

Szakaszos betáplálású eleveniszapos szennyvíztisztítás /SBR/

dr Kárpáti Árpád

Veszprémi Egyetem, Kémiai Technológia Tanszék

1. Bevezetés

A szakaszos betáplálású - töltő - ürítő - eleveniszapos szennyvíztisztítók /Sequencing Batch Reactors -SBR/ az eleveniszapos rendszerek talán legkorábban üzemeltetett változatai. Mégis a század hetvenes éveinek végéig, részben a folyadék és levegőbetáplálás vezérlésének korábbi színvonala és a szakaszos folyadékfelvétel problémái, részben a kisebb települések szennyvíztisztításával szemben támasztott kevésbé szigorú követelmények miatt az ilyen rendszerek a nagy kapacitású tisztítók kiépítésére alkalmasabb, folyamatos átfolyású, egyenletesen levegőztetett tisztítókkal szemben háttérbe szorultak. A befogadók előírásainak szigorodása, az SBR szerencsés adottságai, megfelelő hatékonysága, egyszerűsége, és az, hogy iszapduzzadásra egyáltalán nem hajlamos, s így folyamatos felügyeletet sem különösebben igényel /részben éppen a részegységek és az irányítástechnika időközben bekövetkezett hatalmas fejlesztése eredményeként/, valamint nem utolsósorban a szennyvíztisztítás kis településeken legutóbbi években jelentkező általános igénye a megoldás ugrásszerű terjedését eredményezte. A felügyelet nélküli kis telepek egyébként is a vezérlés, automatika fejlesztését igényelték.

A témakör közleményei igazolni látszanak, hogy az SBR esetében megfelelő levegőztetés-szabályozással egyidejű nitrifikáció és denitrifikáció is biztosítható, ami a szabályozás új távlatait látszik megnyitni. A denitrifikáció és foszforleadás egyidejű, vagy egymást követő folyamatainak szabályozásáról napjainkra már hasonlóan vélekednek a kutatók. Mindezek alapján valószínű, hogy a levegőztetés és keverés szabályozása az aerob - anoxikus átalakulások, a nem levegőztetett szakaszok keverése, és közben a friss szennyvíz betáplálásának üteme, sebessége pedig a denitrifikáció és foszforleadás szabályozásának lehetőségét biztosíthatja.

Az SBR technológiák ilyen fejlesztése dinamikájának vizsgálata nélkül alig képzelhető el. Az SBR dinamikája ugyanakkor csakis számítógépes szimulációval értékelhető megfelelőképpen, hiszen annak működtetését nem csak az érkező szennyvíz mennyiségével változó terhelés ciklikusságának, hanem az üzemeltetés szinte minden művelete hasonló szakaszosságának figyelembevételével, a periodikusan ismétlődő részfolyamatok /makro és mikrociklusok/ együttes vizsgálatával, a reaktorkialakítás és hidrodinamika figyelembevételével, folyamatos változásában kell követni. A rendszer dinamikájában az ilyen üzemvitelnél alapvetően mégis a betáplálás szakaszossága a meghatározó. A technológia további fejlesztésénél figyelembe kell venni a levegőellátás vezérlésével, szabályozásával elérhető finomszabályozás lehetőségét is, ami a tapasztalatok alapján hasonlóképpen csak a gyakorlatban vagy azzal egyidejű dinamikus szimulációval vizsgálható.

2. Az eleveniszapos és SBR rendszerek fejlődése

A kezdeti időszakban a biológiai tisztítás feladata csak a szerves széntartalom, vagy abból eredő biológiai oxigénigény /BOI/ eltávolítása volt. Erre kitűnően megfelelt az egyetlen levegőztetőből és üleptetőből álló iszaprecirkulációs rendszer. Az utóbbi a keletkező biomassza visszatartása és folyamatos újrafelhasználása miatt elengedhetetlen, hiszen ez volt a tisztítás intenzifikálásának, az eleven iszapos rendszereknek a lényege.

Néhány évtized múltán felismerték, hogy a BOI eltávolítása önmagában kevés. A tisztított vízzel elfolyó ammónia sok oxigént fogyaszt, toxikus az élővizek halállományára, az oxidált forma pedig a befogadók ökológia egyensúlyát az eutrofizáció lehetősége révén veszélyezteti. Az ammónia oxidációja az eleveniszapos rendszerekben csak viszonylag kis relatív terhelés esetén lehetséges /ammónia oxidációját biztosító autotróf fajok lassú szaporodása miatt/.

A következő, hamarosan jelentkező igény az ammóniából keletkező nitrát, valamint az elsősorban lakossági eredetű foszfortartalom eltávolítása volt. Ezek a komponensek már lényegesen bonyolultabb, több reaktorból álló tisztító kiépítését tették szükségessé. A nitrát és foszfor eltávolítása ugyanis a korábban említett egyetlen reaktorban uralkodó, állandó körülmények, jó oxigénellátottság mellett nem lehetséges. A denitrifikáció érdekében anoxikus, a biológiai többletfoszfor eltávolításához anaerob reaktorszakasz vagy reakciós periódus, beiktatása vált szükségessé. Míg a denitrifikáció akár több lépcsőben is realizálható, a foszforleadás /PAH mikroorganizmusok tápanyagfelvétele/ csak a friss szennyvíz befolyási pontján érvényesülhet. Az így bonyolódott rendszerek gyakorlati kialakítása, reaktortechnikai kivitelezése végül is nagyon nagy számú változat létrejöttét eredményezte az elmúlt évtizedekben (Dobolyi, 1992; Czako-Miháltz 1993; Öllös, 1991, 1992, 1993, 1994; Kárpáti I-II, 1995).

A folyamatos betáplálású, állandósult üzemű rendszereknél (Kárpáti-Monozlay I 1995) a szükséges környezeti feltételek a bioreaktor együttes térben elkülönített szakaszaiban biztosítottak. Az SBR-nél az egyes reakciók döntően időben követik egymást az egyetlen reaktortérben, amely egyben utóüleptető is (Leupold et. al., 1993; Norcross, 1992; Melcer et. al., 1987).

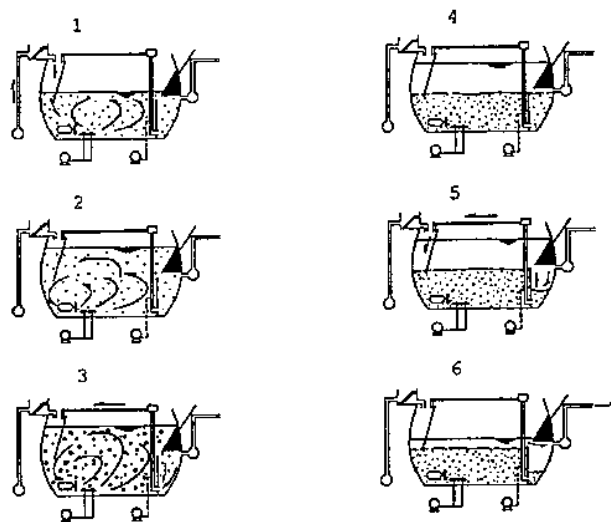
Az első gyakorlatban alkalmazott eleveniszapos rendszerek tulajdonképpen nem is voltak igazán folyamatos üzeműek. Ezek a század elején olyan szakaszos rendszerek voltak, melyeket a lakossági szennyvízhozam változásának megfelelően periodikusan feltöltöttek, majd megfelelő kezelés után leürítettek. Elkülönített üleptetővel vagy anélkül /SBR/ üzemeltek. A szakaszos levegőztetésnek a hátrányai / levegő-beviteli technika adott színvonala/ miatt akkor hamarosan folyamatos betáplálásúvá alakították azokat.

A szennyvíztisztítás gyakorlatában azonban a folyamatos üzemű rendszerek bevezetéséig az iszapduzzadás problémáját nem ismerték (Chambers, 1993). Ez arra utal, hogy a szakaszos rendszereknek volt valamilyen véletlenszerű, előnyös tulajdonsága, ami a fonalasok elszaporodásának megakadályozását eredményezte. Ezt követően csaknem fél évszázadon keresztül senki sem ismert fel, hogy a folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszereknek ezt a problémáját az SBR miért is tudja küszöbölni. Egyszerűen feledésbe merültek egy időre az SBR üzem mód tapasztalatai, hogy azután fél évszázad után ismét érvényesülhessenek (Irvine 1989).

3. Szakaszos betáplálású eleveniszapos szennyvíztisztítók részműveletei

A ciklus indulásakor viszonylagosan jobb tápanyagellátást biztosít. A reakciók a tökéletesen kevert tankreaktorban a betáplálás után időben ugyanolyan koncentráció csökkenést biztosítanak, mint milyen a csőreaktor hossza mentén kialakul. A koncentráció-gradiens eredményezte szelekció mellett az anoxikus és anaerob periódusok kedvező hatása is ugyanúgy érvényesül, mint bármelyik folyamatos betáplálású, reaktorzónákra osztott rendszerben, ami az iszapduzzadás visszaszorításához szükséges szelekciót biztosítja.

Az SBR esetén a többletfoszfor eltávolítására képes, úgynevezett poly-P mikroorganizmusok kifejlődéséhez szükséges körülmények is biztosíthatók, így elvileg a mai kor igényeit kielégítő teljes biológiai tápanyag-eltávolításra is alkalmas. A szakaszos betáplálású rendszerek működési elvét a 1. ábra egyszerűsítve szemlélteti.



1.ábra: A szakaszos betáplálású eleveniszapos tisztító /SBR/ egymást követő ciklusainak szemléltetése (Imura et. al.,1993)

A szakaszos betáplálás és ürítés miatt az ilyen rendszereknél mind a belépő, mind a kilépő ponton kiegyenlítő térfogatok kiépítése szükséges. A befolyó víz kiegyenlítése, illetőleg betárolása az optimális betáplálás biztosítására, az elfolyó vízé ugyanakkor a befogadó lökés- szerű terhelésének tompítására szolgál. A szakaszos betáplálású rendszereknél a tisztított víz lökészerűen történő befogadóba vezetése, elsősorban kis befogadónál okozhat gondot. A folyamatos rendszerek igen kritikus pontja az iszapkihordás veszélye miatt az utóülepítő. Az SBR legtöbb típusánál az ülepítés alatt nincs betáplálás, keverés, ami biztonságos fázisszétválasztást eredményez még viszonylag jelentősebb biológia terhelések esetén is. A terhelés ugyanis nem az ülepítés idejét változtatja, csökkenti, hanem a levegőztetését, s ennek megfelelően alapvetően az oldott BOI eltávolítását fogja kis mértékben gyengíteni, míg az ülepítés hatékonysága gyakorlatilag változatlan marad.

Hegyes-völgyes vidékek szennyvíztisztítása esetén a homok és nagyobb darabos szennyezők eltávolítására mindenféle megoldásnál fokozottan ügyelni kell. Egyesített csatorna-rendszereknél hasonlóan bármilyen tisztításnál a lökészerű túlterhelés esetére záportározó, illetőleg megkerülési lehetőség kiépítése okvetlenül szükséges.

Az SBR a fentieket szem előtt tartva is célszerűen a kisebb települések szennyvizeinek a tisztítására javasolható, hiszen előnyei ilyen esetben érvényesülnek igazán (Arora et. al., 1985, US EPA, 1986, US EPA 1992; Kárpáti-Rókus 1995-II). Ezzel szemben a regionális szennyvízgyűjtő rendszerek kiépítésének jelentős költségigénye takarítható meg velük. Szakasos üzemmódjával szerencsésen illeszkedik a kis települések hasonlóan kevésbé kiegyenlített ingadozó szennyvízhozamához. Ilyen esetekben a relatív terhelést megfelelően kicsire választva gyakorlatilag minimális mennyiségű fölösiszap keletkezik, s az iszapelhelyezés nem jelent számottevő költséget. Az egyébként is jól sűrűsödő iszap kisebb nagyobb előkezelést követően, alkalmas területek a térségben rendszerint adottak lévén, mezőgazdaságilag hasznosítható. Az elő-tározó medence a tisztítómedencével összeépítve, kombinált műtárgyként is kialakítható, ami a szennyvíz hőveszteségét is csökkentheti a tisztítótelepen.

Óriási előnye az SBR rendszerek BSK, vagy egyéb turbinás keverővel kiépített változatainak, hogy a levegőellátás csővezeték rendszerének költségeit megtakarítják, bár ez a folyadékbetáplálás oldalán rendszerint valamelyest többlet költségigényt jelent. A levegőbevitel fajlagos költsége azonban a turbinás rendszereknél valamelyest nagyobb, mint finombuborékos megoldásoknál. Ez indokolja a levegőellátó rendszerek fejlesztése terén tapasztalható költségcsökkentési törekvéseket /Höffken, 1994/

A szakasos betáplálású eleveniszapos rendszernek /SBR/, sok kedvező adottsága van a folyamatos betáplálásúakkal szemben, hátrányai ugyanakkor a mai technika színvonalán csaknem teljesen kiküszöbölhetők (Irvine et. al., 1979, 1989; Kikkeri et. al., 1988; Lewandowski et. al., 1992; Shin et. al., 1992). Vezérlése rendkívül egyszerű, üzemeltetését számítógéphez kapcsolva is bárki könnyedén elsajátíthatja, tökéletesítheti, feltéve, hogy az ahhoz szükséges paraméterek alakulását megfelelőképpen követni tudja. A szakasos betáplálású rendszerekről ugyanakkor még a legfrissebb szakkönyvek is alig tesznek említést, magyar nyelven végképpen hiányos az információ (Czakó-Mihály 1993; Kárpáti et al. I-II 1995).

A szakasos betáplálású rendszerek előnyei nagy szennyvíztisztító telepek esetében alig érvényesülhetnek (Kárpáti-Rókus II 1995). Főképpen ez az oka, hogy a hetvenes évekig nem sokat törődtek azok fejlesztésével. Bár a műszakilag fejlettebb Nyugat-Európában és Észak-Amerikában a kisebb méretű települések szennyvíztisztításának kialakítása már évekkorábban napirendre került, esetükben is a gazdaságosság miatt igyekeztek több település szennyvizét egy helyre gyűjteni és térségi tisztítórendszereket kiépíteni. Az utóbbi évtizedek hoztak ugrásszerű fejlődést ezekben az országokban is. Hazánkban és a hasonló kelet-európai államokban a kisebb települések szennyvíztisztítóinak kiépítési igénye ugyanakkor egyértelműen a legutolsó évekhez kapcsolható. Lehet, hogy ez is eredményezte, hogy ilyen egyszerű technológiák kiépítésére az igény is napjainkban jelentkezett. Jelenleg két cég verseng a szakasos betáplálású eleveniszapos rendszerek tervezése, kiépítése tekintetében a hazai piacon. Egyik a BIOGEST, másik az ANperOX.

Rohamosan terjed ez a tisztító típus a skandináv országokban, ahol azonban a téli alacsony hőmérséklet miatt speciális gondok jelentkezhetnek, elsősorban a nitrifikáció és denitrifikáció kapcsán (Rusten et. al., 1993). A tisztító ma már megjelent Japánban is, sőt az egyik legrészletesebb tanulmány az üzemeltetést és elérhető hatékonyságot illetően éppen japán szerzőktől származik (Imura et. al., 1993). A tisztítás szabályozása a jelentős fejlesztés ellenére ma még egyáltalán nem nevezhető kidolgozottnak, mindössze egyetlen

kutatócsoport vizsgálta a levegőztetés ciklikusságának, levegőztetett és anoxikus szakaszok egyetlen cikluson belüli többszöri ismétlésének hatását az elfolyó víz paraméterei és a felmerülő összes üzemeltetési költség összefüggésében (Demuynck et. al., 1994).

4. Az SBR különleges adottságai, szemben a folyamatos betáplálásúakéval

Az SBR esetében minden folyamat, beleértve az ülepitést is ugyan abban a térfogatban történik. Ennek megfelelően az egymást kizáró folyamatok, csak az időben egymást követő ciklusokban mehetnek végbe. A betáplálással egy időben, illetőleg azt követően levegőztetett, anoxikus és anaerob körülményeket kell a medencében biztosítani, de ugyanitt az előzőeket követően az ülepitést is meg kell tudni, oldani. A levegőztetés és levegőztetés nélküli keverés egyszerűen kialakítható (Goronszy, 1979; Norcross, 1992). A korábban iszapduzzadás elkerülésére javasolt koncentráció gradiens a szakaszos üzemmód miatt eleve biztosított, így mindössze a levegőztetett és nem levegőztetett szakaszokat kell időben megfelelőképpen programozni, illetőleg szükség szerint a nem levegőztetett szakaszban is kell keverést biztosítani (Manning et. al., 1985).

A tisztító terhelése az igényeknek megfelelően elég rugalmasan változtatható (Dennis et. al., 1979). Kedvezően illeszthető a kisebb települések szélsőséges napi terhelésingadozásához (nappal csúcsvízhozam, éjszakai vízhiány) (Leupold et. al., 1993). A tápanyag-összetétel, nevezetesen a könnyen felvehető tápanyaghányad növelése a kiegyenlítő-tározó medence célszerű biológiai hasznosításával érhető el (Ketchum et. al., 1987). A minimális reaktorszám minimális hőveszteséget, hőszigetelés igényt jelent a kivitelezésnél. A rendszer tisztított vizének az elvétele többféle megoldással is egyszerűen kialakítható. Különleges csapadékvíz tározó esetén a rendkívül szennyezett kezdeti esővízhozamok mennyiségei időben elnyújtva feldolgozhatók a szárazabb időszakokban.

A szakaszos betáplálású eleveniszapos rendszerek tehát időben zajló ciklusaik miatt jellegükben nem különböznek a folyamatos rendszerektől. Relatív terhelésük az utóbbiakéhoz közel hasonló (Jones et. al., 1990). A közhittel ellentétben csak akkor működnek teljes oxidációs rendszerként ha arra tervezik őket, megfelelően limitált relatív iszapterheléssel ($< 0,05 \text{ kg BOI}_5 / \text{kg iszap szárazanyag}$). Különleges előnyük, hogy üzemeltetésük minimális szakismeretet és felügyeletet igényel. Az idő vezérelt folyadék betáplálás (elvétel és levegőztetés illetőleg keverés) a jelenlegi technika mellett rendkívül biztonságos. Az egyes berendezések üzemkimaradását megfelelő visszajelzéssel nagyobb távolságból is ellenőrizhetik. Ugyanez igaz a levegőztetés szabályozására is.

A szakaszos betáplálások eleveniszapos szennyvíztisztítók működtetése a fentieknek megfelelően szakaszokra bontható.

	<u>Művelet</u>	<u>Feltételek</u>
1./ Betöltés	Anoxikus/anaerob Korábban felül, ma alul	Viszonylag gyorsan Egyenletes elosztás, /csőhálózat/ Kis turbulencia /nem kevert/ Anoxikusban teljes átkeverés /keverő/
	Esetleges szabályozás ORP mérésrel	

2./ Betöltés	Aerob	Levegőztetés/keverés
	Esetleges DO szabályozás	
3./ Levegőztetés		Levegőztetés
	DO szabályozás	
	Nitrifikáció érdekében huzamosabb levegőztetés	
4./ Denitrifikálás		Keverés /esetleg utólagos
tápanyaggal/		
	Esetlegesen DO ill. ORP mérés	
5./ Befejező levegőztetés		Levegőztetés /rövid tartamban/
6./ Ülepítés		Nyugalmi állapot /soha nincs
betáplálás/		
7./ Dekantálás		Tisztított víz eltávolítása /célszerűen
gyors/		
8./ Fülösiszap elvétel		Történhet előzővel időben átfedve is. Iszap leszívás Lehet a dekantálással időben átfedve

A szakaszos betáplálású eleveniszapos rendszer egymást követő szakaszainak fontosabb műveleteit és azok szabályozását a következő részek valamivel részletesebben is bemutatják.

4.1. Betáplálás

A megelőző ciklus során az ülepített medence felső, tiszta folyadékfázisának tervezett hányada eltávolításra kerül és a következő betöltési ciklusban ugyanennyi különbözőképpen előkészített nyers szennyvíz kerül a helyére. Az előkészítésre a levegőztető medencét megelőző kiegyenlítő-tározó egység biztosít lehetőséget. Több párhuzamos egység esetén ez el is hagyható, mivel a betáplálást már két egység esetén is folyamatossá lehet tenni, ha a folyadékfeladás a ciklusidő 50%-át kitölti.

Az ülepítés végére a medence maradék vízének felső, tiszta fázisa kisebb mennyiségű oldott oxigént és nitrátot fog tartalmazni, mivel a kiüledett vízből ezeket a komponenseket az iszapfázisba kerülő mikroorganizmusok nem tudják elfogyasztani. Teljes utódenitrifikációhoz tartós levegőztetés nélküli keverés, igen hosszú befejező anoxikus szakasz kellene. Ezért is fog az elfolyó víz mindig tartalmazni kevés nitrátot. Az iszapfázisból ugyanakkor a mikroorganizmusok az ülepítés és dekantálás viszonylag hosszabb időtartamában mind az oxigént mind a nitrátot elfogyasztják az endogén légzés, illetőleg a denitrifikáció elektron-akceptoraként.

Ha az ezt követő betáplálás során, biztosítani lehet, hogy ne keveredjen fel az iszap, és a friss tápanyag csak az alul elhelyezkedő oxigén és nitrátmentes iszapfázisba jusson, abban az anaerob folyamatok (foszforleadás és tápanyag betárolás) lejátszódhatnak. Az anaerob iszapban a többletfoszfor akkumuláló poly-P mikroorganizmusoknak bőségesen áll rendelkezésre könnyen felvehető tápanyag (szennyvízbetáplálás), az aerob ciklusban betárolt poli-foszfátot energianyérés céljából depolimerizálják, és a keletkező ortofoszfátot a sejtől leadják.

A nyers szennyvíz acetát és egyéb kis molekulatömegű sejtmembránon könnyen átvihető tápanyagát ugyanakkor igen gyorsan felveszik és abból a sejt belsejében szerves polimer

formátumú energiatartalékot, elektrondonort tartalékolnak a szerves tápanyagban szűkösebb, későbbi szakaszra. Az utóbbi ilyenkor a jól levegőztetett ciklus, amikor valamennyi heterotróf fajta a legkedvezőbb elektronakceptor /oxigén/ bőséges ellátása miatt maximális sebességgel igyekszik felvenni, feldolgozni a szerves tápanyagot /elektrondonor/. A sebesség meghatározó tényező ezért ebben a szakaszban a szerves tápanyag koncentrációja lesz (karbon limitált környezet). Erre egyébként a lényegesen lassabban szaporodó autotróf nitrifikálók versenyképességének biztosítása céljából egyébként is szükség van.

A többlet foszfor akkumulációra képes organizmusok /Phosphorus Accumulating Heterotrophs - PAH-ok/ az anaerob-aerob ciklus esetén a korábban betárolt, felhalmozott tápanyag révén versenyképesek az egyébként náluk gyorsabban szaporodó nagyszámú egyéb heterotróf fajjal. A poli-foszfát depolimerizációja ugyan nagyon gyors folyamat, ha tápanyagként acetát áll rendelkezésre, de az esetek többségében a nyers szennyvízben a tápanyag ilyen formában csak nagyon kis mennyiségben van jelen. Mivel azonban a heterotróf mikroorganizmusok anaerob körülmények között is képesek kismértékű tápanyag hasznosításra fermentáció révén, melynek során a poly-P mikroorganizmusok számára szükséges kis molekulatömegű illósavakat, acetátot termelnek, a szükséges acetát magában a rendszerben is keletkezhet. Látható azonban, hogy a foszforleadás és szerves polimer tartaléktápanyag felvételének sebesség-meghatározó lépése ilyenkor a hidrolízis, fermentáció ami viszont ugyancsak az érkező szennyvíz összetételének függvénye. A foszforeltávolítás hatékonysága tehát a kommunális szennyvizeknél mind a biológiai feldolgozásra kerülő szennyvíz összetételétől, mind az anaerob szakasz reakciókörülményeitől jelentősen függ.

Olyan esetekben, amikor az ülepítés során az iszapfázisban nitrát marad, a „feltöltés” elején a denitrifikáció miatt előbb a nitrát fogy el, csak azt követi a foszforleadás. Ugyanez az oxigéntartalomra is igaz, sőt felkeveredés esetén a teljes vízmennyiség nitrát és oxigén tartalmára. Ezek a folyamatok a foszforeltávolítás esélyét rontják, mivel éppen az utóbbi folyamathoz szükséges könnyen felvehető tápanyagot hasznosítják a legelőször. A medence felkeveredése, vagy keverése tehát meghatározó szempont az SBR tervezésénél.

Ismeretesek olyan megoldások is, amikor éppen a nehezen kivitelezhető iszap alá történő betáplálás miatt a dekantálást és iszapelvételt követően a hosszabb, rövidebb pihentető szakaszban összekeverik a két fázist, az oxigén és nitrát redukcióját endogén légzéssel biztosítandó. Esetenként a betáplálás megkezdésekor indítják be a medencében a keverést. Ekkor is előbb az oxigén, majd a nitrát fogy el a rendszerből, majd azt követően kezdődik a foszfor leadása, ha ahhoz még elegendő, könnyen felvehető tápanyag van a rendszerben az elnyújtott betáplálás révén. Ez, mint már említettem, akkor különösen előnyös, ha a nyers szennyvíz összetétele, előkészítettsége megfelelő. A viszonylag gyors betáplálás ilyenkor egyáltalán nem okoz problémát, sőt a tápanyag koncentráció gyors növelése kedvező a koncentráció gradiens kialakítása érdekében.

Nagy, könnyen felvehető tápanyag koncentráció nagyon gyors foszfor leadást biztosíthat, ugyanakkor igen kedvező a fonális mikroorganizmusok visszaszorítása, megfelelő iszapindex /SVI/ elérése érdekében. Természetesen ebben a szakaszban szabad levegőztetni a medencét, mert mint már elhangzott a nem PAH heterotróf csoport minden más csoport képviselői elől elfogyasztja az oxigénnel a rendelkezésre álló szerves

tápanyagot, lehetetlenné téve a többletfoszfor eltávolításra képes szervezetek elszaporodását.

A betáplálás befejező szakaszában rendszerint már levegőztetik medencét. Az SBR szakaszos betáplálása a teljes ciklus első periódusában látszólag növeli a tápanyag koncentrációt / koncentráció-gradiens/. Az elnyújtott betáplálás miatt azonban nem biztos, hogy ez érvényesül is. Az esetek többségében a nyersvíz hígítása a betáplálás során 2-5-szörös, ami önmagában is jelentős tápanyag-koncentráció csökkenést eredményez, valamint a nitrát, sőt az oldott oxigén tekintetében is potenciális belső recirkulációt. A tápanyag az anaerob/anoxikus szakaszban is jelentős mértékben csökken, de a betáplálás további elnyújtása esetén a levegőztetés hatására kialakuló még intenzívebb szerves tápanyag felvétel eredményeként további relatív koncentráció csökkenésre számíthatunk. Ennek kedvezőtlen következményei lehetnek, részben az anaerob/anoxikus szakasz rosszabb relatív tápanyag ellátottsága, részben a levegőztetett szakasz kisebb koncentráció-gradiense eredményeként. Az első, gyengébb többlet foszfor akkumulációt és denitrifikációt, az utóbbi kevésbé hatásos mikroorganizmus szelekciót, esetlegesen gyengébb iszapüledést eredményez.

A betáplálás, egyébként, ha a fenti szempontokat nem zavarja, elnyújtva, a levegőztetés alatt is történhet. Ha a levegőztetés közben anoxikus szakaszokat is beiktatnak denitrifikáció céljából, azok során kisebb mennyiségű friss tápanyag adagolása a denitrifikációt is gyorsíthatja. A befejező lépés az ülepítés előtt azonban mindig levegőztetés kell, legyen az ammónia és szerves tápanyag biztonságos oxidációja, eltávolítása érdekében.

A teljes ciklus időigényét a nyersvíz a dekantálás során elvett térfogathányad mellett alapvetően a tisztítás elvárásai határolják be. A legrövidebb ciklust napi hatszori betöltésnél-ürítésnél alkalmazzák, s ez a nagyobb terhelésű, elsősorban BOI eltávolítást végző rendszerekre jellemző. A nitrogén és foszfor eltávolítása ilyenkor csak részleges. Az előírások szigorodásával, a teljes tápanyag eltávolítás igényével -N és P is- ez az időtartam 6 óra fölé kerül. Az US EPA felmérése alapján az 1991-ben az Egyesült Államokban üzemelt negyven ilyen tisztító esetén a ciklusidő átlagosan 6-8 óra között volt. A többi, kevésbé szigorú előírásokat teljesítő, mintegy 130 SBR-nél velük szemben 4-6 óra között volt a szükséges ciklusidők átlaga (EPA, 1992)

4.2. Levegőztetés

A levegőztetés napjainkban igen sokféleképpen történhet. Gyakori megoldások a finombuborékos membránok, a hasonló buborékméretet biztosító függőleges tengelyű diszpergátorok, és az utóbbiakéhoz hasonló elven működő, de rendszerint a folyadék felszínén vagy közvetlen közelében a víz alatt elhelyezett rotorok. A vákuumszivattyú elvet érvényesítő, úgynevezett folyadéksugaras - „jet aeration” - levegőztetés is jelentősen elterjed.

A levegőbevitellel egyidejűleg az oldott oxigén mikroorganizmusokhoz történő eljuttatása érdekében a folyadék fázis megfelelő intenzitású keverése is elengedhetetlen. Ennek részben a folyadék folyamatos mozgását, részben a flokkuláló iszap azzal történő diszpergálását kell biztosítani. Az említett levegőztető berendezések közül a többség alkalmas a szükséges keverés egyidejű intenzitás biztosítására, bár a finombuborékos rendszereknél esetenként a levegőztetők egyenetlen elosztása miatt a medencében további

mechanikus keverést is alkalmazni kell. Szükségszerűen az oxigénbevitel fajlagos energiaszükséglete éppen az utóbbi a típusoknál a legkedvezőbb, mivel azok döntően csak a levegő szállításának, diszpergálásának energiaszükségletét igénylik, míg a többiek a folyadék átkeverésére is jelentős energiát fordítanak.

Találkozhatunk az SBR esetén különleges keveréssel is, amikor nagyon rövid ideig tartó levegőztetéssel pillanatszerűen kevertetik át ciklikusan a medence folyadékát, meggátolva az anoxikus szakaszban ezzel a kiüledést. Ez a megoldás azonban igen ritka a gyakorlatban. Rusten és munkatársai (Rusten, et. al., 1993) az anoxikus szakaszokban történő átkeverést 5-6 másodpercig végzett levegőbevitellel biztosították. Tapasztalataik szerint ilyen esetekben a víz oldott oxigén koncentrációja nem változik olyan mértékben, amely a denitrifikálást gátolná, a folyadék teljes tömege ugyanakkor kellőképpen átkeveredik. Nagyobb méretű tisztítóknál ilyen rövid levegőbevitel megvalósítása szinte lehetetlen. Egyszerűbb egy alkalmas keverő beépítése és üzemeltetése.

A levegőztető berendezéseknél fontos az eldugulás megakadályozása. A dugulások veszélye elsősorban a merev membrános levegőelosztók esetében jelentős, ami számottevő karbantartási költséget jelent. A gumimembrános és egyéb levegőztető berendezések kevésbé hajlamosak eldugulásra.

Fontos megemlíteni a levegőztetésnél víz oxigéntartalmának szabályozását, ami napjaink gyakorlatában egyre általánosabbá válik. Elképzelhető, hogy a szakaszos betáplálású eleveniszapos rendszerek esetében ez is meghatározó jelentőségűvé válhat. Bár az ilyen rendszereknél a levegőztetést vízhozam-arányosan is lehet, egyszerűbb azt a folyadékfázis oldott oxigén koncentrációja alapján szabályozni. Ha a levegőztetést a betáplálással egyidejűleg a ciklus legelején indítják, a kezdeti szakaszban fölösleges nagy mennyiségű levegő befúvatása, hiszen akkor kevés tápanyag lesz csak a rendszerben. Ilyenkor lehet esetleg a levegő bevitelt vezérelni, például a betáplálás indításától eltelt időtartamnak megfelelően.

Ha a levegőztetés nagy mennyiségű tápanyag bevitelét követően indul (anaerob és anoxikus betáplálás), a nagy tápanyag felesleg miatt a kezdeti szakaszban a folyadék oxigén koncentrációja viszonylag lassan emelkedik. Jól méretezett levegőztetés nem tudja ugrásszerűen megnövelni a DO koncentrációt, ezért a kezdeti időszakban nem fog működni a szabályozás. Az adott oxigén koncentrációt elérve (2-2,5 mg/l) az oxigénbevitel célszerűen szabályozandó. Minél nagyobb a DO koncentráció, annál kedvezőtlenebb az oxigén átadás a folyadék és gáz fázis között. Adott koncentráció (1-1,5 mg/liter) alatt azonban a nitrifikáció fog jelentősen lelassulni, ami ugyancsak korlátozó tényező. Megemlítendő azonban, hogy a tapasztalatok szerint a levegőztetés során történő foszforbetárolást ugyancsak korlátozza az oxigénkoncentráció, ami miatt 2 mg/liter fölött kell szabályozni a medence levegőbevitelét. Bizonyára van egy tápanyagtól és keveréstől is függő tartomány, amely mind az oxigénátadás, a nitrifikáció, és poli-foszfat betárolás, mind a flokkulátumok belsejében bekövetkező denitrifikáció érdekében megfelelő, s az adott rendszerre optimális. Az utóbbi érték beállítása, szabályozása biztosíthatja a jövőben az SBR telepek optimalizálásának egyik tényezőjét.

A ciklus műveleteinek áttekintésekor is kiderült, hogy az SBR rendszereknél egyszerűen megvalósítható az anoxikus szakaszok beiktatása a levegőztetés során. Ez gyakorlatilag utódenitrifikáció, ha nincs közben szennyvízbetáplálás. Ezek során a nitrát eltávolítás hatékonysága a rendelkezésre álló tápanyag mennyiségétől, és minőségétől függ. Az ilyen

több lépcsőben történő denitrifikáció esetén az anoxikus szakaszokban a keverésről gondoskodni kell. Erre vagy külön keverő vagy levegőztető rotorok kis fordulatszámmal történő üzemeltetése jöhet szóba. Az anoxikus szakaszok után az ülepetést megelőzően minden esetben oxikus, vagy levegőztetett periódusok beiktatása szükséges, hiszen a denitrifikáció során nem garantálható, hogy a nitrát elfogyását követően nem marad szerves tápanyag / BOI, esetleg ammónia-N / a folyadékban. Ennek eltávolítása csakis utólevegőztetéssel, lehetséges.

4.3. Ülepítés

Az utólevegőztetést követően a tisztítás befejező lépése a lebegő állapotú tisztítási maradék vizes fázisból, ülepetéssel történő elválasztása. Az ülepedés, nyugalmi állapotban rövid flokkulációs szakasz után, viszonylag gyorsan megkezdődik. Az ülepetők felületén rendszerint nagyon kevés felúszó iszap jelentkezik. Az SBR medencéjében egy óra után az ülepedő iszap már döntően a medence alsó részében lesz, így a dekantálás biztonsággal megindítható. A tisztított víz eltávolítása a kiülepedett folyadékrész felső részéből történik, törekedve arra, hogy a felszínen úszó kisebb-nagyobb iszapcsomókat valamilyen alkalmas berendezés visszatartsa /1. ábra/. Rögzített dekantáló berendezés esetén az ülepetéssel meg kell várni amíg az iszapszint az elvételi pont alá kerül. Mobil, úszó dekanterekkel erre nincs szükség, hiszen megfelelő mélységű tiszta vízréteg kialakulása után a dekantálás megindítható és kisebb sebességgel is kivitelezhető.

A dekanter kialakításával biztosítani kell, hogy sem a felületen levő iszaprészeket, sem a fenékiszapot az áramlás ne ragadja magával. A felszínen ezt megfelelő torló-elem kialakításával lehet biztosítani, míg a fenékiszap vonatkozásában a megfelelő magasságban történő rögzítés, vagy úsztatás biztosíthat garanciát. Az úszó dekanterek mellett kiépítettek már idővezérelten süllyedő dekantáló rendszereket is. Megállapítható azonban, hogy jelenleg a felhasznált megoldások hatékonysága még nagyon eltérő és esetenként kívánnivalót hagy maga után. Az úszó dekanterek esetén célszerű az iszapszint és az elvételi pont között, mintegy 1 méter vastagságú tiszta vízréteg biztosítása, amit alkalmas zavarosság mérővel is szabályozhatnak. A rögzített elvételi szintek esetén a szabályozás nehezebb.

5. Az SBR hatékonysága, tapasztalatai (US EPA, 1992)

Az SBR rendszerek az Egyesült Államokban ugyan a hatvanas évektől intenzíven fejlődtek, nagyobb számban csak a nyolcvanas évek elején terjedtek el. Hat amerikai vállalat állt rá az ilyen üzemek kiépítésére, közülük az egyiknél csak az elvétel szakaszos, a betáplálás folyamatos. Mint utaltunk rá korábban is, az EPA felmérés először 1986-ban (US EPA, 1986), majd 1991-ben készült ezekről az üzemekről (US EPA, 1992). Az utóbbi időpontig 170 SBR-t helyeztek üzembe az Egyesült Államokban, melyek közül 40 teljes biológiai tápanyag-eltávolításra / N és P / készült. Reprezentatív mérési adatok hiányában a felmérés csak töredéküket tudta érdemben vizsgálni, a megállapítások azonban így is figyelemreméltóak, és a világon egyedülállóak. Az SBR a felmérés alapján versenyképes más eleveniszapos rendszerekkel, egészen 45000 m³/nap kapacitásig. Mivel a felmérés során csak 15-22500 m³/nap tartományban találtak üzemeket, az előző érték valószínűleg illuzórikus. Sajnálatos hátrány az SBR-nél, hogy tervezése nem

szabványosított, ezért olyan országokban, ahol arra jogi szabályozás van, rigorózus hatóságok a vízügyi jogi engedélyezést megkérdőjelezhetik.

Nagyon nagy előnye flexibilitása, ami a kisebb méretek esetén nyilvánvalóan fokozottan érvényesül / 4500 m³/nap kapacitás alatt /. Hasonlóan igaz ez a kis mennyiségű ipari szennyvizek tisztítására, ahol is ez koncentráció arányosan kisebb kapacitást jelent. Ezeknél is a jó terhelés-kiegyenlítő képesség a fő erény. Ez olyan esetben is egyértelműen javára szól, ha ipari üzem egy műszakban, vagy napi 12 óránál rövidebb időtartamban termelt, illetőleg kibocsát szennyvizének a tisztítása a feladat. Ilyen értelemben ipari szennyvíz előtisztítására az SBR különösen javasolható. A megfelelő terhelési tartományban az SBR mind kommunális, mind ipari szennyvizek esetén teljes oxidációra is kitűnően alkalmas. Toxicitás SBR-nél hasonló hatású, és hasonlóan védhető ki mint a folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszereknél. Egyéb tényezők, mint a szennyvíz hőmérsékletének, pH-jának hatása / nitrifikáció / is gyakorlatilag megegyezően érvényesül. A régebbi típusok a betöltést a ciklus 50%-ában végzik, de az újabbaknál az rövidül. A napi ciklusszám és a párhuzamos egységek száma ugyanakkor nő, 2 de még inkább 3 javasolt, amely a ciklusidő csökkentését, és a levegőellátás /fűvók üzemeltetése/ kiegyenlítését teszi lehetővé.

Tervezési alapadatok: BOI	2,5-5,0	kg BOI / m ³ /nap
Θ	5-30	nap
HRT	6-12	óra
F/M	0,05-0,5	kg BOI / kg MLSS * nap
Ciklusidő	4-6	óra / hagyományos /
Ciklusidő	6-8	óra / biológiai N és P eltávolítás esetén /

A ciklus jellemző szakaszai és relatív időtartamuk:

	térf. %	cikl. idő %	levegőztetés
betöltés	25-100	25	+ / -
levegőztetés	100	35	+
ülepítés	100	20	-
dekantálás	100-35	15	-
iszapelvétel	35-25	dekantálás alatt	-
pihentetés	25	5	+ / -

Az iszapduzzadás visszaszorítását nagy iszapkor, illetőleg kis relatív iszapterhelés esetén az F/M arány figyelembevételével, valamint a cikluson belüli levegőztetés nélküli szennyvízbetáplálás részarányának növelésével lehet elérni. Ugyanez szükséges a foszforeltávolító hatékonyság javításához is arra tervezett tisztítók esetén, miközben a megfelelő ütemű tápanyagbevitel is kiemelt szereppel bír. Az így tervezett SBR rendszerek az elfolyó víz ammónia koncentrációját 1-2 /mg ammónium-N /, nitrát tartalmát 4-5 / mg nitrát-N /, összes foszfortartalmát 2 mg / liter érték alá tudják tisztítani. Az utóbbi esetenként nem elégíti ki az előírásokat, vagy nagyobb eső esetén betartása problematikus lehet, ezért számos üzemnél alumínium-szulfát, vagy vas-klorid adagolásának lehetőségét is biztosítják, de az adagolást csak a kritikus időszakokban végzik. A jelentés hangsúlyozza, hogy ezek a felmérés alapján kapott eredmények, de az elfogadható biztonsággal értékelhető eredmények száma viszonylag kevés volt. Ez a következő, 19 üzem eredményeinek átlagát bemutató adatsorból is érzékelhető:

jellemző	mértékegység	átlag (19 SBR üzem átlaga)
-----	-----	-----
napi vízhozam	m ³	100 - 14000

iszapkoncentráció	kg MLSS / m ³	2 - 3,6	
rel. iszapterhelés	kg BOI ₅ / kg MLSS * nap	0,01 - 0,09	
iszapkor *	nap	17 - 30	
<u>tisztított elfolyóvíz:</u>			
BOI ₅	mg/l	3 - 14	
lebegőanyag /SS/	mg/l	3,7 - 20,2	
NH ₃ -N **	mg/l	0,285 - 1,68	
ΣP***		0,53 - 4,27	
<u>tisztítási hatások:</u>			
BOI ₅	%	88,9 - 98,1	89 - 98
lebegőanyag /SS/	%	84,7 - 97,2	85 - 97
NH ₃ -N **	%	90,8 - 96,8	91 - 97
NO ₃ -N ****	%	56	
ΣN	%		> 75
ΣP*****	%	57 - 69	57 - 69

-
- * két teljes biológiai tápanyag eltávolító SBR tartománya,
 - ** 8 üzem mérési eredményeinek tartománya,
 - *** 7 üzem mérési eredményeinek tartománya,
 - **** egyetlen üzem denitrifikáló hatékonyságának átlaga,
 - ***** 2 üzem mérési eredményeinek tartománya.

6. Összefoglalás

A bemutatott adatok alapján egyértelmű, hogy kis települések esetében az SBR versenyképes a napjainkban idehaza talán népszerűbb, folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszerekkel. Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatalának felmérése szerint 1991-ben összesen 170 ilyen szennyvíztisztítót üzemeltettek az Egyesült Államokban. A témakörrel kapcsolatos egyéb közlemények adatai alapján úgy tűnik, SBR esetében megfelelő nitrifikáció-denitrifikáció és biológiai többletfoszfor eltávolítás érhető el, de az utóbbinál a vegyszeradagolás lehetőségének kiépítése biztonsági okokból célszerű. A bekeverés a reaktorban megtörténik, csak adagoló, és előkészítő rendszer kell hozzá. Ez a kis vízhozamnak megfelelően kis térben, akár a medence épületében is megoldható. A vegyszeradagolás az iszaphozamot valamelyest növeli, illetőleg a vegyszer részarány miatt változatlan iszapkoncentrációnál az iszapkort csökkenti. Az iszap jobb ülepedése ugyanakkor lehetővé teszi az iszapkoncentráció arányos növelését.

Köszönetnyilvánítás: A szerző köszönettel tartozik a Sásdcsat Kft.-nek az áttekintő elkészítéséhez, valamint az OMFB-nek a rendszer szimulációjának kidolgozásához nyújtott anyagi támogatásáért.

7. Irodalomjegyzék

- Arora M. L., Barth E. F., Umpheres M. B. (1985) Technology evaluation of sequencing batch reactors. *J. Water Pollution Control Fed.* **57**, 867-875.
- Benedek P.(1990) Biotechnológia a környezetvédelemben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, p. 283.

- Chambers B. (1993) Batch operated activated sludge plant for production of high effluent quality at small works. *Wat. Sci. Tech.*, **28**, 251-259.
- Czakó L.; Miháltz P. (1993) Trendek és szemléletváltás a szennyvíztisztításban. Magyar Kémikusok Lapja, XLVIII, (10-11) 453-462.
- Demuynck C., Vanrolleghem P., Mingneau C., Liessens J., Verstraete W.(1994) NDBEPR process optimisation in SBRs: reduction of external carbon-source and oxygen supply. *Wat. Sci. Tech.*, **30**, (5) 169-181.
- Dennis R. W., Irvine R. L. (1979) Effect of fill : react ratio on sequencing batch biological reactor. *J. Water Pollution Control Fed.*, **51**, 255-263.
- Dodolyi E.(1992) Biológiai tápanyag-eltávolítás (nitrogén és foszfor) szennyvízből. OMIKK, környezetvédelmi füzetek 1992/16, Budapest, p. 32.
- Fair G. M., Geyer J. C., Okun D. A. (Eds.) (1968) Water and Wastewater Engineering Vol. 2. Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal. John Wiley & Sons, Inc.,
- Goronszy M. C. (1979) Intermittent operation on the extended aeration process for small systems. *J Water Pollution Control Fed.*, **51**, 274-287.
- Höfken M., Zahringer K., Bischof F. (1994) Stirring and aeration systems for the upgrading of small waste water treatment plants. *Wat. Sci. Tech.* **29**, 12, 149-157.
- Imura M., Suzuki E., Kitao T., Iwai S. (1993) Advanced treatment of domestic wastewater using sequencing batch reactor activate sludge process . *Wat. Sci. Tech.*, **28**, 10, 267-275.
- Irvine R. L., Bush A. W. (1979) Sequencing batch biological reactors - an overview. *J. Water Pollution Control Fed.*, **51**, 235-243.
- Irvine R. L., Ketchum L. H. (1989) Sequencing Batch reactor for biological wastewater treatment. *Critical Reviews in Environmental Control*, **18**, 255-294.
- Jones W. L., Wilderer P. A., Schroeder E. D. (1990) Operation of a three-stage SBR system for nitrogen removal from wastewater. *Res. J. