KÉRDÉSEK ÉS VÁLASZOK A BIOLÓGIAI VÍZTISZTÍTÁSSAL ÖSSZEFÜGGÉSBEN

TOLNAI BÉLA
GÉPÉSZMÉRNÖK

Kulcsszavak: *partiszűrés, eleveniszapos szennyvíztisztítás, biológiai szűrések hasonlósága*

1. BEVEZETÉS

Szennyezett víz megtisztításának számos lehetősége van. A víz biológiai megtisztulásának változata a szennyező molekulák elbontásán alapszik. A lebontás során keletkező termék oxikus viszonyok mellett javarészt víz és szén-dioxid, anoxikus körülményeknél főként szén-dioxid és metán. Az így megvalósuló visszatartás vagy szűrés a szennyezésnek a biofilmen belüli mikrobák általi hasznosítása, képletesen „elégetése" révén valósul meg.

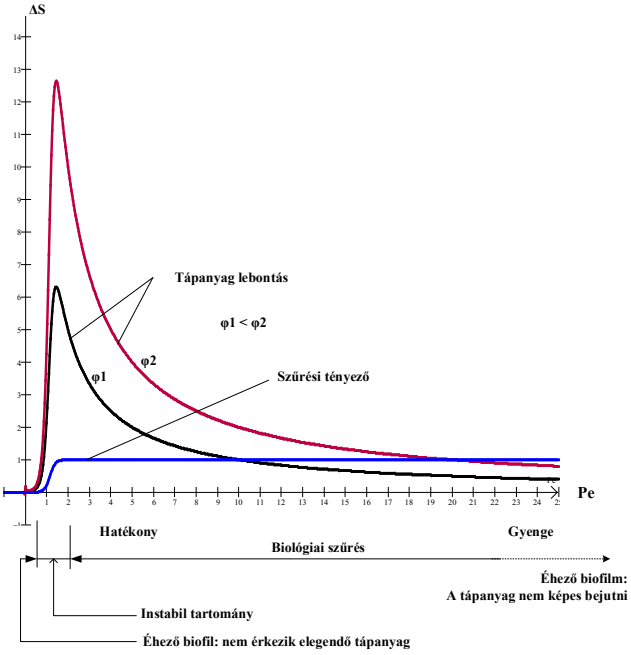
A biológiai víztisztítás hatásmechanizmusának leírásául szolgáló tápanyag (a Szerkesztő megjegyzése: a Szerző a cikk további részében főként a szerves tápanyagokkal foglalkozik) vonatkozó lebontási összefüggés a dimenzióanalízis segítségével és heurisztikus megfontolások alapján vezethető le [1]. Az eredményül kapott összefüggés két – egy a Pe-számtól függő és attól független – részre esik szét.

$$\Delta S = \underline{\underline{\mu(Pe)}}\,\frac{1}{Pe}\;\underline{S\,Ne^{1/3}\,\frac{L_a}{d_m}} = \underline{\underline{\frac{\beta}{1+a\,e^{-b\,Pe}}}}\,\frac{1}{Pe}\;\underline{\varphi}$$

1.

A Pe-számtól függő rész a biofilm logisztikai értelemben vett tápanyagellátását, a Ne-tényező köré csoportosított változók a tápanyaglebontás klimatikus viszonyait írja le. A biofilmen kívüli és a biofilmen belüli részfolyamatok sorrendisége kötött, a tápanyagellátás mindig meg kell előzze a tápanyaglebontást. Az egymásutániság mellett visszacsatolás is van, a tápanyaglebontás visszahat a tápanyagellátásra [1].

Az (1) függvénykapcsolat ábrázolható is.



1-1. ábra A tápanyaglebontási függvény

Az **1-1. ábrán** jellegzetes tartományokat figyelhetünk meg. Pe<1 esetén a biofilm „éhezik", mert kevesebb tápanyag érkezik, mint amely bediffundálni volna képes. Pe~1-nél a függvénynek csúcsszerű maximuma van, az erőteljes növekedést hirtelen csökkenést követ. P>1 szakaszon hatékony tápanyaglebontás van, míg a Pe>>1 tartományban a biofilm újra „éhezik". A tápanyag megérkezik ugyan a biofilmhez, de nem képes bediffundálni oda, elhalad a biofilm előtt. A dolga végezetlenül tovább áramló szennyezés nem vezet a víz tisztulásához, a biológiai szűrés nem hatékony.

Az ábrából az is kiolvasható, hogy a tápanyag lebontás hatékonysága **a Pe-számmal fordítottan arányos.** A kis Pe-számok mellett a lebontás intenzívebb.

A biológiai úton megvalósuló ivóvíz előállítás és az ugyancsak biológiai jegyeket felmutató szennyvíztisztás *hasonló folyamatok.* A víz megtisztulása a biofilmen belül történik. Biofilm alatt a továbbiakban mikrobák életterét értve, amelynek megtapadása szilárd felülethez kötött.

A két reprezentatív elrendezésnek: a partiszűrésnek és az eleveniszapos szennyvíztisztításnak értelemszerűen vannak különbözőségei. Az eltéréseket azonban érdemes az általánosság szintjén megfogalmazni:

