

HAGYOMÁNYOS ELEVENISZAPOS SZENNYVÍZTISZTÍTÁS BŐVÍTÉSE ULTRASZŰRŐS ISZAPSZEPARÁCIÓVAL - ISMERETANYAG ÁTTEKINTŐ

DR. KÁRPÁTI ÁRPÁD

PHD. EGYETEMI DOCENS

PANNON EGYETEM, KÖRNYEZETMÉRNÖKI INTÉZET

Kulcsszavak: eleveniszapos szennyvíztisztítás, membrán bioreaktor, ultraszűrés, anoxikus/oxikus (MLE) kiépítésű szennyvíztisztítás, Hyunday kiépítés, UCT kialakítás, lépcsős táplálású rendszerek, membrámszűrés áttételes hatásai

Összefoglalás

Napjainkban a membrán bioreaktor (MBR) a szennyvíztisztításban nagyon korszerűnek tűnő megnevezés. Az ilyen rendszerek egy hagyományos eleveniszapos bioreaktorból, és az ahhoz valamiképpen kapcsolódó, utóülepítést helyettesítő ultraszűrő membrán egységből állnak. Az ultraszűrő lehetővé teszi, hogy a gravitációs utóülepítőshöz képest a bioreaktor iszapkoncentrációja 3-4-szeresére növelhető legyen. Természetesen az utóülepítésnek, s az ultraszűrésnek is szükségszerűen jelentkeznek a bioreaktorra gyakorolt hatásai, üzemeltetési következményei. Az ülepítésnél ez az iszap szűrőhatása, valamint sűrűsödése, az ultraszűrésnél a permeabilitás változása, csökkenése a felületen kialakuló iszap, valamint az iszap rétegszűrését rontó komponensei koncentrációjának a növekedésével. Hogy az

ultraszűrővel történő iszapszeparáció milyen változásokat okoz az eleveniszapban, s azok milyen módosításokat igényelnek a nitrogén és foszfor tápanyagok eltávolítása gyakorlatában, kialakításában, üzemeltetésében, ritkán magyarázzák a túlzottan általános berendezés leírások. A biológiai részletek pontosabb megismerése érdekében összegyűjtött alábbi rövid ismeretanyag az Olvasó ilyen irányú ismereteit próbálja kibővíteni.

Bevezetés

Az eleveniszapos szennyvíztisztítóknak a mára kialakult egy, kettő, vagy három különböző környezetet is biztosító, folyamatos betáplálású (átfolyású), és iszaprecirkulációjú változatait napjainkban a hagyományos eleveniszapo-

pos megnevezéssel (Conventional Activated Sludge – CAS) illetjük. A szakaszos betáplálású rendszerekben (SBR) a mikroorganizmusok váltakozó környezetigényét a betáplálás és levegőztetés, és velük együtt az utóülepítés ciklizálása biztosítja. Ezeknél az iszap ciklikus ülepítése is a reaktortérben történik. Ettől függetlenül eleveniszapjuk minőségében a hagyományos eleveniszapos rendszerekével megegyező, így gyakorlatilag hagyományos eleveniszapos tisztításnak tekinthetők. A biofilmes tisztítókat (BF) a biofilmjük eleveniszaposétól jelentősen eltérő oxigénellátottsága, munkája, összetételbeni rendezettsége miatt külön megnevezés illeti. Mindkét változatuknál (rögzített -fixed film-, vagy mozgó biofilm), de különösen a mozgó biofilmes megoldásoknál (Moving Bed Bioreactor – MBBR) a biofilm mellett jelentős mennyiségű lebegő iszap is részt vesz a tápanyagok eltávolításában. A lebegő iszap és a biofilm lebegő iszap – hibrid rendszerek - ultraszűréssel és lebegő iszap recirkulációval történő összekapcsolása ma még hiányzik a palettáról. Ezeknél a biofilm hordozót szükségszerűen még egy mechanikai szűréssel kell visszatartani a biofilmes reaktortérben, hogy ne zavarja az iszap szeparációját.

A fél mikron alatti résméretű ultraszűrő membrán beépítése a hagyományos, folyamatos betáplálású eleveniszapos tisztításba, a gravitációs utóülepítés helyére, kezdetben talán csak az iszapszeparációt kívánta egyszerűbbé, hatékonyabbá tenni. Ez természetesen a tisztított víz minőségében is jelentős javulást eredményezett. Hamarosan kiderült azonban,

hogy hatása nem csak az ilyen rendszerekben kialakítható iszapkoncentrációra van, hanem magát az iszapot, annak szerkezetét, összetételét is alapvetően befolyásolja. A levegőztető kis iszapkoncentrációja mellett kialakuló pelyhes iszap az MBR-ben egy sokkal finomabb szerkezetű, szinte teljesen homogén fázissá alakult. Mivel a szűrés a medencetérből sok-sok vékony, szűrőblokkba függőlegesen rögzített szűrő csövecské belső terében történik, a külső felületükön kialakuló, koncentrálnódó szűrőréteg folyamatos eltávolításáról is gondoskodni kell, hogy a szűrőmembránok visszamosására ne legyen túl gyakran szükség. Ezt a membránok körüli folyadéktér alsó levegőbevitellel történő folyamatos mozgatásával, folyadékcseréje biztosítja. Ez részben módosítja a medencekialakítást, esetleg szeparált szűrőtér és megfelelő iszaprecirkuláció kialakítását teszi szükségessé. Elengedhetetlen az is, hogy az iszap összetételét, szerkezetét kedvezőbbé tegye a technológia a membrán eltömődésének a minimalizálása érdekében. Ezt az iszapban elszaporodó, kedvezőtlen szűrést eredményező mikroorganizmusok illetőleg extracelluláris mikrobiális termékek részarányának a visszaszorításával lehet elérni.

A két, funkciójában alapvetően eltérő egység tervezése is szükségszerűen részben egymástól függetlenül történik, azonban elengedhetetlen, hogy a kölcsönhatásaikat is megfelelően ismerjük, pontosítsuk, figyelembe vegyük. Ennek megfelelően az MBR technológia részletezése előtt a hagyományos eleveniszapos rendszer főbb jellemzőit veszem sorra röviden.

Hagyományos eleveniszapos szennyvíztisztítás gravitációs utóülepítéssel

Valamennyi fent említett szennyvíztisztító típusnál a tisztítóba érkező szennyvíz homokfogás, majd előülepítést követően, vagy esetleg az utóbbi nélkül kerül a biológiai tisztítási lépcsőre. Az előülepítő a gyorsan ülepedő lebegő részeket távolítja el, s azokkal a biológiai terhelés jelentős részét is, csökkentve ez által a biológiai lépcső bontható szerves anyag és iszapterhelését. A szennyvíz szerves anyagait, redukált és oxidált nitrogénformáit és foszfát tartalmát ezután a lebegő, vagy biofilmben rögzült mikroorganizmusok együttese (kevert iszapkultúra) immobilizálja, alakítja szennyvíziszappá (folyamatosan megújuló sejtjeivé és elhaló maradványukká valamint extracelluláris poliszacharid termékévé), miközben a szerves széntartalom mintegy felét széndioxiddá oxidálja.

Az ülepített eleveniszapnak a döntő része ugyanakkor az utóülepítő recirkulációs eleveniszapos rendszer 1914 évi első szabadalmaztatása óta visszakerül a tisztítás elejére biztosítva a folyamatos mikrobiális beoltást a friss szennyvíz tisztítására. A keletkező iszapfázis (fölösizap) C:N:P aránya a tisztítóban kialakuló iszapkortól, s magától a rendszerkialakítástól is függ, de elég pontosan behatárolható. Az eleveniszapos rendszerek ilyen munkáját, teljesítményét biztosító kiépítés a ma már általánosan használt, anaerob, anoxikus és oxikus medenceterek kombinációja (-A/O vagy A2/O technológiák – Kárpáti et al., 2014).

