

Nyugat-Magyarországi Egyetem

PhD értekezés tézisei

**NEHEZEN BONTHATÓ, VAGY TOXIKUS KOMPONENSEKET TARTALMAZÓ
IPARI SZENNYVIZEK BIOLÓGIAI KEZELÉSE**

Farkas Ferenc

Sopron
2003.

BEVEZETÉS

A környezetvédelem fokozott előtérbe kerülése, a befogadóba jutó különböző – szerves és szervetlen – anyagok által kiváltott folyamatok feltárása és ezzel összefüggésben a szennyvíztisztítás nyomán előálló tisztított szennyvízzel szemben támasztott követelmények szigorodása világszerte új eljárások alkalmazását tette szükségessé. A biotechnológia robbanásszerű fejlődése nyomán – fentiek mellett, ill. azokon túlmenően – bizonyítást nyert az, hogy a szennyvíztisztító bioreaktorok elrendezése, azok tagolása ill. térkiosztása, alapvetően befolyásolhatja a tisztítási folyamat hatékonyságát. Különösen nagy körültekintéssel kell eljárni abban az esetben, amikor a szennyvíz toxikus jellegű anyagokat tartalmaz.

CÉLKITŰZÉSEK

A doktori dolgozat tárgyát képező kísérletek célja a toxikus jellegű szennyvizek tisztítására alkalmazott bioreaktor elrendezés költségkímélő átalakítással megvalósítható optimalása. Toxikus komponenseket tartalmazó szennyvizek eleveniszapos tisztítására folytonos fázisú kísérleteket végeztünk, és új lehetőségeket tártunk fel a hatékony, kötöttágyas utótisztításra. A folytonos kísérletek hátrányainak – nagy munka- és berendezés igény, hosszadalmas kísérletek stb. – kiküszöbölésére alkalmas szakaszos kísérletben is bizonyítani kívántuk a bioreaktor konfiguráció lebontásra gyakorolt hatását.

KÍSÉRLETI MÓDSZEREK

Laboratóriumi modellberendezéseink kialakításához egy együttműködő hazai vegyipari nagyvállalat – a Nitrokémia Rt. – meglévő eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerének műtárgyállományát vettük alapul, azok térfogatarányos modelljeit építettük fel azért, hogy kísérleti eredményeinket később a gyakorlatban is megvalósíthassuk.

A kísérletek során a szennyvíz tisztításának hatékonyságát, valamint az egyes rendszerekben kialakult eleveniszap ülepedési és szűrhetőségi tulajdonságait tanulmányoztuk. A szennyvíz paramétereit közül a pH-t, a kémiai oxigénigényt, a nitrogénformákat – nitrát, nitrit, ammónia – valamint az ortofoszfát ionok koncentrációja és az összes-só tartalom változását követtük nyomon. Mértük a reaktorokban kialakult hőmérsékletet és az oldott oxigén koncentrációt. A szennyvíz egyedi szerves komponenseinek vizsgálata gázkromatográfiás-tömegspektrometriás módszerrel végeztük. Kü-

lönös figyelmet fordítottunk az iszapok mennyiségének és kezelhetőségének (ülepíthetőség és szűrhetőség) összehasonlító tanulmányozására.

Az **első kísérletsorozatban** három különböző: egy **párhuzamos kapcsolású referencia, egy egyiszapkörös és egy kétiszapkörös soros eleveniszapos szennyvíztisztító rendszer** modelljét építettük fel. Valamennyi rendszer közös jellemzője volt, hogy első elemként egy denitrifikáló reaktort tartalmazott. Ezt követték a levegőztetett reaktorok és az ülepítők, eltérő kapcsolási sorrendben. A tisztítandó szennyvíz teljes mennyiségét a denitrifikáló reaktorba tápláltuk. A kísérletet 9 héten keresztül végeztük folyamatosan.

