

Új irányzatok a szennyvíz-technológiában – hazai kutatási eredmények

Dr. Fleit Ernő, Sándor Dániel Benjámin, Dr. Szabó Anita
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízi Közmű és Környezetmérnöki
Tanszék

Bevezetés - helyzetkép

Magyarországon az 1990-es évek eleje óta a folyamatos csatornahálózat bővítések miatt egyre több lakos csatlakozott rá a szennyvízgyűjtő hálózatokra. A víz árának növekedéséből eredő fajlagos vízfogyasztás-csökkenés miatt a szennyvíztisztító telepekre érkező szennyvíz mennyisége - a fejlesztések ellenére – összességében szintén csökkent. A szennyvíztisztítási beruházások következtében jelentősen nőtt a biológiai eljárásokkal tisztított szennyvizek aránya. A vízfogyasztás-csökkenés eredményeként tömény szennyvizek alakultak ki, amelyeket gyakran igen kedvezőtlen, alacsony C/N arány jellemez (ez közép-kelet-európai sajátosság). A nyers szennyvíz összetételének megváltozása üzemeltetési nehézségekhez és a tisztítási hatások csökkenéséhez vezet. Több telepen a hidraulikai alulterheltség, a kommunális és ipari eredetű szennyvíz mennyiségének ingadozása, valamint a jelentős mennyiségű infiltrációs eredetű talajvíz, illetve illegális bekötésből származó csapadékvíz okoz technológiai, műszaki, költséghatékonysági és környezetvédelmi problémákat.

Az elmúlt évtizedekben a tisztított szennyvíz határértékekre vonatkozó nemzetközi és hazai szabályok jelentős mértékben szigorodtak. Korábban a hangsúlyt elsősorban a szervesanyag eltávolításra helyezték, az új szabályozásokban (91/271/EEC) – a vizek védelme érdekében - megjelentek a különböző nitrogénformákra (ammónium, nitrát, összes nitrogén), illetve foszfor vegyületekre vonatkozó határértékek is. Emellett számos mikroszennyező anyag (nehézfémek, olajszármazékok, hormonháztartást befolyásoló anyagok) eltávolítását is el kell végezni a szennyvíztisztítás során.

Fenti problémák megoldására és az új igények kielégítésére a hagyományos eleveniszapos technológiákat fejlesztették tovább (anoxikus, anaerob és aerob reaktorterek használata), illetve más technológiákkal kombinálták a meglévő eleveniszapos rendszereket (vegyszeres kezelés, mikroszűrés, ózonizálás, biofilmes rendszerek, stb.).

Az egyre komplexebbé váló szennyvíztelepi reaktorkonfigurációk, ahol többnyire az „egy reaktortér = egy technológiai funkció” elv érvényesül, lassan korszerűtlennek tekinthető fejlődési utat képviselnek. A jelenleg működő szennyvíztisztítási rendszerek alapja továbbra is az eleveniszapos technológia, melynek tisztítási hatásfokát jelentős mértékben befolyásolja az eleveniszap pelyhekben létrejött mikrobiális közösség összetétele. A bakteriális kultúra minőségét csak közvetett módon lehet befolyásolni a reaktor geometriai kialakításával, a levegőztetett/nem levegőztetett reaktortagolással, a fölősiszap elvétel és az iszap recirkuláció nagyságával. Az eleveniszapos pelyhek felépítésének szabályozása komoly nehézségekbe ütközik, ez a biológiai tisztítás mellett az utóülepítés hatásfokát is jelentős mértékben ronthatja (iszapelúszás az utóülepítőben, fonalas szervezetek megjelenése). A jelenleg alkalmazott reaktorelrendezések további hátránya, hogy az egyes technológiai folyamatok (pl. nitrifikáció, denitrifikáció) nagy reaktortereket és iszap recirkulációkat is igényelnek, ami mind a beruházást, mind pedig az üzemeltetést költségesebbé teszi.