A tisztításnál keletkező iszapfázis (fölösizap) utóülepítés után fenékiszapként távolítható el a rendszerből. Az ülepítés hatékonysága (lebegőanyag eltávolítás és sűrítés) az iszap-pelyhek flokkulációjától, kialakuló pehelyszerkezetétől függ. Ez részben a vízfázis szűrését, részben az iszapfázis sűrűsödését biztosítja. Javítására esetenként koagulánsokat, flokkulánsokat kell adagolni az iszapos vízhez az ülepítés előtt. Az így ülepített tisztított szennyvíz utószűrésére (homokszűrés) ritkán van szükség, így az általában nem is kerül kiépítésre.

Az SBR tisztítás időben ciklizálja a hagyományos eleveniszapos reaktorsoron kialakított műveleteket, az anaerob/anoxikus/oxikus környezetet, valamint az iszapszeparációt is. Ez eleve biztosítja az iszap visszaoltását. A biológiai tisztítások fölösizapjai (szekunder iszap) mechanikai elővíztelenítés után az előülepítő gravitációsan elősűrített iszapjával (primer iszap) együtt rendszerint anaerob iszaprot-hasztásra kerülnek energiatartalmuk egy részének hasznosítása, illetőleg mennyiségük csökkentése érdekében.

A biofilmes rendszereknél kisebb az „iszapterhelés”, s így a filmből leszakadó iszapphozam is. Ettől függetlenül a víz által lemosott „fölösizapot” az ilyen rendszereknél is vissza kell tartani a tisztított vízből, amire ugyancsak az utóülepítés szolgálhat. Az integrált eleveniszapos – biofilmes tisztításnál (IFAS) a keletkező fölösizap részben a lebegve növekvő,

szaporodó mikroorganizmusokból, részben a leszakadó biofilm részekből áll. A mozgó biofilm hordozókat (MBBR) szükségszerűen az utóülepítés előtt ki kell szűrni az iszapos vízből egy megelőző durvább szűréssel. Nagy biofilm hányad esetén nem is mindig szükséges az utóülepítőből iszapot visszaforgatni.

Megjegyzendő, hogy hagyományos eleveniszapos tisztítók korábban oxidációs árkos kialakítással is nagy számban készültek az olcsóbb kiépítési költség miatt. A tápanyagbevitel és a levegőztetés terület menti váltakozó kialakítása eredményezett tisztább elfolyóvizet ezeknél is. Ma már lényegesen mélyebbek az ilyen elvű egységek, sőt belső „holt terek” kialakításával a foszforeltávolítás hatékonysága is fokozható lett azokban. Mindegyiknél szükségszerű azonban az utóülepítés, valamint az iszap recirkulációja, az így kialakított térben ciklikus eleveniszapos tisztításnál.

A fenti hagyományos eleveniszapos tisztítók egyszerűek és széles körben alkalmazottak ugyan a szennyvíz szennyezőinek eltávolítására, azonban az ülepítéssel számos problémájuk is jelentkezik:

- Az utóülepítés a kisméretű partikuláris anyagok, a szabadon úszó egyedi sejtek és makromolekulák eltávolításában korlátozott hatékonyságú. Ez esetenként jelentős tisztított víz szennyezettséget eredményezhet. Az időszakosan változó

hidraulikai és biológiai terhelés jelentős romlást okozhat az iszap flokkulációjában és sűrűsödésében. A fonalasodás okozta rosszabb flokkuláció és ülepedés ugyanakkor jobb iszapszűrő hatást biztosít. Ezeket a hatásokat, pontosabban azok előidézőit a gyakorlat fonalasodás, iszapduzzadás, iszaphabzás néven ismeri, s a tisztítás hatékonysága tekintetében nagyon kritikusnak tartja.

- A hagyományos eleveniszapos tisztítók utóülepítőit jól ülepedő iszapra tervezik. Jól ülepedő iszap kialakulása viszont nagymértékű szerves anyag mineralizációt, túlzott mértékű lebontást (oxidációt), túlzott mennyiségű iszaptömeget, s ahhoz iszaptérfogatot igényel, ami a beruházási költségeket, és az amortizációt jelentősen növeli. Elvileg a tisztítás kisebb térfogatban is megoldható, ha az utóülepítés gyorsabb lenne, és sűrűbb iszapot termelne.

Utóülepítés kiváltása iszapszűréssel - MBR technológia

A felsorolt problémák valamelyest csökkenthetők a gravitációs utóülepítés ultraszűrésre történő cseréjével. Ehhez persze a szűrők megfelelő finomítására, kialakítására volt szükség. Olyan szűrőket kellett kialakítani, melyek a megfelelően kis részméret mellett nagy szűrőfelülettel rendelkeznek. Ezen túl olyan kialakításuk, amely a szűrt iszaprészt

visszaöblítés nélküli hosszabb távú eltávolítását is biztosítják a szűrőfelületről (ritka vízszamosási igény). Alapvető természetesen, hogy a szűrőmembrán az iszap mindenkor jellemzőitől függetlenül képes legyen olyan szűrésre, amely a befogadókra előírt minőségi követelményeket teljesíti. Mindezekkel a mai ultraszűrők folyamatos iszapsűrítést, iszap visszatartást is biztosítanak a tisztító reaktortérben. Az ilyen szűrést sok-sok vékony membráncső megfelelő párhuzamos összekapcsolásával, kötegelésével sikerült biztosítani. Üzemeltetésük részletes ismertetésére napjainkig számos áttekintő könyvkiadvány is vállalkozott (Brepols, C., 2011; Judd and Judd, 2011; WEF, 2011; Park, H. D. et al., 2015; Yoon, S. H., 2016).

A korábbiakban említett utóülepítő limitációt az ilyen szűrés ma már megszünteti. A szűrő térfogatigénye kisebb lévén, a térfogat és alapterület igény is csökken, ami költségcsökkentő hatású. Hasonlóan csökken a levegőztető és összes iszapterfogat, vagy tömeg is, hiszen az iszapkoncentráció három-négyszeresére is nő a rendszerben. Sajnos ezzel szemben a szűrő ára jelentős költségnövelő tétel. Ezen túl az is bebizonyosodott, hogy a membránszeparáció és a biológiai folyamatok, pontosabban a kialakuló iszap szerkezete között is jelentős kapcsolat van. Végül is az iszapkoncentráció csak mérsékelten növelhető, hogy a membrán megfelelő permeabilitással üzemelhessen. A relatív iszapterhelésnek az MBR-ban kisebbnek kell lennie, mint a hagyományos eleveniszapnál, hogy ne okozzon a keletkező iszap túlzott membrán eltömődést,

s azzal jelentősen kisebb permeabilitást, teljesítmény csökkenést. Ennek biztosítása érdekében a három-négyszeres iszapkoncentráció ellenére a levegőztetőmedence térfogata csak általában 25-50 %-al csökkenthető az MBR esetén, a hagyományos utóülepítő CAS rendszerekéhez képest. Egyidejűleg a hagyományos előülepítőket is célszerű kiváltani az MBR rendszerekénél 0,5-3 mm résméretű előszűréssel. Mindezekkel összességében 50-70 %-os alapterület igény csökkenés lehetséges a CAS rendszerekéhez képest. Az MBR megoldás így kevesebb iszapot is termel, mint a CAS, a kisebb iszapterhelés és nagyobb iszapkor révén, az iszapelvétele azonban a jobb lebegőanyag eltávolítás miatt mégis alig kevesebb a CAS rendszerekénél.

Fontos talán az MBR tisztítók iszapösszetétele vonatkozásában, hogy az eleveniszapos rendszerekénél a lassúbb szaporodásuk és kimosódásuk miatt alig jelenlevő prokarióta mikroorganizmusok és magasabb rendű szervezetek a szűréssel azokban feldúsulnak. Az utóbbiak valamilyen mértékben az iszaphozam csökkentéséhez a kis iszapterhelésen túl is hozzájárulnak. Talán célszerű azt is kiemelni, hogy az ultraszűrés esetében a tisztított víz szerves anyag szennyezettsége lényegesen kisebb, mint az utóülepítésnél. A membrán részméretének megfelelően visszatartja a vízből a baktériumokat, s ugyanez igaz az egyéb igen apró lebegő részecskékre, és a vízben levő 1 mikronos kolloid mérethatárnál kisebb makromolekulák egy részére is. A baktériumok eltávolítása a vírusok (0.02-0.3 µm) baktériumokkal együtt történő eltávolításával

99 % fölötti vírus eltávolítást is eredményez. Ez különösen jelentős a tisztított víz fertőzésveszélyének csökkentése tekintetében.

