is jelentősen növekedett a kísérlet előrehaladása során (**lásd. 10. ábra**). Az oldott oxigén koncentráció (DO):

Dissolved Oxygen) pedig nagymértékben csökkent a levegőztetett reaktorban azonos légbefúvás mellett. Valószínűsíthető, hogy az egyre viszkózusabbá váló szuszpenzióban az oxigén átadás hatékonysága nagymértékben csökkent. Az oxigénbevitel hatékonyságát az is visszavethette, hogy a diffúzor felületére – a rendszeres tisztítás ellenére – a pórusokat eltömő szerves polimerek rakódtak le, így a levegő csak nagyobb buborékok formájában lépett be a reaktortérbe, ami a reaktor felszínén jól látható buzgárokat is okozott.

Következtetések

A többhetes folytonos üzemű modellkísérlet eredményei igazolták, hogy bioreaktor tagolással a flokkulensek növekedési előnybe hozhatók és jól ülepedő, ideális iszapszerkezet érhető el. A reaktor tagolása nélkül a fonalas gyakoriság túlzott mértékűvé válhat, ülepedési problémákat eredményezve. Standardizált mérési módszert dolgoztunk ki az eleveniszap reológiai tulajdonságainak vizsgálatára. A különböző fonalasságú – és különböző helyről származó – eleveniszap mintákon végzett reológiai mérések arra utaltak, hogy nagyobb fonalassághoz nagyobb viszkozitás tartozik. Ennek megerősítése azonban további vizsgálatokat igényel.

Tápanyaghiány esetén teljesen aerob rendszerben az iszap ülepedése gyorsan és drasztikusan leromlott, kb. 10 nap alatt ülepíthetlenné vált. A N és P hiányos borászati műszennyvízzel végzett kísérlet során az iszapszerkezet romlásával a reológiai mérések egyre komplexebb anyagösszetétel irányába tartó változásokra utaltak. Miután ebben az esetben a fonalasodás és a viszkózus iszap-puffadás egyszerre jelentkezett, a hatások egyértelmű feltárására további kísérleteket folytatunk 2017-ben, melyeknek eredményeit cikkünk II. részében ismertetni fogjuk. Az eddig elvégzett kísérletek és mérések eredményei arra utalnak, hogy az eleveniszap szerkezetének és reológiai tulajdonságainak fontos hatása van az oxigén átadásra, az energia felvételre, és a szennyezőanyagok eltávolításának hatékonyságára.



10. ábra. Az iszap szerkezet és a reológiai tulajdonságok változása a 2016 tavaszán végzett kísérlet során

A fonalasok és az extracelluláris poliszacharidok együttes túlzott jelenléte miatt nem vált egyértelművé, hogy a megnövekedő viszkozitást és konzisztenciát melyik típusú iszap pehely szerkezet változás okozza, ill. melyik milyen mértékben felelős érte. Ennek egyértelmű felderítésére zajlanak további kísérletek 2017-ben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás eredményei a TÉT_14_FR-1-2015-0033 sz. Magyar-Francia Kétoldalú Tudományos és Technológiai Együttműködés keretében jöhetnek létre a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal, valamint a Campus France anyagi támogatásával. Köszönet Dr. Jobbágy Andrea c. egyetemi tanárnak, a BME ABÉT Szennyvíztisztítási biotechnológiák kutatócsoport vezetőjének, hogy építhettünk a kialakított berendezés parkra, kifejlesztett kísérleti technikára és az átadott széleskörű tapasztalatokra; és Dr. Szilágyi András egyetemi docensnek, a BME FKAT kutatócsoport vezetőjének, hogy rendelkezésünkre bocsátotta a reológiai vizsgálatok helyszínéül szolgáló laboratóriumot és a mérőberendezést.

Irodalomjegyzék

Bakos, V., Kiss, B., Jobbágy, A. (2016): Problems and causes of marginal nutrient availability in winery wastewater treatment. *Acta Alimentaria*, 45(4), 532–541.

Chudoba, J., Grau, P., and Ottová, V. (1973): Control of activated sludge filamentous bulking – II. Selection of microorganisms by means of selector. *Water Research*, 7, 1389–1406.

Eshtiaghi, N., Markis, F., Yap, S.D., Baudez, J-C., Slatter, P. (2013): Rheological characterization of municipal sludge: a review. *Water Research*, 47, 5493–5510.

Jenkins, D., Richard, M.G., Daigger, G.T. (2004): *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*. 3rd edition., CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, US.

Jobbágy, A., Literáthy, B., Tardy, G. M. (2002). Implementation of glycogen accumulating bacteria in treating nutrient-deficient wastewater. *Water Science and Technology*, 46(1-2), 185–190.

Jobbágy, A., Weinpel, T., Bakos, V., Vánkos, Zs. (2015): Factors potentially converting non-aerated selectors into „low-S – low-DO basins”, effects of seal-covering. 12th IWA Specialised Conference on LWWTPs, 6–9 Sept., 2015, Prague, Czech Republic. Proc. 149–155.

Khongnakorn, W., Mori, M., Vachoud, L., Delalande, M., Wisniewski, C. (2010): Rheological properties of SMBR sludge under unsteady state conditions. *Desalination*, 250(2), 824–828.

Kiss, B., Bakos, V., Liu, W.T., Jobbágy, A. (2011): Full-scale use of glycogen-accumulating organisms for excess biological carbon removal, *Water Environment Research*, 83(9), 855–864.

Seyssiecq, I., Ferrasse, J-H., Roche, N. (2003): State-of-the-art: rheological characterization of wastewater treatment sludge. *Biochemical Engineering Journal*, 16, 41–56.

Wanner, J., Ruzicková, I., Krhutková, O. (2001): Biológiai habok az eleveniszapos telepen- okok, problémák, megoldások, *MaSzeSz HÍRCSATORNA*, január-február, pp.4–9. Budapest.

Wanner, J. and Jobbágy, A. (2014): Activated sludge solids separations. Jenkins, D. and Wanner, J. [Eds.] in *Activated sludge – 100 years and counting*, IWA Publishing, Glasgow, UK:171–193.

Vevőközpontúság – Minőség – Innováció a Víziparban

Hagyományos korszerűség" 1989-óta gyártás és innovatív termékfejlesztés
Magyarországon, Szentendrén