- A tisztítandó víz KOI, BOI által jellemzett szennyezettségi mértéke a két elrendezés esetén erősen eltér egymástól. A lebontandó molekulák választéka azonban ugyanaz. A víz terheltségének a kérdésköre pusztán a reaktortér méretezését, geometriai méretének maghatározását és a szükséges többlet levegő hozzávezetésének problémáját érinti. A biológia szűrés hatásmechanizmusa azonban változatlan marad.
- A partiszűrés esetében a biofilm az álló homokszemcséken tapad meg és csak a tápanyagot szállító víz mozog. A konvektív sebesség nagysága könnyen számítható. Az eleveniszapos szennyvíztisztítás reaktorterében mind a szárazanyagtartalmon megtapadó biofilm, mind a tápanyagot szállító víz is mozog. Itt a biofilm – szemben

a partiszűrés biofilmjével – nem összefüggő, hanem töredezett. A baktériumok a partiszűrés homokszemcséjét (cca 1,3 mm) és az eleveniszap flokkulátumát (átlagosan 0,1 mm) egyaránt rendkívül nagynak látják, ahogy az űrhajós a Földet és a Holdat is ugyanúgy óriásinak találja. A konvektív sebesség a víz és a flokkulátum közt mérhető relatív sebességérték lesz, amelynek még a becslése is nehézségekbe ütközik. Az eleveniszapos medence kevert víztömegének látványa alapján annyi biztosan megállapítható, hogy a konvektív sebesség nagysága a partiszűrésre jellemző 0,1 m/d értéknél lényegesen nagyobb.

A fentiekből következően a Pe-szám konkrét kiszámítása és így tápanyaglebontás mennyiségi – a „baktériumi munka" mértékének – meghatározása nehézségekbe ütközik. Azonban az (1) képletben szereplő dimenzió mentes tényezők változásának nagysága és iránya alapján a tápanyaglebontás hatékonyságának alakulását illetően jól használható következtetések vonhatók le. Romlás esetén a javítás lehetőségei **nemcsak mérlegelhetők, hanem számszerűsíthetők is.**

2. MIÉRT NEM MŰKÖDIK TÉLEN?

Empirikus tény, hogy a partiszűrés télen, nyáron egyaránt jól működik. Az eleveniszapos technológia azonban télen, az alacsonyabb vízhőmérséklet következtében nem kellő hatékonyságú. A különbözőség biztosan nem a baktériumok „munkakedvének" eltérésében keresendő, hisz akkor a partiszűrésen „dolgozó" mikrobák sem volnának aktívak. A Pe-szám által reprezentált tápanyag ellátási folyamatnak kell tehát hőmérséklet függése legyen.

A Pe-számot három tényező alkotja:

$$Pe = \frac{w\, d_m}{D_s}$$

ahol

w, szűrési sebesség, üzemi paraméter,

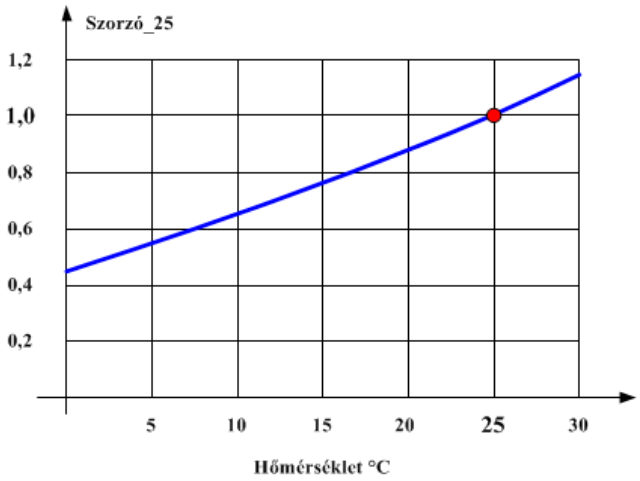
d_m mértékadó szemcseátmérő, a biofilmhordozó felület nagyságára utaló méret,

D_s a szennyezést jelentő szubsztrát diffúziós tényezője

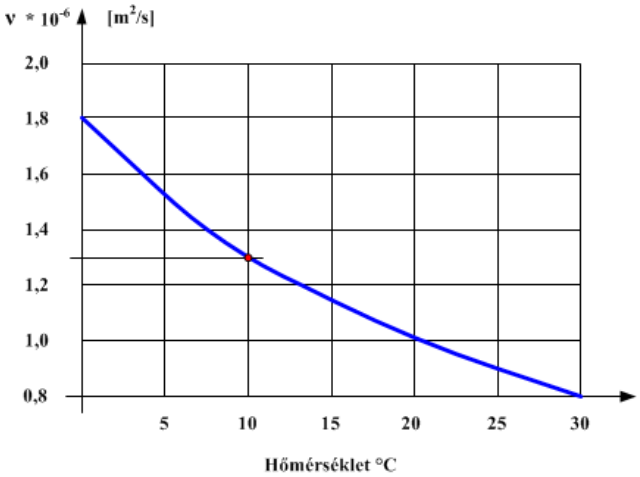
A Stokes-Einstein formula szerint

$$D_s = \frac{k_B T}{6\pi\eta a_r}$$

a diffúziós tényező nagysága a viszkozitástól *(η)*, az abszolút hőmérséklettől *(T)* és molekula méretétől *(a_r)* függ. Csökkenő hőmérséklettel a diffúziós tényező is kisebb lesz, nő a Pe-szám és romlik a tápanyaglebontás hatékonysága.