A **második kísérletsorozatban** négy modellberendezést üzemeltettünk egyidejűleg, az előzőekben kedvezőbbnek bizonyult **soros alaprendszer leghatékonyabb kialakítási formájának feltárása érdekében**. A referenciaként működő párhuzamos rendszert két különböző variációjú egyiszapos és egy kétiszapos soros rendszerrel vetettük össze. Rendszereinket ~11 héten keresztül üzemeltettük.

A különböző reaktorelrendezésű rendszerek működésében – a korábbi tapasztalatoknak megfelelően – jelentős eltérések mutatkoztak. **A legtöbb vizsgált szempontból a legkedvezőbbnek a bioreaktorok 1+1+3 kapcsolásával kialakított egyiszapos elrendezés bizonyult.** Ez a rendszer eredményezte a legstabilabb üzemmenetet, a zavarások legnagyobb mértékű tolerálását, és viszonylag jól kezelhető iszapot.

A **harmadik kísérletsorozatban** elvégzett vizsgálatok a korábbi kísérleti tapasztalatokra épülve, az azok összegzéséből származó **új felismerésekben rejlő lehetőségek kiaknázását** célozták. Az egyiszapos rendszerrel (I. alaprendszer) egy soros elrendezésű szennyvíztisztító telepet modelleztünk. A kétiszapos rendszer (II. alaprendszer) egy hagyományos, két elkülönített iszapkörös elrendezésű telepet képviselt.

A korábbi kísérleti tapasztalataink alapján fejlesztettük ki – a **212 001 lajstromszámon szabadalmi oltalmat kapott** – ún. **módosított kétiszapos eljárást** (III. rendszer), amely az egyiszapos és a kétiszapos kapcsolási lehetőségek előnyeinek ötvözését, hátrányainak kiküszöbölését szolgálja. Megőrzi a vegyipari szennyvizek kétlépcsős biológiai tisztításának azt az előnyét, hogy a második lépcső mikroflórája a többé-kevésbé mérgező jellegű anyagok jóval kisebb lokális koncentrációja mellett növekedhet. Ennek megfelelően lehetőség nyílik az inhibícióra érzékenyebb, pl.

nitrifikáló szervezetek stabil rendszerben tartására. Ugyanakkor csökkenti az első lépcsőben a haváriás mérgezés veszélyét, és lehetővé teszi a második lépcsőben keletkezett nitrát denitrifikálását. A rendszer elején elhelyezett denitrifikáló reaktor a lejátszódó mikrobiális folyamatok jellegének következtében pH növelő, stabilizáló hatású. Ezért a tisztítandó szennyvíz semlegesítésének során elegendő a pH értékét a 4,5 – 5,5 tartományba beállítani. A III. rendszer elrendezésében és térfogataiban alapvetően meggyezett a II. jelűvel, azzal a lényeges eltéréssel, hogy – kiküszöbölendő a kétiszapkoros rendszer előző kísérletsorozatokban tapasztalt hátrányait – az utóülepítőből származó tisztított víz egy részét visszavezettük a denitrifikáló egységbe. Kiepítettük továbbá annak a lehetőségét, hogy a tisztítandó szennyvíz 3 – 5%-át közvetlenül a második lépcső levegőztető medencéjébe juttathassuk. A 102 napon át végzett összehasonlító modellkísérlet eredményei igazolták a kidolgozott eleveniszapos rendszer előnyeit, mind a viszonylag alacsony terhelésű, mind a nagyterhelésű kísérleti időszakban.

Az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztító egységről elfolyó víz minőségének további javítását célozta az a felismerés, hogy hordozóanyagokon megtelepített mikroflóra alkalmazásával, a biológiai szennyvíztisztító egység elfolyó vizét befolyóként felhasználva utótisztító lépcső alakítható ki. **A negyedik kísérletsorozatban** ennek megfelelően a **kötöttágyas biológiai utótisztítás** vizsgálatát végeztük el, ami a **216 576 lajstromszámon szabadalmi oltalmat kapott eljárás és berendezés** kidolgozásához vezetett.