Az eleveniszap mikroorganizmus összetételének változása ultraszűrős visszatartása esetén

Az ultraszűrő valamennyi baktériumot visszatartja a vízből, így a fonalasok kimosódását is megakadályozza. Ennek az eredménye, hogy a fonalas mikroorganizmusok száma az MBR rendszerek iszapjában egy nagyságrenddel nagyobb, mint a CAS rendszerekében. Mint ismeretes, az utóbbiak utóülepítőjében az iszap jó flokkulációját, ülepedését, sűrűsödését éppen ezek a mikroorganizmusok zavarják leginkább. Elszaporodásukat általában mikro-tápanyag / oxigénhiány (kis koncentráció), kis BOI ellátottság a kis szervesanyag terhelés következtében, vagy toxikus anyagok jelenléte is okozhatja (jelentős króm-, vagy szulfid-terhelés). Tápanyaghiány fonalasodást gerjesztenek például a Thiothrix, type 021N, valamint a Nostocoida limicol túlzott elszaporodásával (Jenkins et al., 2004).

A fonalas mikroorganizmusok, hogy jobban hozzáférjenek a tápanyaghoz, sejtjeikből hosszú fonalakat növesztenek különbözőbb irányokba, részben összekapcsolva azzal az iszap-pelyhek belső részeit, részben viszont egymástól távol is tartva az így kialakuló nagyobb iszap-pelyheket. Az első hatásukra nagy szükség van a jó flokkuláció, iszapszűrés eléréséhez, az utóbbi viszont nagyon káros az iszap tömörödésében, ülepedésében. A fonalas mikroorganizmusok növekedési sebes-

sége kis tápanyagkoncentrációknál nagyobb, mint a flokkulum képzőké, így túlszaporodhatják azokat, akár lehetetlenné is téve az iszap gravitációs ülepedését. Ez a nagyobb fonalas részarány ugyanakkor az ultraszűrésnél nem szükségszerűen okoz olyan iszaptömörödést, amely a szűrőréteg ellenállásának a jelentős növekedésével járna. A lazább fonalas iszapréteget a környezet megfelelő turbulenciája könnyebben eltávolítja, „visszamossa” a szűrőfelületről, mint a tömörebb iszaprészeket, kompaktabb szűrőréteget. A fonalasok áttételes hatásai viszont károsak is lehetnek. Ilyen például a fonalasok robbanásszerű elszaporodása, ami egyidejűleg jelentős extracelluláris polimer-anyag (Extracellular Polimeric Substrate - EPS) termeléssel is jár, ez viszont okozhat jelentős szűrő eltömődést, eldugulást. Az ilyen eltömődést elsősorban az mikrobák felületéhez lazábban kötött EPS az úgynevezett oldott mikrobiális termék (Soluble Microbial Product – SMP) szűrőfelület blokkoló hatása okozza. Az iszapduzzadás tehát elsősorban nem a fonalas mikroorganizmusok koncentrációjának növekedése kapcsán problémás az MBR reaktoroknál. Ezeknél ugyanis az iszapindex (SVI) meglehetősen kicsi, még ha az iszap nem is ülepedik jól. Persze MBR esetén nincs is szükség az ülepedésre. Akkor lehet gond a szűrésnél, ha változó terhelések mellett robbanásszerű az elszaporodásuk és vele az SMP termelésük.

Ennek megértéséhez elengedhetetlen ismer- ni a szerves anyaggal táplálkozó prokarióta mikroorganizmusok (heterotrófok) szaporodását, alak, összetételbeli kiépülését. A sejt

anyagátalakítási folyamatainak (oxidáció és asszimiláció) helye sejtmembránnal körülvett sejtközi állomány. A szerves tápanyag ehhez kis molekulákra aprítva jut át a sejtmembránon. Aprítását a sejtben termelt és abból a környezetébe kijuttatott enzimek végzik. Az oxigén, az ammónium és a foszfát közvetlenül, molekuláris oxigénként, illetőleg ionokként jut be a sejtbe a sejtmembránon. A keletkező széndioxid a sejtől azon keresztül fordított irányban kerül ki a környező vízfázisba. A sejtközi állomány 80 %-a fehérje. Annak a 6,24-ed része nitrogén. A sejt belső állományának tehát a nitrogén tartalma egy tizedesre kerekítve $(100/6,24) \times 0,8 = 12,8\%$. Ezzel szemben a szennyvíziszap nitrogén tartalma csak 6-7 % körül alakul, a mindenkor iszapkortól függően. A szennyvíziszap szerves anyagának ennek megfelelően csak mintegy a fele a sejtközi állomány. A többi kisebb részében a peptidoglikán sejtmembrán, nagyobb részében a sejtnek a döntően poliszacharidokból álló extracelluláris terméke (EPS), amely a sejtmembránon kívül van, de a sejtben termelődött, részben feltehetően időszakosan tárolt tápanyag. Fontos szerepe van ugyanakkor a partikuláris tápanyag megfelelő rögzítésében az exoenzim bontás hatékonyabb megvalósulása érdekében. A sejthez jól rögzülő, nyálkás poliszacharid részt kapszulának is nevezik. A lazábban kötött, jobban oldható, s talán tápanyagként újra-felhasználható poliszacharidok és fehérje vegyületek az SMP-t alkotják. Valószínűsíthetően ezeknek a hidrolízise az újrafelhasználás előtt ugyanúgy elengedhetetlen, mint a szennyvíz egyéb bontható szerves szennyezőié. Az iszapösszetétel

illetően alakulására egyébként jó bizonyíték a mikroorganizmusok elemi összetételére felírt átlagos képletből ($C_5H_7O_2N$) számolható százalékos nitrogéntartalom is, ami 12,4 %. Ebből megegyező eredményre jutunk az iszap egyéb szerves anyag, tehát az EPS tartalmára vonatkozóan.

A fent idézett mikroorganizmus összetételből számíthatóan az eleveniszap szerves részének a tömegfajlagos KOI-je 1,42 g KOI/g MLVSS. Mivel az ilyen iszapok szárazanyagának csak a 80 %-a a szerves anyag, a KOI/MLSS fajlagosa 1,14 g KOI /gMLSS. Az MBR reaktorok iszapjának ez a fajlagos értéke ugyanakkor 1,0-1,1 érték között van. Az egészséges iszapösszetétel egyébként 100:5:1 BOI:TKN:TP tápanyag arányok esetén alakul ki az ilyen bakteriális tisztításnál. A sejt ugyanakkor több BOI-t is el tud távolítani, de akkor abból nagyobb mennyiségű EPS-t temel. Ez képes növelni a szűrő eldugulását. Különösen veszélyes ez, ha az ilyen mikroorganizmusok ragadós poliszacharid terméket termelnek.

Mindezeketől függetlenül a kevert iszap mikroorganizmusai a CAS és MBR esetében döntően azonosak, de a kis tápanyag/mikroorganizmus (F/M) arány és a nagy iszap tartózkodásiidő (SRT) miatt arányaikban különböznek.

- A MBR iszapjában a mikroorganizmus konglomerátumok jóval kisebbek, mint a hagyományos eleveniszapban, ami talán a fonalasok teljes visszatartásának, s az iszapkolloidra eltérő nyíróhatásának is következménye. Egyidejűleg a fonalasok

szaporodásának az iszap kis tápanyagellátottsága is kedvező. A két rendszer között a fonalasok részaránya nagyságrendileg különbözhet.

- Zoogloea fajok jelenléte az MBR tisztítóknál jelentéktelenebb. EPS fogyasztásuk miatt viszont kedvezőek a membrán eltömődés csökkentésére.
- A nagy iszaptartózkodási idő és lebegőanyag visszatartás következtében magasabb rendű szervezetek, mint a rotiferek, nematodák, amőbák és sziliátok száma az MBR iszapjában jelentősebb. Ezek a sejtmaradékokat és baktériumokat fogyasztva csökkentik a membrán eltömődésének veszélyét (Luxmy et al., 2000).

A fonalasok nagy száma önmagában nem jelenti szükségszerűen a membrán eltömődésének gyorsulását. Ha azonban külső tényezők hatására elszaporodásuk robbanásszerű, nagyon gyors iszapduzzadás, felhabzás jelentkezhet. Ilyenkor az SMP koncentráció megnő, növelve a membrán eltömődésének mértékét. Ilyen tapasztalatok elsősorban laboratóriumi kísérleteknél voltak jellemzőek. Ezzel szemben ipari MBR tisztítóknál ezt a jelenséget talán a nagyjából folyamatos terhelés, üzemeltetés miatt nem tapasztalták.

A Nocardia, Microthrix parvicella, type 1863, általánosan ismert hatása az iszap habosodása. A M. parvicella leggyakrabban télen, kis vízhőmérsékletnél jelentkezik, míg a Nocardia sokkal inkább nyáron, s elsősorban a CAS rendszereknél. Hatása zavaró az üzemeltetés-

nél a túlfolyásakor, szennyező hatása, síkossága miatt. MBR tisztítóknál azért növelhetik a membrán eltömődés veszélyét, mert velük az SMP koncentráció is növekszik az iszapos vízben (Luxmy et al., 2003). Erősen hidrofóbok lévén egyértelműen habzást okoznak, de az egyidejű membrán eltömődés is megfigyelhető túlzott elszaporodásukkor (Meng et al., 2006; You and Sue, 2009; Meng et al., 2017). Membránt blokkoló hatásukat illetően ellenkező tapasztalatok is voltak (Sharp et al., 2006; Cosenza et al., 2013). A hidrofób fajok ugyanis a habban összegyűlve csökkentik a koncentrációjukat a mélységi vízfázisban. Tehát erős habzáskor javulhat is a szűrés. Esetükben a habzáscsökkentő anyagok alkalmazása általános, bár éppen a membránok esetében nem különösebben ajánlott. Alkalmazásuk ugyanis garanciális problémákat eredményezhet. A hidrofób, nyálkás iszaphab mindig fokozott poliszacharid termelést jelent, ami növeli a membrán eltömődésének veszélyét. Ilyenkor az iszapban a Zoogloea populáció is jelentősen elszaporodhat. Az apró iszapgolyócskák részarányának növekedése (Pin point flocculation - $<50 \mu m$) ugyanakkor nem jelent veszélyt az ultraszűrésnél (Chang et al., 1999), mert ezek is könnyen lemosódnak a szűrőrétegből, illetőleg nem csökkentik jelentősen a permeabilitást.

Biológiai tápanyageltávolítás problémái az MBR-nél

A tápanyageltávolítása elvében ezeknél is a hagyományos eleveniszaposával megegyező. Néhány szükségszerű kialakításbeli eltérést

(denitrifikáció és többletfoszfor eltávolítás) azonban mindenképpen figyelembe kell venni (Daigger et al., 2010; WEF, 2011; In-Soung et al., 2015, Yoon, S. H., 2016).

- *Jelentősebb az oxigén visszavitel az anoxikus medencetérbe* – Az ultraszűrő környezetében az alulról történő intenzív levegőztetés, folyamatos membrántisztítási igény miatt nagy a vízben (mintegy 4-8 mg/l) az oldott oxigén koncentrációja (DO). Ha a kevert iszapot onnan vezetjük közvetlenül az anoxikus medencébe mintegy négyszeres recirkulációval (érkező nyers szennyvízre vonatkoztatott érték), 16-36 mg/l oxigén kerül vissza abba a nyers szennyvíz térfogategységére számolva. Ez azonos mennyiségű könnyen hasznosítható KOI-t fogyaszt abból az anoxikus medencetérben. Feltételezve, hogy a nyers szennyvíz csak 50-100 mg könnyen hasznosítható KOI-t tartalmaz, a visszaforgatott oxigén annak jelentős hányadát elfogyasztja, rontva ezzel a denitrifikáció sebességét. Ez viszont nagyobb anoxikus medencetérigényt eredményez.
- *A recirkuláció szabályozási lehetőségének romlása* – A módosított Ludzack–Ettinger féle elődenitrifikációs (MLE) elvű MBR tisztítóknál a kevert iszap koncentrációja a szűrt víz elvétele eredményeként a levegőztető/membrán medencetérben következik be. Innen az iszapos vizet valamilyen ütemben vissza kell forgatni a többi medenceterekbe. A szükséges recirkuláció nagysága ugyanakkor nem szükség-

szerűen optimális a biológiai tápanyageltávolításhoz. Ezt a gondot egy elkülönített szűrőtér kiépítésével lehet csökkenteni. Ebből visszavezetve a koncentrált kevert iszapot a levegőztető medencébe, abban csökkenthető a DO, s azzal az onnan az anoxikus medencébe visszaforgatásra kerülő oxigén mennyisége.

- *Viszonylagosan kisebb iszapkoncentráció (MLSS) kialakítási lehetősége az anaerob/anoxikus medencetérben* – Az anoxikus medencetérbe történő oxigénvisszavétel minimalizálására kettős recirkuláció kiépítése célszerű. Első az ultraszűrő blokk teréből a levegőztető medencébe, második onnan az anoxikus medencetérbe. Ez jelentős iszapkoncentráció csökkenést eredményez ezen a vonalon, miközben a legkisebb koncentráció az anoxikus medencében alakulhat ki. Ez szükségszerűen megnöveli a denitrifikáló medence szükséges térfogatigényét.
- *A vegyszeres és biológiai foszforeltávolítás egymást zavaró hatása* – A szennyvíz foszfor tartalmának iszappal felvételre nem kerülő hányada kicsapódására a jól ismert koagulánsok alkalmasak. Ezek hatása ugyanakkor a biológiai többletfoszfor eltávolítást zavarja az adott rendszerekben, hiszen a foszforkoncentráció csökkenése a többletfoszfor felvételére képes foszfor akkumuláló heterotrófok (PAH) szaporodási sebességét is csökkenti. Csökkenésével viszont a foszfor határérték eléréséhez szükséges vegyszer fajlagos mennyisége

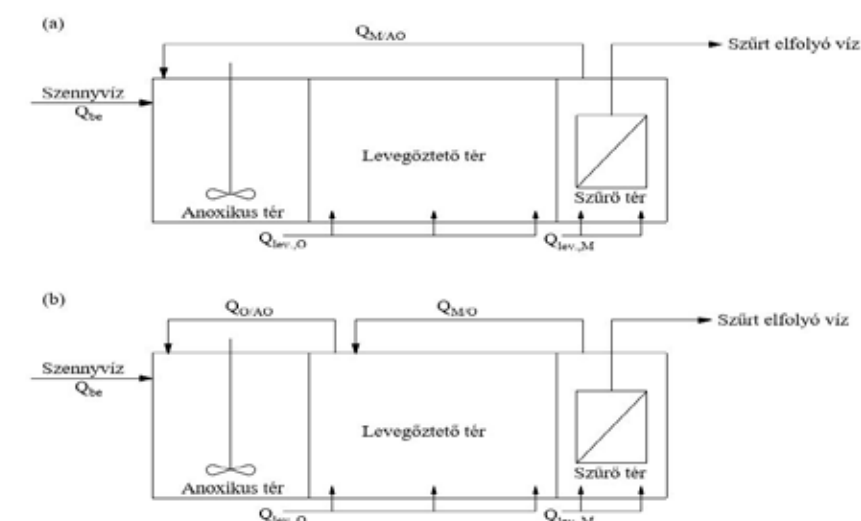
nő. Megfelelő egyensúlyuk kialakítása fokozott ellenőrzést és szabályozást igényel.

téseknél a fokozott keverés számottevő visszakeveredést, rövidzárat is okozhat.

- *Visszakeveredés fokozott veszélye kis reaktor-térfogatoknál* – Az MBR tisztító biológiai medencéi a nagyobb iszapkoncentráció eredményeként kisebbek a CAS rendszerekénél. A kisebb medencékbe ugyanakkor nagyobb a folyadék visszakeveredésének – rövidzár kialakulásának – veszélye. Az MBR megoldásnál a levegőztető medencében a tisztítandó szennyvíz átlagos tényleges hidraulikai tartózkodási ideje (HRT) lényegesen kisebb, mint a látszólagos HRT a nagy belső recirkuláció miatt. Az A2/O kialakításnál (University of Cape Town -UCT) annak csak az 1/3-1/8-ada. A hatékony keveredés/keverés a medencékben ezért az MBR medencéknél jóval fontosabb, mint a CAS rendszerek medencéinél. Ugyanakkor a recirkuláció kiveze-

Anoxikus/oxikus kiépítésű MBR szennyvíztisztítás

Ez a legáltalánosabban kiépített MBR tisztítás a szerves anyag és a nitrogén szennyvízből történő eltávolítására. Az eredeti kialakításban az iszapos víz visszavezetése az oxikus medencéből az anoxikusba közvetlenül történt, mint ahogy az az **1. a. ábrán** látható. A már említett túlzott oxigén visszaforgatás miatt azonban ezen változtatni kellett. Szükségessé tette ezt az is, hogy csökkentsék az oxikus medencetérben kialakuló iszapkoncentrációt. A recirkuláció szabályozását sokkal inkább az iszapkoncentráció kiegyenlítésére, mintsem a jó hatásfokú nitrogéneltávolításra igyekeznek beállítani.



1. ábra

A/O rendszerű MBR (Yoon, S. H., et al., 2016)

a - Közvetlen recirkuláció a szűrőblokkból az anoxikus térrészbe

b - Kétlépcsős recirkuláció a denitrifikáló térbe

A visszavezetett oxigén hatásának csökkentése az eredeti konfigurációt hamarosan módosítani kellett, mint az **1.b. ábra** mutatja, s mint ahogy az korábban már említésre került. A levegőztető medence 1-2 mg/l DO-ra történő szabályozása esetén így csak a korábban számolt oxigénmennyiségnek a negyede kerül vissza az anoxikus medencetérbe. Ez abban lényegesen kisebb oxidációs-redukációs potenciál fenntartását teszi lehetővé. Sajnos a kettős recirkulációval csökken az anoxikus medencetérben az iszapkoncentráció. Ha egy ilyen kialakításnál az oxikus medencében keletkező nitrát kétharmadát nitrogénné akarják redukálni, mintegy kétszeres iszapos víz visszaforgatást kell biztosítani (a beérkező nyersvízre számolva) az aerobból az anoxikus medencetérbe.

Az A/O konfiguráció az eleveniszapnál nem a többletfoszfór eltávolítására fejlődött ki. Ennek ellenére a csak levegőztetett térrel rendelkező tisztítókhöz képest ezek iszapja MBR kialakításban több foszfór eltávolítására is képes. Ez biológiai többletfoszfór felvételt

jelent az iszap révén. Ha a foszfór eltávolítását az ilyen rendszerrel tovább kívánják növelni, az a levegőztető medencébe, vagy szűrőmedencébe történő vegyszer-adagolással lehetséges. Erre mind vas, mind alumínium sók alkalmasak, melyek mind foszfát kicsapó, mind koaguláló hatással (hidroxidjaik révén) is rendelkeznek.

Fokozott tápanyageltávolítási lehetőség MBR kialakításnál Hyunday kiépítéssel

A Hyundai kiépítés (HANT) a múlt század 90-es éveiben került kialakításra. Mind a nitrogén-, mind a foszforeltávolításban növelheti a hatásfokot. Valójában a leggyegyszerűbb biológiai tápanyageltávolítási megoldás (BNR) egyetlen belső recirkulációs árammal (Yoon et al., 2004). Mint a technológiai sémája is mutatja (**2. ábra**), egy nem levegőztetett medencetér követi ennél a levegőztető medencét az oxigén kevert iszapból történő elfogyasztására a recirkulációt megelőzően. Ezen túl az anaerob medencetér is az anoxikus után van ennél, az MLE megoldással ellentétben. Mivel

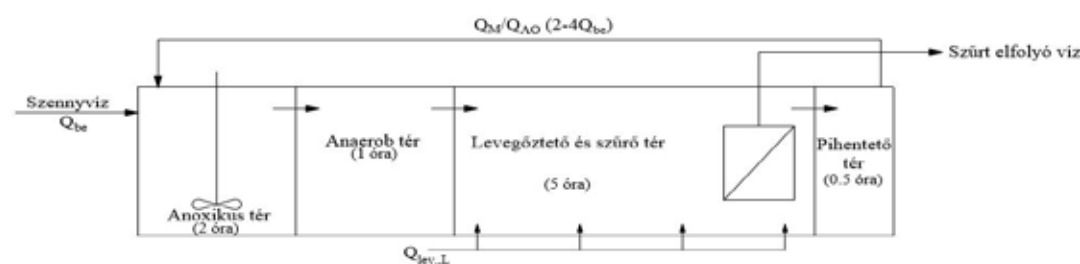
így denitrifikált iszapos víz áramlik az anaerob egységbe, abban a redox potenciál (ORP) megfelelően beállítható a többletfoszfór leadásához. Másik előnye a megoldásnak, hogy az anoxikus medencetérben így az iszapkoncentráció viszonylag nagyobb lehet, hiszen abba az iszapos víz a membrán szűrőtérből közvetlenül recirkulál oda bármiféle hígítás nélkül. A recirkulációs arány (QRAS) ilyen kialakításnál 2-4 lehet a tisztítandó szennyvízre (Q_{be}) vonatkoztatva. A tisztított vízben a ön és öP koncentráció lakossági szennyvíz ezzel a megoldással történő tisztításakor vegyszer nélkül 5-10 és 1-2 mg/l között tartható.

Ennek a megoldásnak hiányossága, hogy az iszaprecirkulációs aránya nem szabályozható az optimális nitrogéneltávolítás érdekében, mivel azt a szűrőtérben történő iszapsűrűsödés megakadályozására kell elsősorban beállítani. Ha például kisebb ORP kellene a jobb N és P eltávolításhoz, a recirkulációt kellene csökkenteni az oxigén és nitrát visszaforgatás érdekében, ami azonban nem mindig lehetsé-

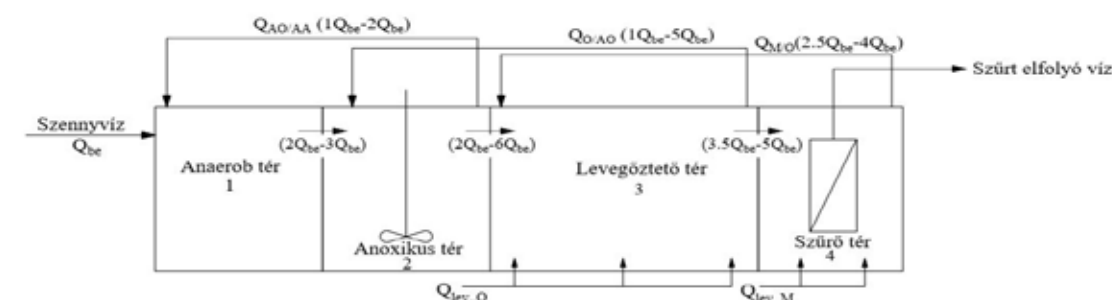
ges, a szűrőtérben kialakuló iszapsűrűsödés, s vele a membrán permeabilitásának csökkenése miatt. Ezért váltakozó szennyvízterhelés kompenzálására az üzemeltetés szabályozása valamelyest korlátozott.

Módosított UCT kialakítás

MBR rendszereknél a módosított UCT sémája gyakorlatilag megegyezik a Virginia Initiative Plant (VIP) megoldással. Hagyományos utólepítő megoldásaiknál az előzőek általában nagyobb iszapkorra tervezettek (13-25 nap), mint az utóbbiak (5-10 nap), míg MBR változatuk, tehát az iszap ultraszűrése esetén az iszapkoruk megegyező. Ezeket a technológiákat A2/O megoldásnak is nevezik az anaerob/anoxikus/oxikus medencetér-sorrendiségük miatt (Banu et al., 2009). A módosított UCT talán legfőbb nyeresége, hogy a nitrátos vizet nem közvetlenül vezeti vissza az anaerob medencébe, hogy abban jobban csökkentessen az ORP, s azzal maximálhassa ott a biológiai többletfoszfór leadását.



2. ábra
Fokozott tápanyageltávolításra alkalmas Hyunday technológia sémája



3. ábra
Módosított UCT rendszerű MBR kialakítás

A módosított UTC megoldásnál az MLE-hez hasonlóan az iszapos víz a tisztítósor elejére kerül vissza, azonban három lépcsős recirkulációval (**3. ábra**). Első lépcsőként a szűrőtérből a koncentráltabb iszap a levegőztető medencébe kerül vissza, ahonnan második lépcsőként forog vissza az anoxikus medencébe, s végül onnan harmadik lépésben az anaerob medencébe. A három recirkuláció nagysága a nyersvíz feladásra vonatkoztatva 2,5-4, 1-2 és 1-2 között változtatható, illetőleg optimális. Ezt mindig a nyersvíz minősége és a tisztítás elérendő határértékei befolyásolják. A kaszkádszerű, több lépcsőben történő iszapos víz visszaforgatás kicsit hígabb iszap tartását eredményezi az oxikus és anoxikus medenceterekben. Ennek megfelelően azok térfogatait megfelelően meg kell növelni az iszaphígulás kompenzálása érdekében (Yoon, S. H., 2016).

A nagy recirkulációk miatt a tényleges HRT az egyes medenceterekben jóval nagyobb, mint a látszólagos, amely a recirkulációk nélkül számolható a tisztítósorra érkező szennyvízmennyiséggel. Közepes recirkulációs arányokkal számolva (3, 3, 1) az egyes tényleges hidraulikai tartózkodási idők csak 40, 18 és 14 %-ai a névleges HRT értékeknek. Ha például az anoxikus medencének a látszólagos HRT-je 2 óra, valójában abban csak 0,35 óra lesz az iszapos víz tényleges HRT-je a nagy iszaposvíz recirkulációk miatt. Ilyen kis HRT-nél a folyadék visszakeveredés (rövidzár) hatása is jelentősebb lehet, különösen a nem elegendő keverés, és a kedvezőtlen medencetér kialakításakor. Fontos, hogy a recirkulációk beveze-

tési pontjai környezetében legyen nagyon jó keveredés, keverés az egyes medencékben.

Az egyes medenceterek térfogatainak tervezéséhez a mindegyikükben kialakuló iszapkoncentráció gondosan számolandó az egyes terek anyagmérlegével. A következő négy feltételezéssel kell azt számolni:

- A friss szennyvízből keletkező iszap és az iszapelhalás az egyes medencékben elhanyagolható az azokban meglévő iszapkoncentrációhoz (MLSS) viszonyítva,
- MLSS koncentráció az egyes medencékben állandó,
- MLSS koncentráció az érkező szennyvízben elhanyagolható a rendszerben kialakulóhoz viszonyítva,
- a fölösiszap elvétel a szűrőtérből elhanyagolható az onnan az oxikus medencébe visszaforgatotthoz képest.

Ha például a szűrőtérből történő recirkuláció aránya 4, míg a másik kettőé 2, a relatív iszapkoncentráció az egyes medenceterekben (anaerob/anoxikus/oxikus/szűrőtér) 0.36 : 0,53 : 0,80 : 1 arányban várható. Látható, hogy jelentős koncentráció különbség lesz az egyes terekben. Az első két medencetér viszonylag kis iszapkoncentrációja jelentősen befolyásolja az N és P tápanyageltávolítás hatásfokát az azokban létrejövő kis tényleges tartózkodási idő, vagy reakcióidő miatt. A tényleges iszapkor is ennek megfelelően számolható az egyes medenceterekre (Vi), vagy környezetre vonatkozóan az alábbi egyenlettel:

$$SRT_i = V_i X_i / Q_x X_M$$

Ahol Q_x és X_M a szűrőtérből történő fölösiszap elvétel térfogatárama, illetőleg iszapkoncentrációja.

20 m³-es ilyen kiépítésű kísérleti szennyvíztisztítóban 34-62 mg öN/l és 4,52-7,3 mg öP/l között változó szennyvíminőségnél vizsgálták a nitrogén és foszforeltávolítás hatékonyságát. A levegőztető medencében teljes ammónium oxidációt értek el, miközben az anoxikus medencetérben 1,6 mg/l alatti NO₃-N koncentrációt tudtak tartani. Az oxikusból az anoxikus medencébe történő háromszoros Q_{be} recirkuláció esetén (oxikus recirkulációs arány = 3) a nitrogéneltávolítás 68-75 %-osnak bizonyult, ami az elméletileg számíthatóval jól egyezett. A foszforeltávolítás ugyanakkor az anoxikusból az anaerobba történő recirkuláció egyes aránya esetén (anoxikus recirkulációs arány = 1) 74-84 % között mozgott (Banu et al., 2009).

Az UCT és az úgynevezett Sammamish MBR (SmBNR) megoldások összehasonlítását mintegy egy évtizede laboratóriumi méretekben végezték el. Az SmBNR gyakorlatilag csaknem azonos a HANT megoldással, de esetében nincs külön oxigénfogyasztó medence, ugyanakkor a levegőztetőből az anoxikusba történő recirkuláció arányát a befolyóvízre vonatkoztatva igen nagyra állították be (5Q_{be}). Az UCT megoldásnál kombinált levegőztető és szeparátortérrel dolgoztak. A kettő között alkalmazott recirkulációs arányt 5-re állították be, ami a tipikus 1Q_{be}-2Q_{be} értéknél sokkal nagyobb. Az oxikusból az anoxikusba történő

recirkulációt ezzel szemben a hagyományos 2Q_{be} értéken tartották.

A két rendszer közötti legfőbb eltérés, hogy a friss szennyvíz betáplálása az UCT megoldásnál az anaerob medencetérbe történt, míg az SmBNR esetén az anoxikusba. Bár a két megoldásnál a KOI eltávolítás hatásfoka gyakorlatilag megegyezett, az UCT jobb foszfor, míg az SmBNR jobb nitrogéneltávolítást mutatott az anaerob és anoxikus medenceterek fordított sorrendben történő kialakítása eredményeként. A nyersvíz 747 mg/l-es KOI-jét mindkét rendszer 11 mg/l értékre csökkentette. A nyersvíz 20 mg/l öP koncentrációja 6,6 és 11,4 mg/l-re csökkent az UCT, illetőleg az SmBNR tisztításnál. Ezzel szemben a nyersvíz 57,9 mg/l öN koncentrációja 16,4 és 10,4 mg/l értékre volt eltávolítható az egyes megoldásokkal.

Lépcsős (több ponton történő) nyersvíz betáplálású MBR rendszerek

Megfelelő iszap tartózkodási idő biztosítása az anaerob és anoxikus medenceterekben elengedhetetlen a megfelelő tápanyagok (N és P) eltávolításhoz. Mint az előzőek is kiemelték, az UCT megoldás egyik hátránya, hogy anaerob és anoxikus tereiben csak kis iszapkoncentrációt tud kialakítani, s így jelentősen megnöveli ezeknek a medencéknek a térfogatigényét. Ennek ellensúlyozására lépcsős nyers szennyvíz betáplálással is kialakításra kerültek ilyen MBR rendszerek, mint ahogyan az a **4. ábrán** látható (Yoon, S-H., 2016). Ez mindkét említett

medencetérben nagyobb iszapkoncentráció kialakítását teszi lehetővé, mint az eredeti UCT megoldás.

Ennél a nyersvíz fele az anaerob, fele a levegőztetőt követő második anoxikus medencetérbe kerül betáplálásra. Mivel a szűrőegységből az iszapos víz az aerob medencébe kerül visszavezetésre (3. medencetér), amely megelőzi a második anoxikus medencét (4. medencetér), nincs szükség folyadék átemelésre az első aeroból az azt követő anoxikus térbe, mint amire szükség van az eredeti módosított UCT MBR kialakításnál. Ez összességében szivattyúzási-költség megtakarítást eredményez megnövelt nitrogéntávoztási hatások mellett.

Ennek a megoldásnak egyik jelentős eredménye a többiekhez képest tehát éppen az iszapkoncentráció növelés az anoxikus és anaerob medenceterekben. A relatív iszapkoncentrációk az egyes medenceterekben a korábban leírtakhoz hasonlóan számolva a 4. ábra szerinti kialakításnál:

$X1 : X2 : X3 : X4 : X5 : X6$
 $0.64 : 0.64 : 0.86 : 0.80 : 0.80 : 1.00$

arányban alakulnak.

Láthatóan az anaerob és anoxikus terekben jóval meghaladják az ettől eltérően kialakított MUCT rendszereknél elérhetőket. Ennek megfelelően ugyan olyan, vagy jobb BNR eltávolítás várható a lépcsős nyersvíz feladás esetén az MUCT megoldásnál kisebb medenceterek kiépítése esetén is.

Membránszűrés egyéb áttételes hatásai az üzemeltetésre

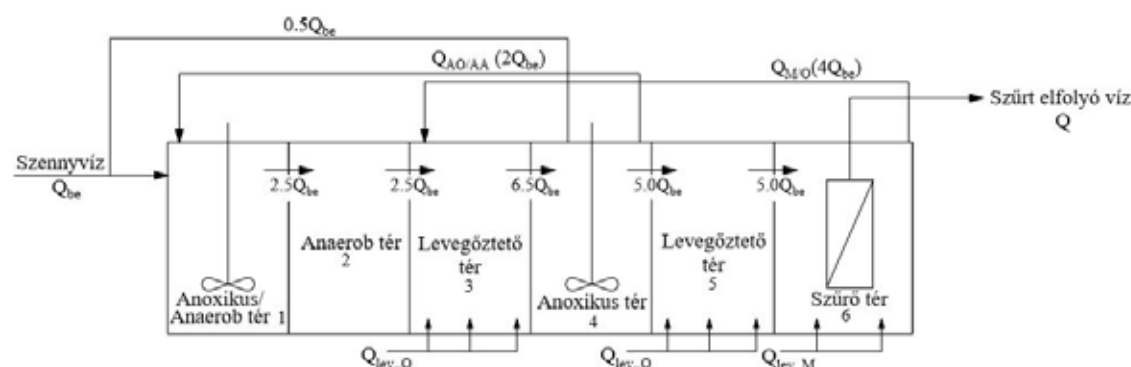
Egyértelmű tapasztalat, hogy kis relatív tápanyag-ellátottság (ami nagyobb iszapkornak felel meg), csökkenő membrán eltömődést biztosít. 4-5 napos iszapkor alatt válik a szűrés kritikussá, de ilyenkor már a nitrifikáció sem működik megfelelően. Napjainkban az MBR-eknél az átlagos iszapkort 20 naposra tervezik, de csúcsterhelések esetén 12-

15 napos iszapkorral is jól működhet még a teljes tápanyag eltávolítás és szűrés (Park et al., 2015; Yoon, 2016). Egyidejűleg a levegőztető medencében a DO koncentrációnak is megfelelőnek kell lenni (1-2 mg/l), hogy az oxigénszűke a heterotrofoknál ne okozzon fokozott EPS termelést. Gondos keveréssel biztosítani kell, hogy időszakos oxigénhiány se jelentkezessen az esetlegesen kialakuló "holt terekben". A túlvegyőztetés iszapaprító hatásának a membránszűrésre ugyanakkor nem egyértelmű a következménye. Merev biofilm hordozók egyértelműen a membránok sérülését okozhatják. Ha a biofilm hordozó nem is juthat be a membránokhoz, a filmekről leszakadó apró iszaplemezek hatása a szűrésre kedvezőtlen (Leiknes et al., 2011; Yang et al., 2014). A biofilmes-eleveniszapos MBR rendszerekben a levegőztetőben együttesen kialakuló nagyobb iszapkoncentráció ugyanakkor csökkentheti a szükséges medencetér fogat igényt (beruházás). Ugyanakkor romlik abban az oxigénátvitel hatékonysága (Oxigén Transfer Efficiency - OTE), ami viszont a levegőbevitel (üzemeltetés) költségét növeli jelentősen.

Finomszemcsés aktív szén (PAC) 2-5 mg/l mennyisége a kevert iszapban csökkentette a membrán eltömődését (Torretta et al., 2013). A folyamatos PAC adagolás viszont növeli az üzemeltetési költséget. Más szerszemen, finomszemcsés biofilm hordozók közül a zeolitnak tapasztalták kedvező hatását a szűrő iszapréteg permeabilitására. Hatása talán elsősorban a réteg lazításában jelentkezhetett. Ezzel szemben a fém-hidroxidok az oldott

poliszacharidokat (SMP) koagulálva, szűrve, nagyobb iszaprészekbe zárva eredményeznek jobb ultraszűrést. A nagyobb egységek ugyanis kevésbé blokkoló hatásúak (Mishima and Nakajima, 2009). A koagulánsok hatása egyidejűleg a foszforkoncentráció, valamint a víz pH-jának csökkenésében is jelentkezhet. Az utóbbi vas és alumíniumsó esetén sem különösebben jelentős, így a nitrifikáció sebességét nem csökkentik számottevően. Polimer-alumínium-klorid (PACl, vagy PAX) esetében a pH csökkentése jelentéktelen. Az SMP koagulációjával egyidejűleg a fém koagulánsok, toxikusak lévén, a fonalasok számos csoportjára, az iszapduzzadás, habképződés csökkentésével is kedvező hatást érhetnek el (Roels et al. 2002), bár ez a hatás a tapasztalatok szerint csak rövidtávú, feltehetően addig, amíg nagyobb koncentrációban vannak ionos formában. A koagulánsok mellett ma már a polielektrolitok SMP koaguláló hatását is igyekeznek hasznosítani, s azzal is csökkenteni a membránok eltömődését (Dizge et al., 2011; Yoon, 2016).

Az MBR kialakítás esetén általános, hogy több levegő bevitel szükséges a membrán szűrőterébe, mint magába a biológiai oxidációnak a döntő hányadért felelős levegőztető medencébe. Egy üzemi vizsgálatnál kimérték, hogy A/O kialakítás esetén a levegő 78 %-a a membránok alá került befúvatásra, s csak 22 %-a a levegőztető medencébe. Ettől függetlenül a beoldódó oxigén mennyisége 67%-a a levegőztető medencébe jutott. Ez azért alakult így, mert az OTE a levegőztető medencében 7,2-ször nagyobb volt, mint



4. ábra
A több lépcsőben történő nyersvíz betáplálású UCT membránszeparációval.

szűrőmembránok medencéjében. Az OTE a levegőztető medencében 8-12 g/l iszapkoncentrációnál 10 % körül, míg a membránok terében 1 % körül volt, éppen az ottani 4-8 mg/l-es DO miatt kialakuló kis hajtóerő, valamint a membránok felületének a folyamatos tisztításához szükséges durvább buborékméret eredményeként. Mindezek ellenére, a membrántérből a levegőztetőbe történő nagy iszap visszaforgatás eredményeként, a teljes oxigénfogyasztásnak mintegy a 10 %-a ebből a membrántérből recirkuláltatott vízből adódik. A teljes biokémiai oxigén-fogyasztásnak így 76 %-a a levegőztetőben, míg 24 %-a a membrántérben realizálódik. Csúcsterheléseknél ugyanakkor a levegőztető medencébe történő oxigénbevitelt jelentősen növelni kell, ami a fenti arányokat lényegesen megváltoztatja. Fontos viszont kiemelni, hogy bár a nitrifikáció döntően a levegőztető medencében történik, a membrántér nagy biztosíték a jó hatásfokú ammónium oxidáció elérésében (Brepols, 2011; Yoon, 2016).

Az MBR-ok fenti eltérései a CSA rendszerekétől jelentős eltéréseket eredményeznek a szükséges medencetér méretek megválasztásakor az alapvetően szükséges iszapkorok biztosítására. Igaz ez a levegőztetés kialakítására, s a levegőigény, illetőleg a fúvók teljesítményének a tervezésére is. A membránszűrők tervezése látszólag egyszerűbb, hiszen azok a biológiától elvileg függetlennek tűnnek, de éppen a fentiekben részletezett hatások miatt ez is sok tapasztalatot igényel, a membránok tisztítására szolgáló alsó levegőztetésükkel egyetemben.

Következtetés

Az ultraszűrős iszapszeparációval működő eleveniszapos szennyvíztisztítás napjainkban folyamatosan terjed a még jelenleg is drága membrán ellenére. Tisztított szennyvizük paraméterei lényegesen a megengedett határérték alatt vannak a KOI, tehát a szerves anyag tartalom tekintetében, ugyanakkor a növényi tápanyagtartalom eltávolítása esetükben is a hagyományos eleveniszaposakéhoz hasonlóan, meglehetősen kombinált kiépítéseket tesz szükségessé. A foszforeltávolítás ezeknél is csak a vegyszeradagolás biztonsági kiépítésével garantálható a kisebb határértékekre. A nitrogéneltávolítás megfelelő kiépítésnél, üzemeltetésnél alá tud kerülni a nagyobb tisztítókra előírt 10 mg öN/l határértéknek. Különösen igaz ez, ha a második anoxikus térbe gyorsan hasznosítható tápanyag adagolása is történik. Az iszapvíz mellékági nitrogén-mentesítésére természetesen az MBR rendszereknél is hasonlóan kedvező hatású, mint a hagyományos eleveniszapos tisztításnál.



Köszönetnyilvánítás

A munka kidolgozásának támogatásáért köszönet a Pannon Egyetem GINOP-2.3.2-15-2016-00016 azonosító számú „Vízbazis-védelem, moduláris, mobil vízkezelő rendszerek és szennyvízkezelő technológiák fejlesztése a Pannon Egyetem bázisán hazánk dinamikus export növekedésének elősegítése érdekében” című projektjének.



Hivatkozások

- Banu, J.R., Uan, D.K., Chung, I.-J., Kaliappan, S., Yeom, I.-T. 2009. A study on the performance of a pilot scale A2/O-MBR system in treating domestic wastewater. *J. Environ. Biol.* 30(6):959–963.
- Brepols, C. 2010. Operating Large Scale Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater Treatment, IWA
- Chang, I.S., Lee, C.H., Ahn, K.H. 1999. Membrane filtration characteristics in membrane coupled activated sludge system: The effect of floc structure of activated sludge on membrane fouling. *Sep. Sci. Technol.* 34:1743–1758.
- Cosenza, A., Di Bella, G., Mannina, G., Torregrossa, M. 2013. The role of EPS in fouling and foaming phenomena for a membrane bioreactor. *Bioresour. Technol.* 147:184–192.
- Daigger, G.T., Crawford, G.V., Johnson, B.R. 2010. Full-scale assessment of the nutrient removal capabilities of membrane bioreactors. *Water Environ. Res.* 82(9):806–818.
- Dizge, N., Koseoglu-Imer, D.Y., Karagunduz, A., Keskinler, B. 2011. Effects of cationic polyelectrolyte on filterability and fouling reduction of submerged membrane bioreactor MBR. *J. Membrane Sci.* 377(1–2):175–181.
- Park, H.-D., Chang, I.-S., Lee, K.-J. 2015. Principles of Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. CRC Press pp. 436
- Jenkins, D., Richard, M., Daigger, G. 2004. Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems. London: CRC Press LLC.

- Judd, S. and Judd, C. 2011. The MBR Book Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment. Second edition. Butterworth-Heinemann
- Kárpáti, Á., Fazekas, B., Kovács, Zs. 2014. Szennyvíztisztítás korszerű módszerei. Pannon University. Veszprém, Hungary
- Leiknes, T., Rødegaard, H. 2005. The development of a biofilm membrane bioreactor. Desalination 202:135–143.
- Luxmy, B.S., Yamamoto, K. 2003. Investigation of microorganisms associated with the foam of a submerged membrane bioreactor in Japan. Microbes Environ. 18(2):62–68.
- Luxmy, B.S., Nakajima, F., Yamamoto, K. 2000. Predator grazing effect on bacterial size distribution and floc size variation in membrane-separation activated sludge. Water Sci. Technol. 42(3):211–217.
- Meng, F., Zhang, H., Yang, F., Li, Y., Xiao, J., Zhang, X. 2006. Effect of filamentous bacteria on membrane fouling in submerged membrane bioreactor. J. Membrane Sci. 272:161–168.
- Meng, F., Zhang, S., Oh, Y., Zhou, Z., Shin, H., Chae, S. 2017. Fouling in membrane bioreactors - an updated review. Water Research, Volume 114, 1 May 2017, Pages 151-180.
- Mishima, I., Nakajima, J. 2009. Control of membrane fouling in membrane bioreactor process by coagulant addition. Water Sci. Technol. 59(7):1255–1262.
- Roels, T., Dauwe, F., van Damme, S., de Wilde, K., Roelandt, F. 2002. The influence of PAX-14 on activated sludge systems and in particular on *Microthrix parvicella*. Water Sci. Technol. 46(1–2):487–490.
- Sharp, R.R., Heslin, G., Dolphin, M. 2006. Evaluation of a novel membrane bioreactor system for water reuse applications in urban environments. In Water Pollution VIII—Modelling, Monitoring, and Management, Eds. C.A. Brebbia, A. do Carmo. Southampton, UK: WIT Press, pp. 479–488.
- Torretta, V., Urbini, G., Raboni, M. et al. 2013. Effect of powdered activated carbon to reduce fouling in membrane bioreactors: A sustainable solution. Sustainability 5(4):1501–1509.
- Yang, W., Syed, W., Zhou, H. 2014. Comparative study on membrane fouling between membrane-coupled moving bed biofilm reactor and conventional membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. Water Sci. Technol. 69(5):1021–1027.
- Yoon, T.I., Lee, H.S., Kim, C.G. 2004. Comparison of pilot scale performance between membrane bioreactor and hybrid conventional wastewater treatment systems. J. Membrane Sci. 242(1–2):5–12.
- Yoon, S-H. 2016. Membrane Bioreactor Process – Principles and Application. Taylor & Francis Group.
- You, S.J., Sue, W.M. 2009. Filamentous bacteria in a foaming membrane bioreactor. J. Membrane Sci. 342(1–2):42–49.
- WEF 2011. Membrane BioReactors WEF Manual of Practice No. 36 McGraw-Hill Education

TECHNOLÓGIAI HULLADÉKVIZEK HASZNOSÍTÁSA EXTRAKTÍV HETEROAZOTRÓP DESZTILLÁCIÓ ALKALMAZÁSÁVAL

DR. TÓTH ANDRÁS JÓZSEF

BME-VBK KÉMIAI ÉS KÖRNYEZETI FOLYAMATMÉRNÖKI TANSZÉK

Kulcsszavak: finomkémiai ipar, technológiai hulladékvíz, oldószer regenerálás, desztilláció, újrahasznosítás

Összefoglalás

A finomkémiai iparokban a jelentős oldószer-használat miatt a gyártások melléktermékeként nagy mennyiségű folyékony hulladék keletkezik, ezeket összefoglaló néven technológiai hulladékvizeknek hívjuk. Továbbá nagyon sok esetben bonyolult kezelési eljárást igényel ezen hulladékok ártalmatlanítása, mert magas szerves anyag tartalmuk miatt nem köthetők csatornahálózatba közvetlenül és nem engedhetők rá a biológiai tisztítási fokozatra. A technológiai hulladékvizek esetében az elsődleges cél a bennük található kemikáliák, értékes anyagok újrahasznosítása, lehetőleg még a gyártó saját kapuin belül. Összetett, erősen nem-ideális egyensúlyt alkotó szerves komponenseket tartalmazó technológiai hulladékvizek hasznosítására alkalmazható eljárás az extraktív heteroazotróp desztilláció. A közleményben a metanol-etil-acetát-víz terner elegy desztillációs elválasztása kerül bemutatásra. A laboratóriumi kísérletek és a számítógépes modellezések igazolják a technológia eredményességét, az alkalmazott desztillációk segítségével alkotó komponensire választható szét a hulladékvíz és ez által az újra-használat megvalósítható.