2-1. ábra A diffúziós tényező hőmérsékleti szorzója

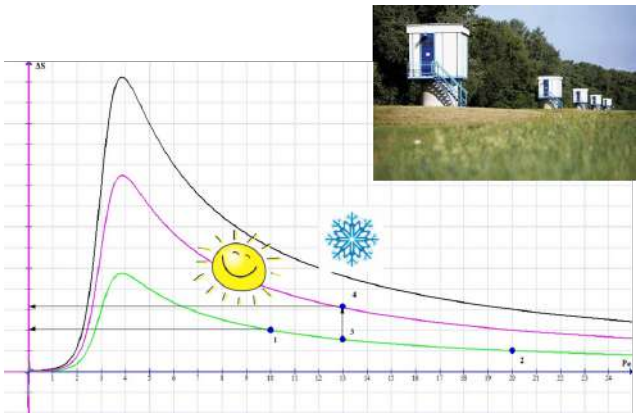


2-2. ábra A viszkozitás hőmérséklet függése

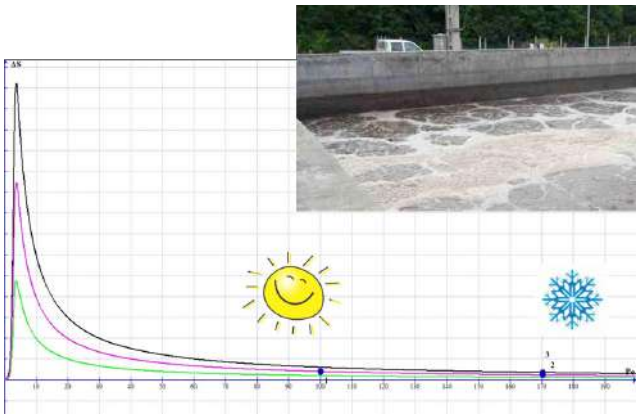
Az anyagok diffúziós tényezőjét 25°C-on adják meg. Minden anyag esetében ugyanaz a dimenziómentes hőmérsékleti szorzó érvényes. A 0–25°C működési tartományon belül a változás mértéke cca 2,5-szeres (lásd a **2-1. ábrát**).

A biofilm hordozó anyag, a homok mértékadó szemcseméretе a hőmérséklet függvényében nem változik. Változik ellenben a víz viszkozitása, amely csökkenő hőmérséklettel nő. (A **2-2. ábrán** a kinematikai viszkozitás változását látjuk, a képletben a dinamikai viszkozitás szerepel. A kétfajta viszkozitás között a $\nu = \eta / \rho$ függvénykapcsolat áll fenn.) A viszkozitási tényező változásának mértéke hasonló, csak ellentétes irányú, csökkenő hőmérséklettel növekszik.

A partiszűrésű vízbázisoknál nyilvántartanak téli és nyári kútkapacitás értékeket. A téli értékek a nyári értékeknek pusztán fele – kétharmada. A búvárszivattyúkat a kútban adott szintre szerelik. Az általuk létrehozható depresszió maximuma így télen-nyáron azonos. A víz télen nagyobb viszkozitási értéke ugyanazon nyomáskülönbség mellett kevesebb vizet képes átjuttatni a vízadó rétegen. A partélen – a biológia szűrés helyén – így alacsonyabb lesz a szűrési sebesség. A Pe-szám képletében szűrési sebesség (*w*) a számlálóban szerepel. A számlálóban csökkenő szűrési sebesség, a nevezőben csökkenő diffúziós tényező összességében a Pe-szám értékét változatlannak tartja télen is. Ez a változatlanság eredményezi azt, hogy a partiszűrés télen – nyáron egyaránt hatékonyan működik. A jelenséget szemléltethetjük a tápanyag lebontási ábrán is.



2-3. ábra Partiszűrés télen-nyáron



2-4. ábra Az eleven iszapos technológia téli-nyári viszonyai

A **2-3. ábrán** az 1-es pont a nyári viszonyokat jelenti. A diffúziós tényező értékének csökkenése ugyanazon a hiperbolán a rendszert a 2 állapotba viszi. A szűrési sebesség lecsökkenése azonban visszahoz bennünket a 3-as pontig. A javuló téli redox körülmények miatt (csökkenő hőmérséklettel nő a Ne-tényező) átjutunk a szomszédos görbére. A folyamatot szemléltető ábrán a ΔS lebontási mérték még valamelyest javul is

Az eleveniszapos technológia esetében a konvektív sebességben ilyen ellentételezés nincs, hisz a levegő befúvás az oxikus medencékben és a keverés az anoxikus medencékben ugyanolyan intenzitással történik télen és nyáron is. A levegőre mindig szükség van, a keveréstől a leülepedés megakadályozása miatt ugyancsak nem lehet eltekinteni.

A korábban említettek miatt a nyári üzem eleve magasabb Pe-szám mellett valósul meg, ahogy azt a **2-4. ábra** 1-es pontja is érzékelteti. A konvektív sebesség meghatározásának egyértelműen nehézségei vannak, de minőségében annyit biztosan megállapíthatunk, hogy a partiszűréshez képest átlagosan lényegesen nagyobb sebességről van szó. A nyáriból (1) a diffúziós tényező csökkenése miatt itt is a téli (2) pontba jutunk. Sebességben ellentételezés most nincs, ezért a redox viszonyok javulása miatt a felettes görbén található (3) pontba jutunk. Itt a szomszédos hiperbolák távolsága már olyan közel van egymáshoz, hogy érdemi lebontás növekedést nem kapunk. A diffúziós tényező lecsökkenéséből fakadó Pe-szám növekedés végül így vezet a téli üzemeltetés hatékonyság romlásához.

Hogyan lehet ezen a nehézségen segíteni?

A *„Főnök, mit tegyek? Hiányzik a kasszából 100 dollár! – Tedd vissza, fiam."* bölcsességből kiindulva, vissza kell állítani azt, ami elromlott, azaz a Pe-szám értékét télen is alacsonyan kell tudni tartani. Ennek eléréséhez több lehetőségünk is van:

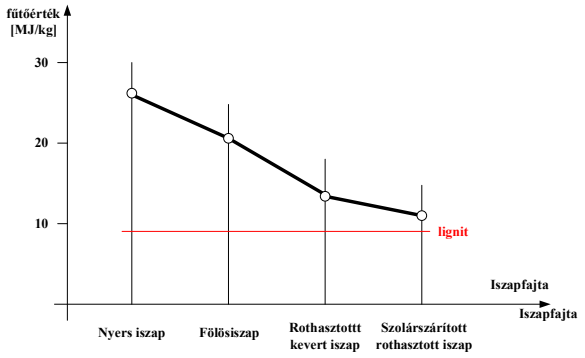
- A *„melegítsük fel a vizet"* csak elvi lehetőség lehet, mert ekkora víztömeg felfűtése nagyon sokba kerülne, és mint ilyen a lehetőségek közül kiesik.
- *„Akadályozzuk meg víz lehűlését"* variáció előfeltételekhez kötött. A biológiai medencék zárt térben történő elhelyezése nem ritka, de nem általános. Ilyen megoldással találkozunk a Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telepnél és az élőgépes technológia esetében is, amikor is a medenceterek fölé épített téliesített „botanikus kert" akadályozza meg a víz lehűlését. A zárt térben való elhelyezésnek jelentős beruházási többlet költségvonzata van.
- *„Csökkentsük a konvektív sebességet"* – tulajdonképpen ez a megoldás a partiszűrésnél használható volna ugyan, de a mozgást létrehozó levegő befúvás és keverés intenzitásának mérséklése korlátokba ütközik (A Szerkesztő megjegyzése: a keverésre a medencében szükség van az iszapülepedés megelőzése és/vagy a levegőellátás egyenletessége érdekében).
- A *„növeljük meg az iszapkort"* lehetőség nem állítja vissza a Pe-számot, csupán az alacsony intenzitású tápanyaglebontást működteti hosszabb ideig. A megoldás általánosan alkalmazott ugyan, de érdemben nem igazán javít a viszonyokon.
- *„Készítsük elő a beérkező szennyvizet"* lehetőség alatt homogenizálást és dezintegrációt kell érteni. A homogenizálás a mértékadó szemcseátmérőt csökkenti, míg dezintegráció a molekulák méretének csökkentését célozza. A diffúziós tényező növelése a molekulák „aprításával" érhető el. Az ultrahangos kezelésnek, a kavitációs zónán való átvezetésnek vagy az ózon adagolásának van ilyen hatása. A szennyvíz ilyetén való előkészítése nem csak a téli üzem problémáinak a kiküszöbölésére jó, hanem általában a Pe-szám csökkentésére, és így a tápanyaglebontás hatékonyságának növelésére is alkalmas.
- *„Használjunk másik technológiát"* – azaz felejtsük el az eleveniszapos technológiát –, a már megépített nagyszámú szennyvíztisztító telep esetében ez a lehetőség csak rekonstrukciós átépítést követően válik járható úttá.

3. MI TART TÖBB HÉTIG?

Új kút megépítése után és új szennyvíztisztító üzembe helyezésekor több hét időtartamra van szükség ahhoz, hogy a normális üzemszerű működés létrejöjjön. Miért van szükség ilyen hosszú időtartamra? A furcsa módon azonos nagyságú időtartamok egyáltalán ugyanarra az okra vezethetők vissza?

A partiszűrés esetében a választ megtalálni könnyebb dolgunk van. Az idő biztosan nem a kellő biológiai tisztítóhatás felépüléséhez kell. A mikrobaszaporodás intenzitását a Monod-tényező nagysága határozza meg. A μM = 0,5 – 1 [1/h] érték mellett az exponenciális szaporodás néhány óra, ill. nap mellett kialakul. A víz biológiai megtisztulásához semmiképpen sem hetekre van szükség. A partél mentén a szűrési sebesség 0,1 [m/d] (nagyon alacsony érték, 1 deciméter/nap!!!), amely a kút felé haladva folyamatosan nő. A megtisztult víznek a part éltől a kútig tartó útvonal megtételéhez néhány hetes időtartamra van szüksége. Ezt támasztják alá az izotópos mérések és a modellezés számítási eredményei is. Tulajdonképpen a vízadó rétegben, kezdetben található, még nem kellően tiszta víz lecserélődése tart ilyen hosszú ideig. Csak ezt követően kapunk a kútban ivóvíz minőséget.

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás esetében a magyarázat megtalálása összetettebb. Az iszap, miközben víztisztítási technológián áthalad, tulajdonságaiban folyamatosan változik. Az egyik ilyen jellegzetes tulajdonság a különböző iszapminőségek fűtőértékének alakulása. A **3-1. ábrán** az egymást követő iszapfázisokat látjuk.

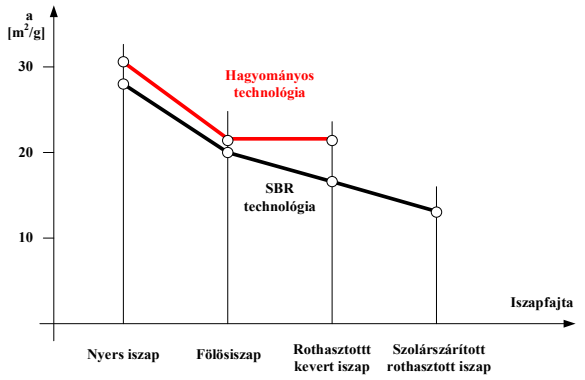


3-1. ábra A különböző iszapminőségek égéshője

forrás: Juhász [5]

A lépésenként lezajló biokémiai oxidáció során az fűtőérték folyamatosan csökken. Az energiatartalom ilyetén módon történő lemerülése könnyen belátható, nem kell azt különösképpen magyarázni. Az iszap égetésével nyerhető energetikai haszon a fűtőérték segítségével válik számszerűsíthetővé. A 3-1. ábra azt is világosan jelzi, hogy még a szolár-szárított rothasztott iszap fűtőértéke is nagyobb, mint a hőerőművek tüzelőanyagául használt lignité.

Nem feltétlenül magától értetődő, de kézenfekvőnek tűnik a különböző iszapfajták fajlagos felületének az ismerete.