A legegyszerűbb tanulmányozott rendszer egy önálló aerob reaktorból állt. Az anoxikus/aerob rendszert egy anoxikus és egy aerob reaktor sorba kapcsolásával kaptuk, míg az anoxikus/anaerob/aerob rendszert sorba kötött anoxikus, anaerob és aerob reaktorok alkották. A vizsgálatok során a reaktorok recirkuláció nélküli, egyszerű átfolyásos egységként működtek. Az anoxikus/aerob, ill. az anoxikus/anaerob/aerob rendszerek a megfelelően szükséges nagyobb ráfordítást – kétszeres, ill. háromszoros reaktortérfogatok stb. – szignifikánsan nagyobb hatékonysággal nem támasztották alá, ezért utánkötésre az aerob lépcsőt elégségesnek találtuk.

Az ötödik kísérletsorozatban az optimált eleveniszapos biológiai tisztító rendszer és az utótisztító egység együttes hatékonyságának tanulmányozását végeztük el. Ezeket az egységeket egymással összekapcsolva üzemeltettük. A módosított kétiszapos alaprendszer és az utótisztító egy-

ség két különböző kombinációjának hatékonyságát vetettük össze. Az egyik elrendezésben az utótisztító reaktort az alaprendszer után kapcsoltuk, a másik megoldásban a hordozóanyagot – természetesen a rajta megtelepített mikroflórával együtt – a rendszer második lépcsőjének bioreaktorába merítettük. Harmadik kombinált rendszerként az egyizapos alaprendszert működtettük, utótisztító reaktorral kiegészítve. Az összekapcsolást követően az alaprendszerek után kötött utótisztítóknál a hidraulikai tartózkodási időt 3 órára állítottuk be.

A kezeletlen modellszennyvíz és az egyes – utótisztító egységekkel elátott – rendszerek tisztított vizeinek toxikológiai és részletes analitikai vizsgálatát is elvégeztettük 3 alkalommal.

Megállapítható volt, hogy **a sorbakötött utótisztító egység a mérgező anyagok és a szín eltávolításában jelentős eredményt hozott.**

A folytonos üzemű rendszerek modellezésére használt szakaszos kísérletben laboratóriumi méretű, tökéletesen kevert elevenizapos tankreaktor (CMAS azaz *Completely Mixed Activated Sludge*) és egy szakaszos reaktor (SBR azaz *Sequencing Batch Reactor*) extant kinetikai paramétereit hasonlítottuk össze, különböző terheléseknél. A kísérleteket a Clemson University SC. USA Department of Environmental Engineering and Science tanszékén végeztük el. A vizsgálatokhoz kapcsolódóan az SBR reaktort 5 hónapon keresztül üzemeltettük.

A párhuzamos kapcsolást képviselő CMAS reaktorokat állandó körülmények között, (állandó iszap- és hidraulikai tartózkodási idő és szervesanyag terhelés mellett) működtettük. A biodegradációs kinetika időbeni alakulásának nyomon követése érdekében az extant kinetikai paramétereiket respirometrikus módszerrel, periodikusan mértük két tesztvegyületre. Az eredményeket a változó terheléssel működtetett SBR reaktor eredményeivel hasonlítottuk össze. **A sorba kapcsolt reaktorokat modellező SBR-ben** a koncentráció gradienst időben valósítottuk meg. A terhelés jellemzésére az F/M arányt (**F**ood/**M**icroorganism, azaz egységnyi idő alatt betáplált szerves anyag terhelés/biomassza tömeg) használtuk fel.

A tökéletesen kevert elevenizapos tankreaktor (CMAS) esetében a biológiailag könnyen bontható tápanyagokat a megelőző szelektorba, a xenobiotikus komponenseket (a célszubsztrátokat is, vagyis a fenolt és az izoforont) pedig közvetlenül a reaktorba tápláltuk be $F/M = 4,5 \text{ nap}^{-1}$ aránynak megfelelő térfogatárammal. Így, annak ellenére, hogy a CMAS reaktor előtt egy szelektort is alkalmaztunk, a xenobiotikus komponensekre nézve nem volt szubsztrátgradiens a rendszerben.

Az SBR ezzel szemben a biológiailag könnyen bontható és a xenobiotikus szubsztrátot egyszerre kapta, így az F/M növelésekor a koncentráció gradiens a terheléssel arányosan növekedett a reaktorban. Az SBR reaktorban a terhelést 2,25 és 18 nap⁻¹ között változtattuk. Arra számítottunk, hogy a célszubsztrát koncentráció gradiensenek változására kialakul a szelektorhatás, vagyis olyan mikroflóra, amely magasabb biodegradációs sebességgel rendelkezik.

A hidraulikus tartózkodási időt (HRT), az iszap tartózkodási időt (SRT), a hasznos reaktortérfogatot, a levegőztetés térfogatáramát, a pH értékét és az iszap recirkulációs arányát mindegyik rendszerben azonos értékre állítottuk be. A reaktor terhelését (F/M) a betáplálási sebesség módosításával változtattuk. Terhelésváltoztatás után 3 hétig (~3 SRT) működtettük a reaktort azonos üzemben, hogy az állandósult (steady-state) állapot kialakulhasson.

Az eleveniszap kinetikai paramétereit respirometriásan mértük minden terhelési állapotban mind az SBR, mind a CMAS reaktorokban, mindkét célszubsztrátra. A kapott oxigénfogyási adatokra nemlineáris, negyedrendű Runge-Kutta módszerrel görbét illesztettünk, a számított μ_{\max} és K_S adatokból képzett fajlagos növekedési sebességet ábrázoltuk a szubsztrátkoncentráció függvényében, így egy görbesereget generáltunk, majd a mesterségesen kapott görbesereget átlagoltuk, hogy reprezentatív átlagértéket kapjunk.

ÖSSZEFOGLALÁS

A folytonos üzemi kísérletek és az **SBR reaktor felhasználásával elvégzett szakaszos kísérletek és kinetikai mérések alátámasztották azt a hipotézist, hogy a célszubsztrát koncentráció gradiense úgy szelektálja a mikroflórát, hogy a magasabb bontási sebességű és/vagy magasabb inhibíciós toleranciájú populáció élvez előnyöket. Ez megfelelő magyarázatot szolgáltat arra, hogy toxikus jellegű szerves anyagok tisztítására miért előnyösebbek a szubsztrát gradienst biztosító soros elrendezésű rendszerek.** Az ettől való esetenkénti eltérések ugyanakkor azt sugallják, hogy az extant kinetikai paramétereket más faktorok is befolyásolják.

TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK (TÉZISEK)

[1] A biológiai tisztításra kerülő szennyvíz **előkészítésére** kidolgoztunk egy, a jelenleg alkalmazottól eltérő, új módszert. Ennek lényege, hogy a többi szennyvíztől különválasztott, speciális szennyezéseket tartalmazó üzemi szennyvíz pH-ját mészhidrát hozzáadásával 12-es értékre állítottuk, melynek eredményeként nagy pelyhekből álló, jól ülepedő csapadékot kaptunk. Az ülepítés után kapott tiszta oldatot a többi szennyvizek nem semlegesített keverékéhez adva, a kapott elegy pH-ját további mészhidrát adagolással, csapadék kiválása nélkül tudtuk beállítani.

Megállapítottuk, hogy amennyiben a speciális szennyezéseket tartalmazó üzemi szennyvizét előkezeljük, az összes szennyvízmennyiség kevesebb mészhidrát felhasználását igényli, kisebb térfogatban képződő és jobban ülepedő csapadékot ad és ezeken az előnyökön túl, az így előkészített szennyvíz összes-só tartalma és szulfát-ion koncentrációja is kisebb, mint a szennyvizek együttes semlegesítésével nyert víz esetében.

[2] A különböző reaktorelrendezésű rendszerek működésében jelentős eltéréseket mutattunk ki. Minden vizsgált szempontból legkedvezőbbnek a levegőztetett reaktorok **soros kapcsolásával** kialakítható elrendezés bizonyult. Ez eredményezte a legstabilabb üzemmenetet, a zavarások legnagyobb mértékű tolerálását, a legjobb elfolyó vízminőséget és a legkedvezőbben kezelhető iszapszerkezetet. Mivel a szóban forgó üzemi modellrendszerben a meglévő négy műtárgy közül kettő ülepítőjét nem használtuk fel, ezek legcélszerűbb technológiai sorba állítása a további intenzifikálás fontos lehetőségét kínálja. A vizsgálatok arra utaltak, hogy a levegőztető medencék optimális sorba kapcsolása által esetleg teljes műtárgyak is kiiktathatók lennének a rendszerből, ezek azután további hasznosításra nyújthatnak lehetőséget.

[3] Mérési eredményeink birtokában megállapítható, hogy a soros kapcsoláson belül a különböző reaktorelrendezésű rendszerek működésében jelentős eltérések mutatkoztak. A legtöbb vizsgált szempontból a **legkedvezőbbnek a bioreaktorok 1+1+3 kapcsolásával** kialakítható elrendezés bizonyult. Ez a rendszer eredményezte a legstabilabb üzemmenetet, a zavarások legnagyobb mértékű tolerálását és viszonylag jól kezelhető iszapot.

[4] Három különböző elrendezés összehasonlítása révén információt kaptunk arra vonatkozóan, hogy egy-egy műtárgy tisztítási láncból való kiiktatása milyen következményekkel jár a tisztított víz minőségét illetően. Az eredmények ismeretében megállapítható, hogy a 1+1+3 és 1+1+2 rendszerek közötti reaktortérfogat különbség – normális üzemenet mellett – nem okoz jelentős eltérést. Üzemi igazoló kísérlet után valószínű, hogy a tisztítási láncból **egy műtárgy** hosszú távon is **kihagyható**, ill. utótisztítás céljaira felhasználható.

A kapott adatok azt mutatják, hogy a két iszapkörös 1+2+2 elrendezésű rendszer egy műtárgy kiesését jóval kevésbé tolerálja. Egy első reaktor kiesése esetén a mérgezés veszélye növekszik, a második lépcső egy egységének kiiktatása nyomán pedig elsősorban az ülepítésben jelentkeznek problémák.

[5] Az egy és két iszapkörös elrendezésű rendszerek előnyeinek egyesítése, és a két iszapkörös rendszer hátrányainak kiküszöbölése érdekében helyszíni modellkísérletekben különböző elrendezésű rendszerek hatékonyságát vetettük össze tisztítási paramétereik alapján. A kísérletsor eredményeként fejlesztettük ki – *a szabadalmi oltalmat élvező* – ún. **módosított kétiszapos eljárást**. Az elrendezés megőrzi a vegyipari szennyvizek kétlépcsős biológiai tisztításának azt az előnyét, hogy a második lépcső mikroflórája a többé-kevésbé mérgező jellegű anyagok jóval kisebb lokális koncentrációja mellett növekedhet. Ennek megfelelően lehetőség nyílik az inhibícióra érzékenyebb, pl. nitrifikáló szervezetek stabil rendszerben tartására. Ugyanakkor csökkenti az első lépcsőben a haváriás mérgezés veszélyét és lehetővé teszi a második lépcsőben keletkezett nitrát denitrifikálását. A rendszer elején elhelyezett denitrifikáló reaktor a lejátszódó mikrobiális folyamatok jellegének következtében pH növelő, stabilizáló hatású. Ezért a tisztítandó szennyvíz semlegesítésének során elegendő a pH értékét a 4,5 – 5,5 tartományba beállítani. A helyszínen 102 napon át végzett **összehasonlító modellkísérletek eredményei egyértelműen igazolták ezen kidolgozott eleveniszapos rendszer előnyeit, mind a viszonylag alacsony terhelésű, mind a nagyterhelésű kísérleti időszakban.**

[6] Kísérleteink során kidolgoztunk az **utótisztítás** céljára egy speciális – aktívszén tartalmú – szálanyagban, mint hordozón megtelepített mikroflórát tartalmazó reaktorokból álló rendszert. Megállapítottuk, hogy a kidolgozott eljárás mind a **szerves anyag eltávolítási, mind stabilitási szempontból** hatékonynak bizonyult. Különösen jó eredmé-

nyeket értünk el a jelenlegi tisztítóról elfolyó víz **ammónia tartalmának csökkentésében**, és az eleveniszapos rendszerek utóülepítőjét elhagyó elegyek **színének eliminálásában**, átlátszóságának, tükrösségének egyértelmű javításában, ami egyébként világszerte igen nagy problémát jelent. **A felsorolt előnyök alapján az eljárás szabadalmi oltalmat kapott.**

- [7] Az anoxikus/aerob, ill. az anoxikus/anaerob/aerob kötöttágyas rendszerek a megfelelően szükséges nagyobb ráfordítást – kétszeres, ill. háromszoros reaktortérfogatok stb. – szignifikánsan nagyobb hatékonysággal nem támasztották alá, ezért utánkötésre az **aerob lépcsőt elégségesnek** találtuk. Ennek előnye, hogy nitrát kerül az utótározóba, ami ott lebomlik, és a bűzös anaerob folyamatokat gátolja.
- [8] A helyszíni modellkísérlet során a modellszennyvíz többek között benzol-, toluol-, xilol- és különböző klórfenol vegyületeket, valamint AD-67-et és acetoklórt is tartalmazott. A hígítatlan szennyvíz három tesztszervezet – *Daphnia Magna* (kisrák), *Scenedesmus obtusiusculus* (alga), *Zebra Dánió* (hal) – esetén teljes pusztulást okozott. A biológiai tisztítás után a helyzet minden esetben javult. Az összegzett vélemény alapján azonban az eleveniszapos reaktorban bemerített hordozót tartalmazó rendszerről elfolyó víz toxicitása még mindig határérték feletti volt. **Mind az egyiszapos, mind a módosított kétiszapos – utótisztítót tartalmazó – rendszerek tisztított vizének minősége kielégítette az előírt követelményeket.** Ennek alapján az analitikai vizsgálatok eredményeit alátámasztva megállapítható, hogy a sorbakötött utótisztító egység a mérgező anyagok eltávolításában megoldást hozott.
- [9] A **kinetikai vizsgálatok** során megállapítottuk, hogy fenol biodegradációjakor az extant módszerrel mérhető kinetikai paraméter készlet az F/M arány növelésével arányosan változik, azaz olyan mikroflóra alakul ki, amely magasabb biodegradációs sebességgel rendelkezik, ami magasabb növekedési sebességet eredményez a nagyobb szubsztrát koncentrációknál. Ugyanakkor azt is megállapítottuk, hogy egészen kis terhelésnél (az F/M=2,25 terhelési állapotnál) az SBR-ben alacsonyabb degradációs sebesség adódott, mint a CMAS rendszerben, amelynek szelektorában az F/M arány 4,5 volt.
- [10] Az **izoforonra** kapott **kinetikai eredmények** alapján megállapítottuk, hogy a CMAS rendszerben a bontást végző populáció a hosszú vizsgálati időszak során megváltozott. A biomassza megváltozása előtti

eredmények szerint az izoforon az Andrews kinetikának megfelelően bomlott le mindkét reaktor típusban. Az SBR és CMAS rendszerek eredményeinek az $F/M=4,5$, 9 és 18 arányoknál végzett összehasonlításakor azt tapasztaltuk, hogy a **növekvő terhelés növekvő biodegradációs képességet eredményezett**, de csak az $F/M=18$ aránynál volt nagyobb az SBR degradációs kapacitása, mint a CMAS rendszeré, akkor is csak a magasabb szubsztrát koncentrációknál. Mind a három SBR paraméter készletben a K_I értékei magasabbak voltak, mint a CMAS rendszeré, jelezvén a **szubsztrát inhibícióval szembeni tolerancia növekedését**.

- [11] Az izoforon bontó populáció megváltozását követően hajtottuk végre a CMAS és SBR rendszerekben a legalacsonyabb $F/M=2,25$ aránynál a kinetika mérést. Ezekben a mérésekben mindkét rendszer a Monod kinetika szerint viselkedett. A **CMAS rendszer bizonyította kompetitív előnyét az SBR rendszerrel szemben**, (a $0,005$ g/l –nél magasabb szubsztrát koncentrációk esetében) amely éppen az ellenkezője annak, mint amit a szakirodalom alapján a kísérlettől vártunk.
- [12] A CMAS és SBR rendszerekben elvégzett kinetikai paraméter meghatározások eredményei szerint megállapítható – különösen az $F/M=2,25$ terhelésnél –, hogy **a célszubsztrát bontási sebességét befolyásolta a biológiailag könnyen bontható komponensek koncentráció gradiense** az adott rendszerben, ami azzal magyarázható, hogy a jelen levő biomassza zöme képes lehet bontani a betáplált szennyvíz összes –vagy majdnem az összes – biogén komponensét, amelyek a reaktorba táplált szerves anyag jelentős hányadát képviselik. A biológiailag könnyen bontható komponensek koncentráció gradiense meghatározó szerepet játszott a fenol és izoforon bontó mikroorganizmusok fiziológiai állapotának kialakulásában, ami egyúttal a szóban forgó vegyületek bontási sebességét is meghatározza.

Publikációk jegyzéke

Könyv, könyvrészlet:

1. Dr. Farkas F., Farkas F.: A ragasztás kézikönyve. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. (1997).
2. Dr. Farkas F., Farkas F.(5. Fej.): A műanyagok és a környezet. Akadémiai Kiadó Rt. Budapest. (2000).

Disszertáció

1. Farkas Ferenc: A kommunális szennyvizek eleveniszapos tisztítására kidolgozott SSSP modell leírása és alkalmazhatóságának vizsgálata. Szakdolgozat. Budapesti Műszaki Egyetem, Mezőgazdasági Kémiai Technológia Tanszék. (1991).
2. Farkas Ferenc: A reaktorelrendezés hatása a biológiai szennyvíztisztító telep működésére kísérletileg és számítógépes modellben. Diplomamunka. Budapesti Műszaki Egyetem, Mezőgazdasági Kémiai Technológia Tanszék. (1993).

Lektorált folyóirat cikkek

Külföldi, idegen nyelvű folyóiratban

1. Jobbágy, A., Literáthy, B., Farkas, F., Garai, Gy., Kovács, Gy.: Evolution of the Southpest Wastewater Treatment Plant. *Water Science and Technology*. **41** (9). p. 7 – 14. (2000).
2. Magbanua, B. S. Jr., Stanfill, J. C., Fehniger, S. M., Smets, B. F., Farkas, F., and Grady C. P. L. Jr.: Relative Efficacy of Intrinsic and Extant Parameters for Modeling Biodegradation of Synthetic Organic Compounds in Activated Sludge: Dynamic Systems. *Water Environment Research*. (közlésre benyújtva)

Magyarországon megjelent, idegen nyelvű folyóiratban

1. Jobbágy, A., Farkas, F., Garai, Gy., Sevelle, B., Oszoly, T.: Trial operation of a selector at the Northpest Wastewater Treatment Plant. *Periodica Polytechnica*. (közlésre elfogadva)

Magyar nyelvű folyóiratban

1. Jobbágy A., Bagyinszki Gy., Farkas F., Morsányi G.: Az intenzív biológiai nitrogén- és foszforeltávolítást célzó reaktor elrendezések, *Csatornamű Információ*. (1) p. 4 – 13. (1996).
2. Jobbágy A., Simon J., Bagyinszki Gy., Farkas F., Oszoly T., Morsányi G.: A Délpesti Szennyvíztisztító Telep bioreaktorainak, foszforeltávolításának intenzifikálása. *Csatornamű Információ*. (2) p.16 – 25. (1996).

Nemzetközi konferencia kiadványban idegen nyelvű előadás

1. Jobbágy, A., Németh, N., Farkas, F., Nyeste, L., Altermatt, R.A.: Controlling the activated sludge floc-structure through an optimized bioreactor arrangement. *8th European Congress on Biotechnology*. Budapest. Hungary. August 17 – 21. proc.: p. 323 – 324. (1997).
2. Jobbágy, A., Garai Gy., Farkas F., Sevelle B., Oszoly T.: Enhanced nitrogen removal at the Northpest Wastewater Treatment Plant. *8th IAWQ Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants*. Budapest. Hungary. September 6 – 9. (Proc. p. 255 – 262). (1999).
3. Jobbágy, A., Literáthy, B., Farkas, F., Garai, Gy., Kovács, Gy.: Evolution of the Southpest Wastewater Treatment Plant. *8th IAWQ Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants*. Budapest. Hungary. September 6 – 9. (Proc. p. 247 – 254). (1999).
4. Ónody, K., Farkas, F., Bakay, M., Bálint, E., Béládi, I.: Antibodies neutralize the antiproliferative effect of interferons in the sera of interferon treated patients. *European Cytokine Network*. **9** (3) p. 434. (1998).

Nemzetközi konferencián idegen nyelvű előadás

1. Ónody, K., Farkas, F., Bakay, M., Bálint, E., Béládi, I.: Antibodies neutralize the antiproliferative effect of interferons in the sera of interferon treated patients. *Second Joint Meeting of the ICS and the ISICR* Jerusalem. Israel. October 25 – 30. (1998).
2. Ónody, K., Farkas, F., Béládi, I.: The effect of serum from interferon antibody positive patients on the interferon induced proliferation inhibition activity in vitro. *Regional Symposium on Medical Biotechnology* Szeged. March 29 – 31. (1998).
3. Ónody K., Farkas F.: A Report about the characterization of human Leukocyte Interferon (Egiferon[®]) and experiences of clinical use. *Central European Symposium on Applied Biotechnologies*. Szeged. Hungary. March 10 – 11. (1997).

Magyar nyelvű konferencia kiadványban előadás

1. Jobbágy A., Simon J., Németh N., Farkas F., Morsányi G., Oszoly T.: Az eleveniszap szerkezet optimalizálása a bioreaktor elrendezés költségkímélő átalakításával. *Veszprémi Környezetvédelmi Konferencia*. Veszprém. Május 27 – 28. (1997).

Magyar szabadalom

1. Jobbágy A., Baracska J., Réti T., Tóth J.-né, Farkas F., Simon J., Diószeginé E. E., Bagyinszki Gy.: Eljárás szennyvíz biológiai tisztítására két iszapkörös rendszerben. Lajstromszám: 212 001.
2. Jobbágy A., Baracska J., Réti T., Tóth J.-né, Simon J., Bagyinszki Gy., Farkas F., Morvai Gy.: Eljárás és berendezés szennyvizek biológiai tisztítására. Lajstromszám: 216 576.