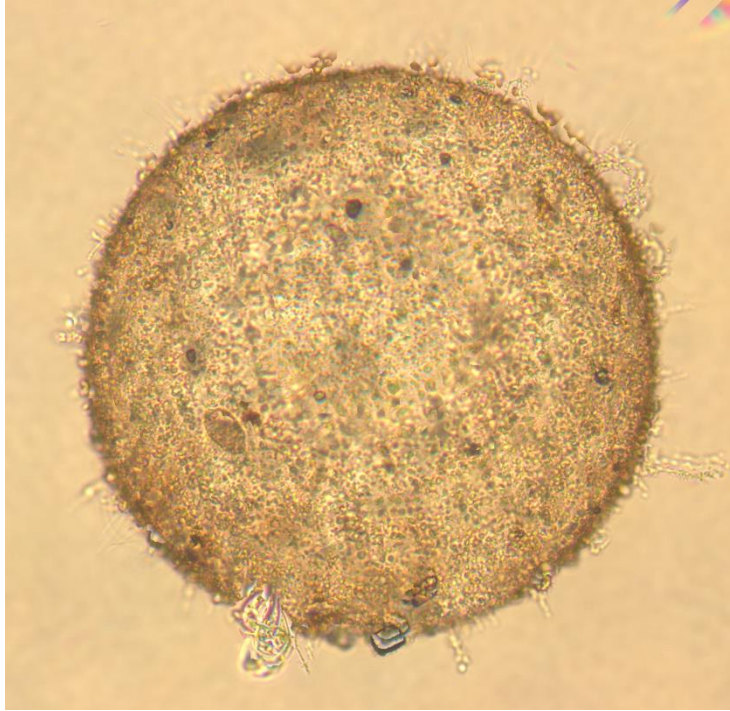
A nemzetközi példák (Szingapúr, Svájc, skandináv államok) azt igazolják, hogy a költség- és energiahatékonyság a jövőben bennünket is rászorít majd arra, hogy a szennyvíz minőségét direkt módon, közvetlenül szabályozzuk, azaz szakítani kell azzal a több évtizedes paradigmával, hogy a szennyvíz összetétele *a priori* adott, és a legrövidebb úton meg kell szabadulnunk tőle. A folyékony háztartási hulladékok (szennyvíz) szelektív gyűjtése gyökeresen átalakíthatja a növényi tápanyag eltávolításra fejlesztett szennyvíz-technológiáinkat. A hagyományos technológiák ettől függetlenül is átalakulóban vannak, számos európai nagyvárosban már üzemi léptékben alkalmaznak új, alternatív biokémiai reakció-utakat, például az ammónium direkt anaerob oxidációjára (ANAMMOX).

A hazai helyzetet a régóta fennálló és ma is érzékelhető időkésés jellemzi mindezzel kapcsolatban, azonban a „növekedés korlátai” (vízdíjak, megfizethető szolgáltatás) egyre inkább ösztönöznek arra, hogy Magyarországon is új, innovatív megoldásokat találjunk és alkalmazzunk.

Az innovatív szennyvíztisztítás egy hazai példája

A IASON (Intelligent Activated Sludge Operated by Nanotechnology) projekt keretében egy - a korábbi fejlesztési irányoktól teljesen eltérő – innovatív megoldást alkalmaztunk, melyben kihasználjuk a nanotechnológia által kínált lehetőségeket a szennyvíztisztításban részt vevő baktérium kultúrák működésének közvetlen szabályozására. Az eljárásban mesterségesen előállított hidrogéleket használtunk fel hordozóanyagként, melyek stabil vázszerkezetet alkotnak a betelepítendő biofilm számára.

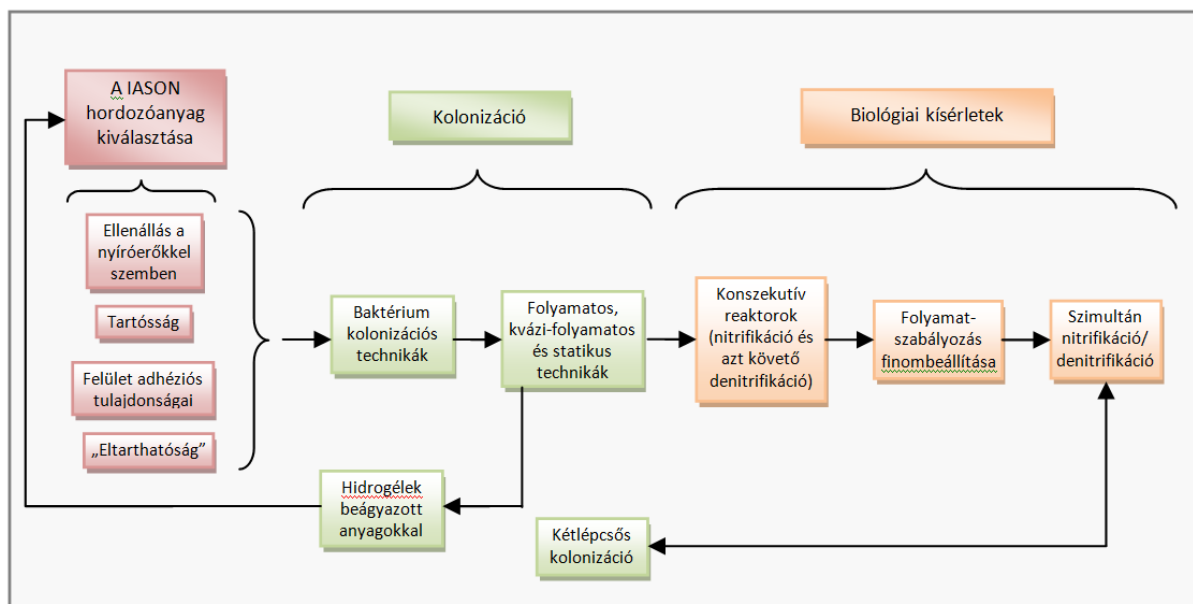
A hidrogél alkalmazásával létrehozott, mesterségesen szabályozott bakteriális pelyheknek (mikroreaktoroknak) számos előnye van a hagyományos eleveniszapos pelyhekhez viszonyítva. Így például a biofilmes rendszerek mikroreaktoraiban komplex szennyvíztechnológiai feladatok valósíthatók meg egyetlen, levegőztetett reaktortérben (szimultán nitrifikáció/denitrifikáció). Ez azt jelenti, hogy nem szükséges az egyes aerob/anoxikus funkcióknak külön-külön reaktortereket (műtárgyakat) építeni, hanem a két, eltérő környezeti igényű reakció egymással párhuzamosan, ugyanabban a levegőztetett reaktortérben egyidejűleg is megvalósítható.



1. ábra: Bakteriális biofilmmel betelepített mikroszkópos méretű hordozóanyag (működő mikroreaktor)

A BME VKKT Szennyvíz-technológiai Laboratóriumában kiválasztottuk a baktériumok megtelepedésére alkalmas anyagokat és ezek megjelenési formáit, illetve meghatároztuk az optimális pehelyméretet és geometriát. A 3/081/2004 sz. NKFP projekt keretében több mint 40 géltípust teszteltünk, a céljainknak a PAV-PAS (polivinilalkohol-poliakrilsav kopolimer) gél felelt meg a legjobban, melynek belsejébe a porozitás növelésére keményítőt szintetizáltunk.

A kutatás-fejlesztés során kidolgoztuk a mikroszkopikus reaktorok (hidrogél felületeken immobilizált szennyvíz mikroorganizmusok biofilm szerkezetben) létrehozásához szükséges eljárást. A megfelelőnek ítélt géltípusok kiválasztása után elvégeztük azok „finomhangolását” (pl. részecskeméret eloszlás optimalálása), illetve szennyvíz technológiai rendszerbe illesztését, a 2. ábrán bemutatott koncepció alapján.



2. ábra: A kutatás során a gélek szelektálására és technológiai alkalmazására használt koncepció

Az optimális géltípus meghatározása során figyelembe vettük a betelepíthetőséget, a biodegradálhatóságot, stabilitást, méret-eloszlást, alkalmazhatóságot és a szintetizálhatóságot.

A betelepíthetőség esetében laboratóriumi körülmények között vizsgáltuk, milyen mértékben és mennyi idő alatt tudnak a baktériumok megtelepedni a különböző géleken. A biodegradálhatósági vizsgálatok célja olyan anyag kiválasztása volt, amely biológiailag nehezen bomlik le, ezzel biztosítva a mikroreaktorok megfelelő élettartamát. A méreteloszlás és stabilitás vizsgálatoknál meg kellett győződni, hogy adott géltípus megfelelő méretű elemekből áll, annak érdekében, hogy helyettesíteni lehessen vele a hagyományos eleveniszapos pelyheket. A vizsgálatok kiterjedtek a gélek baktériumokra gyakorolt toxikus hatásainak monitorozására is.

A betelepítési kísérletekben heterotróf és autotróf mikroorganizmusokat szaporítottunk a gélek felszínén mesterséges és „valódi” kommunális szennyvizek felhasználásával. A laboratóriumi mérések során vizsgáltuk a szervesanyag lebontás, denitrifikáció és nitrifikáció hatásfokát. Emellett vizsgáltuk a mikroreaktorokban a biofilm környezeti toleranciáját és teljesítményét (reagálás a pH, redoxpotenciál szint, oldott oxigéntartalom, stb. változásokra). A géleken kialakított biofilmek segítségével sikerült hatékony nitrifikációt és denitrifikációt megvalósítani és egyetlen, levegőztetett reaktorban is (szimultán nitrifikáció/denitrifikáció).

Az eredmények alapján elmondható, hogy a szabályozott szerkezeti tulajdonságokkal felruházott mikroreaktorok alkalmazásával a biológiai szennyvíztisztítás mindkét alapfolyamata közvetlenül irányítható lesz: megoldható a szervesanyagok biológiai lebontása és a növényi tápanyag eltávolítás, illetve az ezt követő fázisszérválasztás, az ülepítés közvetlen szabályozása is.

Kitekintés és jövőkép

A magyarországi szennyvíztisztító telepeken nagyon sokféle tisztítás-technológia fellehető: a szennyvíziparban érdekelt nemzetközi cégek által értékesített technológiák széles spektruma jelent meg az elmúlt két évtizedben. Az alkalmazott technológiák, melyek részben külföldről, részben más hazai példából átvettek, gyakran nincsenek megfelelően adaptálva a nyers szennyvíz és felszíni befogadó által meghatározott követelményekhez, illetve a tisztított szennyvíz minőségére vonatkozó határértékhez. A hazai tervezési módszerek alapelvei nem egységesek, a szimulációs modellekkel való tervezés során az adatfelvétel eljárásai nem kiforrottak, esetenként hibásak. Mindezekből következően a szennyvíztisztító telepek nem képesek alkalmazkodni a kedvezőtlen nyers szennyvíz minőséghez, illetve annak változékonyságához.

Szennyvíztisztító telepet a beruházó 30-50 évre épít – de a jogszabályi környezet (a tisztított szennyvízre vonatkozó határértékek) és a szennyvíz minősége és mennyisége is 5-10 évente átalakul. Ez önmagában is olyan ellentmondás, amely felveti a moduláris és funkcióiban adaptációra képes technológiák igényét. Erre kínál műszaki megoldást az előbbiekben bemutatott IASON technológia.

Az uniós tagságunkból eredő környezetvédelmi kötelezettségeink teljesítése nyomán több száz új szennyvíztisztító telep épült és számos régebbi szennyvíztisztító telepen megvalósult a rekonstrukció és intenzifikáció. A beruházási források jelentős csökkenésével a hatalmas, részben új közművagon üzemeltetési terhei azonban hosszú időn keresztül jelentkezni fognak a közüzemi díjakban. Tekintettel az elhúzódó gazdasági válságra és az egyéb környezeti elemek (levegő, talaj) védelmére, a szennyvíztisztítási technológiákat egyre inkább a teljes „problémakörnyezetükbe” ágyazva (üzemeltetési költségek, CO₂ emisszió, ökológiai lábnyom, iszapelhelyezés, stb.) szükséges továbbfejleszteni. Mindez olyan kihívások elé állítja a XXI. századi szennyvíztisztítást, amelyek arra mutatnak, hogy a fejlődés hagyományos útjait hosszú távon nem lehet fenntartani, azaz az innovatív módszerek térhódítása várható a jövőben.