3-2. ábra A különböző iszapfajták fajlagos felülete

A **3-2. ábra** két különböző szennyvíztisztítási technológiából származó iszapok mért fajlagos felületét mutatja. A mérés során az iszapszerkezet megváltozásának elkerülése érdekében a minták kiszárítása liofilizálással (fagyasztva szárítással) történt. A kapott mérési eredmények - függetlenül az alkalmazott technológiától – a fajlagos felület karakterisztikus csökkenését mutatják. A levegő befúvása és a keverés okozta eróziós hatásból kiindulva az iszappelyhek „őrlődéses" méretcsökkenése, azaz a fajlagos felület növekedése volt várható. A mérések ennek éppen az ellenkezőjét mutatják. Függetlenül az alkalmazott technológiától a fajlagos felület folyamatos csökkenése tapasztalható.

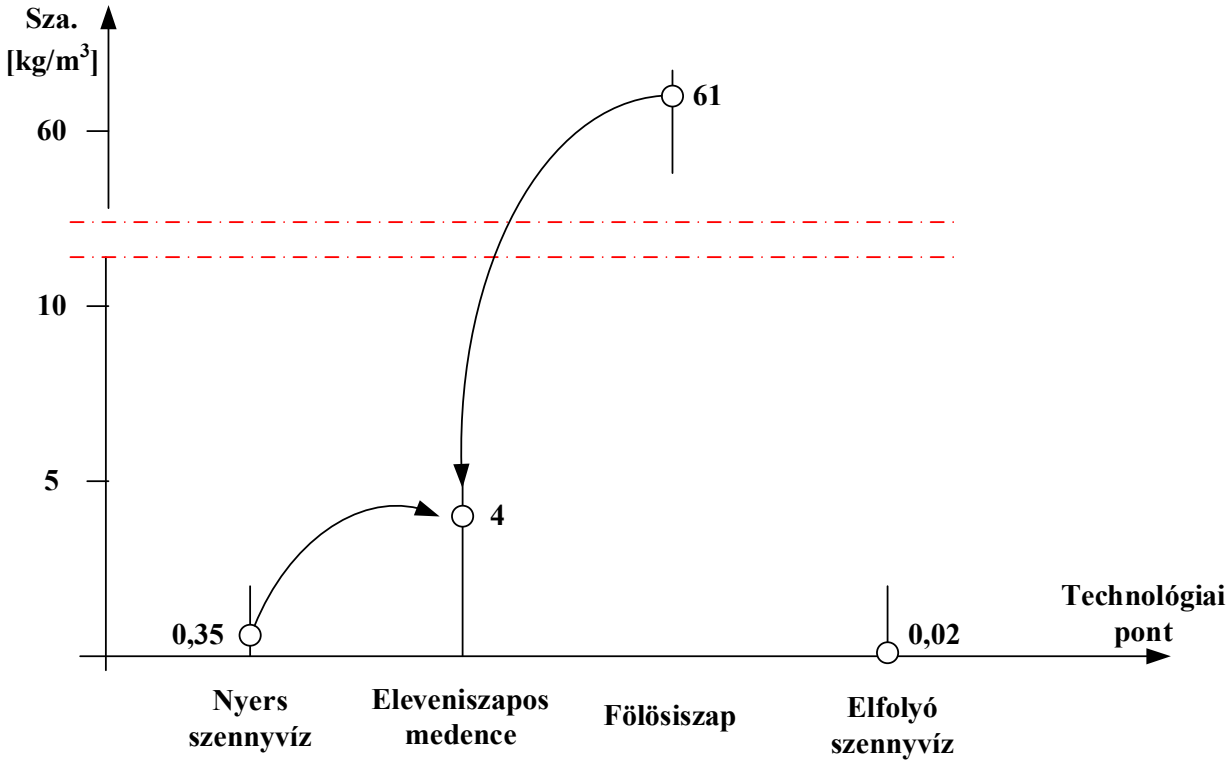
Mikroszkopikus felvételeken a különböző iszapfajtáknak jellegzetes képe van, amelyekhez a **minőséget jelölő** megállapításokat szokás kötni.

A beérkező szennyvíz iszapszerkezete flokkulens (b). Áthaladva a technológián az iszap granulálódik, amit az optimális jelzővel illetünk (c). Az ún. fonalas baktériumok térnyerésével az iszapszerkezet elfonalasodik. A fonalas iszapszerkezethez rosszabb ülepedési képesség tartozik. A mérsékelt ülepedési sebesség az utóülepítő működését hátráltatja. Az elfonalasodás emiatt nem kívánatos jelenség.

Az iszapszerkezet megváltozásához **mennyiségi mutató** is köthető. Ilyen számszerűsíthető, méréssel meghatározható jellemző az iszapsűrűség. Az iszap és a víz sűrűségének különbsége az ülepedés hajtóereje. Az iszapsűrűséghez hasonló mennyiség a szárazanyag tartalom, amely a baktériumok letelepedéshez szükséges szilárd felületet nagyságát adja a reaktortérben.

a. *Elfonalasodott szerkezet* b. *Flokkulens szerkezet* c. *Optimális szerkezet*

3-3. ábra Az iszapszerkezet mikroszkopikus képe *forrás: http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2010-0019_Szennyviztisztitasi_technologiak_I/ch14.html*



3-4. ábra A szárazanyagtartalom az eleveniszapos technológián forrás: Szabó [4]

A technológia sajátságait alapul véve a **3-4. ábra** nem az egyes iszapfajtákra koncentrál, hanem az összekeverésre kerülő és a keletkező közeg szárazanyagtartalmát mutatja. A szárazanyagtartalom a technológia jellegzetes pontjain erős eltérést mutat. Vegyük észre, hogy az eleveniszapos medencében mérhető szárazanyagtartalom a nyers szennyvíz és a recirkulált fölösiszap keveredéseként áll elő.

A recirkuláció szükségességéről hagyományosan a következőképpen történik az érvelés:

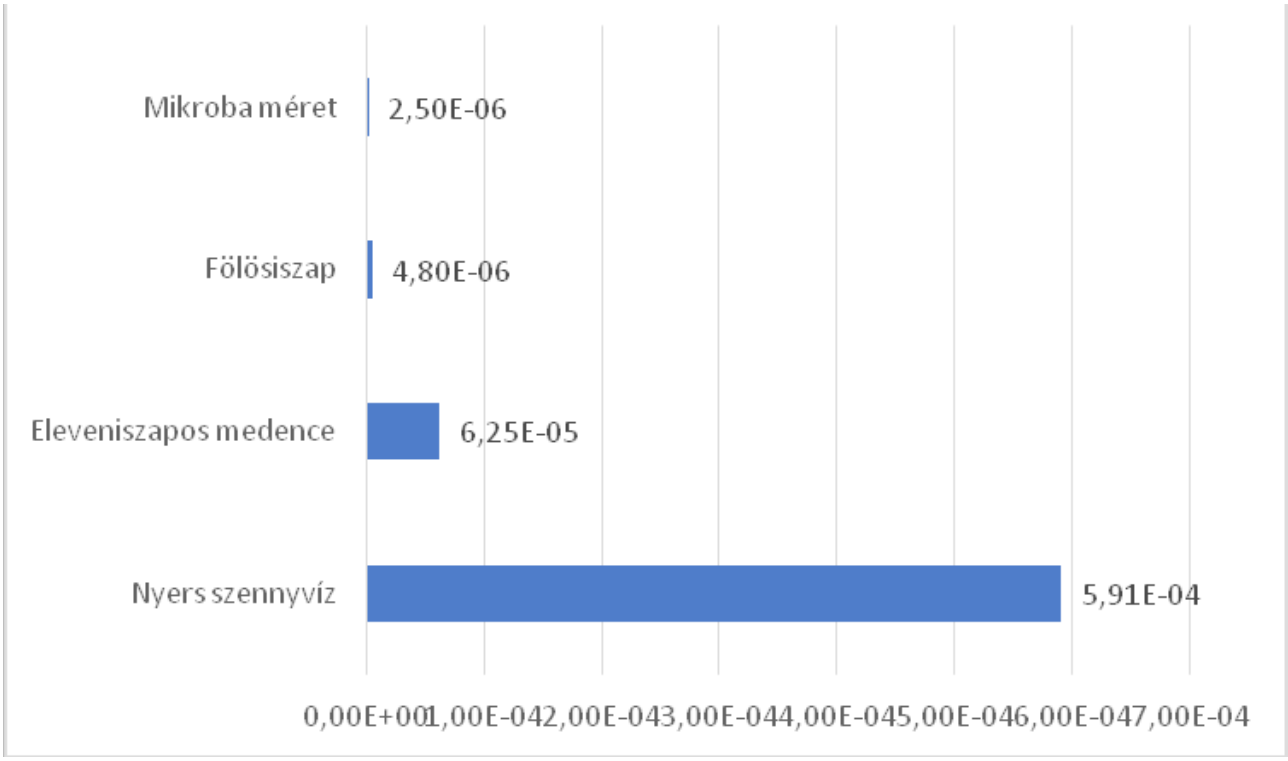
Az aerob folyamatok általában nagyobb sebességgel mennek végbe, mint az anaerob lebontás. A mikroorganizmusok ülepedésre hajlamos pelyhekké állhatnak össze, ezek képezik az eleven- vagy más szóval szekunder iszapot. Innen kapta nevét a biológiai tisztítás műtárgya, az eleveniszapos medence is. Az eleveniszapos medencéből a szennyvíz és az iszap az utóülepítőbe kerül. ***Az ott kiülepedett iszap egy részét – az állandó sejtkoncentráció megtartása érdekében – visszavezetik az eleveniszapos***

medencébe, vagyis recirkuláltatják. *Az iszap fennmaradó részét (fölös iszap) elvezetik [3].*

A recirkuláció szükségességének egy **másfajta értelmezés** is adható. A visszavezetéssel inkább a reaktortérben a baktériumok letelepedéséhez szükséges felület nagyságát állítjuk be, vagy másképpen fogalmazva a recirkulációval tulajdonképpen a nyers szennyvíz lényegesen alacsonyabb szárazanyagtartalmát „javítjuk fel", növelve vele a baktériumok letelepedéséhez szükséges felületet.

A felület nagyságának számszerűsítésére az ún. egyenértékű-szemcseátmérő szolgál. Ez a fiktív méret teszi lehetővé a különböző biofilmhordozó anyagok összehasonlíthatóságát. Az egyenértékű-szemcseátmérő azt a részecskeméretet jelenti, amellyel megtöltve a reaktorteret ugyanazt a felületet jelenti, mint általában a külső felszínnel és belső felületi struktúrával bíró valóságos anyagok. A mértékadó szemcseátmérőt a fajlagos felület és a reaktortérben jelenlévő biofilmhordozó anyag térfogati sűrűsége (homoknál ömlesztett sűrűség, iszapnál szárazanyag-tartalom) alapján számolható ki. Ha ez az érték a mikrobák átlagos méreténél nagyobb, úgy az egyenértékű szemcseátmérő egyben a mértékadó szemcseátmérőt is adja.

A 3-2. ábra fajlagos felületre vonatkozó és a 3-4. ábra szárazanyagtartalmat mutató számok használatával a **3-5. ábra** egyenértékű szemcseátmérőit számoltuk ki. Viszonyításul ábrázolásra került a mikroba méret is.



3-5. ábra Az egyenértékű szemcseátmérők és a mikrobaméret

Dunakanyar Tahi vízbázis kútsora. Kapacitás: ~18 000m³/d Tervezte: Ráth Imre VÍZITERV (fotó: Szelekovszky Beáta)

A recirkulációval tulajdonképpen a reaktortérbeli egyenértékű szemcseátmérő csökkenését érjük el azáltal, hogy a nagyobb egyenértékű szemcseátmérővel rendelkező nyersiszapot a kisebb egyenértékű szemcseméretű recirkulációs[1] iszappal keverjük. Az eredményt a 3-5. ábra jól érzékelteti. A keverés hatására a reaktortérben tehát lecsökken az egyenértékű szemcseátmérő nagysága, vele a Pe-szám. Kisebb Pe-szám pedig a tápanyaglebontás hatékonyságának növekedését hozza. Recirkuláció nélkül – éppen a szükséges felület hiánya miatt – a tápanyag lebontási hatékonyság sokkal kisebb volna.

Most térjünk vissza az eredeti kérdésfeltevéshez. Az újonnan üzembe helyezett eleveniszapos technológián kezdetben az utóülepített iszap a nyersiszappal egyezik meg. Csak egy bizonyos idő eltelte után sűrűsödik be. A tapasztalat szerint ez az időtartam éppen a keresett néhány hét. A működés hatékonysága spontán módon alakul ki, amely azonban a Pe-szám csökkentésének a már fentebb említett egyéb lehetőségeivel gyorsítható.

Zápor idején az egyesített vízelvezető rendszer a telepre szinte egyik pillanatról a másikra erősen felhígított szennyvizet szállít. A hirtelen terhelésváltozás következtében a telepnek a tisztító képessége felborul. A tisztítóképesség időlegesen alábbhagy, mert a Pe-szám a reaktortérben megnő.

Az elromlott állapot helyreállítására – ahogy azt a hőmérséklet csökkenés orvoslásánál már láttuk – a Pe-szám értékének csökkentése révén történhet. A recirkuláció mértékének növelése mellett elvben a már felsorolt lehetőségek mindegyike is szóba jöhet. Azonban minden tekintetben a nyers szennyvíznek valamely dezintegrációs eljárással történő előkészítése látszik a leginkább járható útnak. A nyers szennyvíz előkészítésének hiánya miatt az eleveniszapos technológia nem vetekedhet a partiszűrés hatékonyságával.

[1] *A recirkulációs iszap és a fölösiszap minden tekintetben ugyanaz a minőség.*

4. TOVÁBBI FELVETÉSEK

Két egymástól távol fekvő kérdés megválaszolása ugyanarra az okra – nevezetesen a Pe-szám alakulására – volt visszavezethető. A Pe-szám nemcsak hasonlósági kritérium, hanem a biológiai víztisztítás fokmérője is. Segítségével magyarázathatjuk és bírálhatjuk a többi eljárást is.

A biogáz előállítását és az iszap további stabilizálását szolgáló **rothasztó tornyokban** is tápanyag lebontás zajlik. Az anaerob körülmények között zajló folyamat hatékonyságát ugyancsak a Pe-szám határozza meg. A reaktorban az anyagot nem csak a leülepedés meggátlása miatt kell keverni, hanem a tápanyagtranszportot fenntartó *w* konvekciós sebesség biztosítása okán is. A rothasztó toronyba kerülő fölösiszapot és más szerves anyagot homogenizálásnak vetik alá, amely a rothasztandó anyag sűrűségét növeli, miáltal csökken a d_m mértékadó szemcseátmérő. A reaktort magát a gázkihozatal növelése érdekében fűtjük is (nő a diffúziós tényező, D_s). Mindezen akciók a Pe-szám csökkentéséhez és a hatékonyság növekedéséhez vezetnek. A *Hogyan javíthatjuk a gázkihozatalt?* kérdésre a sztereotip válasz: a Pe-szám további csökkentésével. Dezintegrációval a biofilmhordozó pelyhek és a lebontandó molekulák mérete lesz kisebb. Az eddig általánosan nem alkalmazott kavitronos kezelés vezet ilyen eredményre.

A **csepegtetőtestes eljárás** a levegő hozzávezetés mesteri megoldásával, joggal volt a szennyvíztisztítás legígéretesebb eljárása. Természetesen ennél a biológiai víztisztítási elrendezésnél is a Pe-szám nagysága jelenti a hatékonyságot meghatározó kritériumot. A lebontandó tápanyag diffúziós tényezője a technológián nem változik. A csepegtetőtesteken kialakuló konvektív sebességet a gravitáció hajtja, a súrlódási sebesség fékezi. Nagyságára közvetlen ráhatásunk nincs. Az bizonyosnak látszik, hogy a partiszűrésre jellemző 0,1 m/d értéknél lényegesen nagyobb számmal van dolgunk. A csepegtetőtestet alkotó kőzet és műanyagblokkok fajlagos felülete meglehetősen kicsi. Hozzávetőleg 200-300 m^2/m^3 értékkel számolhatunk. Mindezek miatt a csepegtetőtestes eljárást relatíve nagy Pe-szám és alacsony hatékonyság jellemzi. Javítani ezen a helyzeten elsősorban az alkalmazott biofilm-hordozó közeg felületének növelése útján lehet, ahogy megoldást jelent a nyers szennyvíz előkészítése is. Érdemes elgondolkodni a konvektív sebesség csökkentésének lehetőségén is.

Az **élőgép** tulajdonképpen egy eleveniszapos eljárás. A medencékbe lógó gyökérzet és a mélyebb víztérben elhelyezett szálak a baktériumok által belakható felület nagyságát hivatottak növelni. Méréssel és számítással meghatározható a reaktortérben

elhelyezkedő biofilm - hordozó anyag (iszappelyhek, gyökérzet és szálak) együttes mértékadó szemcseátmérője és így a Pe-szám csökkenésének mértéke. A hatékonyságjavulással nyert haszon a „botanikus kert" többlet ráfordításaival vetendő össze.

A **lassúszűrés** és a gyorsszűrés a szűrési sebesség nagysága alapján kapta a nevét. A lassú szűrés biológiai úton tisztítja a vizet, míg a gyorsszűrést a mechanikai szűrések közt tartjuk számon. *Ahhoz, hogy a biofilm létrejöhessen, a réteg szemcséi a gyorsszűrő-rétegnél kisebbek, a szűrési sebesség a gyorsszűrő sebességénél lényegesen kisebb kell, hogy legyen.* – érvel Öllös a Víztisztítás-üzemeltetés című könyvében [2]. Másképpen fogalmazva tulajdonképpen a Pe-számot kell csökkenteni a biológiai szűrőhatás elérése érdekében. A partiszűrés esetében a szűrőréteg szintén homok, a szűrési sebesség azonban lényegesen kisebb. A sebesség ilyen mértékű csökkentése épített műtárgy esetén az építési költségeket az egekbe emelné. A finomabb szemcseméretű homok szűrőtöltetként való alkalmazása helyes lépés ugyan, azonban a mikrobák által belakható felület nagysága szempontjából csak kis lépés. A felület érdemi növeléséhez szűrőréteg cserére van szükség. Ilyen nagy fajlagos felületű anyag pl. a zeolit. A lassú szűrés kapcsán nem esik szó a szennyezőmolekulák diffúziós tényezőjéről. Dezintegráció alkalmazásával történő vízelőkészítés itt is a Pe-szám csökkentési eszköztár része lehet. Mindezen kiegészítésekkel a lassúszűrő is képes annyi tiszta vizet előállítani, ami a szűrőréteg időszakos visszamosásához is elegendő és nem kell a felső réteg lekaparásával az áteresztőképesség helyreállításáról gondoskodni. A biológiai szűrés mesterséges megvalósítása nagy műtárgy méretekhez vezet. Ha azonban a kulcsparaméter a Pe-szám csökkentése érdekében mindhárom tényezőt befolyásoljuk (sebességcsökkentés, szűrőréteg-csere, dezintegrációs nyersvíz-előkészítés), úgy a biológiai fokozat kialakítása elviselhető műtárgyméretekhez és vele beruházási költségekhez vezet. Ahogy a partiszűrésnél sem, ez esetben sincs szükség költséges vegyszeradagolásra, méregdrága aktívszénre, aranyárú membránokra. A partiszűrés hatékonyságát a hosszú szűrési útvonalhoz is kötik. Az igazság azonban az, hogy a víz megtisztulása a partélen kialakuló biológiailag aktív rétegen lezajlik. Az aktív réteg vastagsága nem több 1–max. 5 m-nél [6]. Az (1. képletben szereplő L_a/d_m geometriai viszonyszám (biológiailag aktív réteg vastagsága és a mértékadó szemcseátmérő hányadosa) hasonlósági kritérium. Nagy fajlagos felületű szűrőközegre történő áttérés esetén a szükséges rétegvastagság csökken.

A **Nereda eljárás** a szakaszos átfolyású (SBR) szennyvíztisztítási technológiák közé tartozik. Az eljárás előnyeinek bemutatásakor két szempontot emelnek ki. Ugyanazon tisztítási kapacitás eléréséhez csak fél-, harmadnagyságú telepi területre van szükség. Az utóülepítőben az ülepedési sebesség pedig nagyobb,

mint más technológiák esetén. A szorgalmazott iszapgranulálódás a mértékadó szemcseátmérő csökkenésén át hat Pe-számra, a megnövekedett sűrűségkülönbség pedig az ülepedést segíti. A nyers szennyvíz előkészítésével itt is további hatékonyságnövekedés volna elérhető, amely a tisztított víznek a javuló minőségében jelentkezne.

5. ÖSSZEGZÉS

A víz biológiai megtisztulásának előfeltétele, hogy a lebontandó szennyezés a baktériumok életteréhez, **a biofilmhez eljusson és oda be is kerüljön.** Ez különösen akkor fontos, amikor nagymolekulák – köztük a gyógyszermaradványok – elbontását várjuk el a biológiai víztisztítási eljárástól. Nagymolekulák nehezen diffundálnak, ezért a víztérben zajló, a biofilmen kívüli történések ismerete különös jelentőségű. A fizikai előfeltételek teljesítése egyszerűen nem hagyható figyelmen kívül. A fentebb megfogalmazott egyszerű kérdések megválaszolásához elegendőek voltak a hasonlósági elméleten nyugvó érvelések. A biofilmen belül zajló biokémiai folyamatok azonban ennél sokkal bonyolultabbak, amelyek megértéséhez a Pe-számtól nem függő tényezők (köztük a Ne-tényező) szerepének tisztázása révén léphetünk tovább. A kérdések megválaszolása az ún. Vincent-diagramhoz vezet.

6. IRODALOMJEGYZÉK

[1] **Tolnai, B.**

A biológiai szűrésről axiomatikus szemléletben

Hidrológiai Közlöny 2015/3

[2] **Öllös, G.:**

Víztisztítás - üzemeltetés

OVF 1998, ISBN 963 9060 23 2

[3] **Jurecska, L.:**

Az „élőgépes" szennyvíztisztítás intenzifikálása

ELTE TTK KKKK doktori értekezés 2015.

[4] **Szabó, A.:**

Szennyvízkezelés – Alapfogalmak, követelmények

BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék előadás, 2011.

[5] **Juhász, E.:**

Települési szennyvíziszapok kezelése

Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetsége 2013.

[6] Jekel, M. – Grünheid, S.:

Ist die Uferfiltration eine effective Barriere gegen organische Substanzen und Arzneimittelrückstände.

GWF Wasser-Abwasser 148 (2007) Nr. 10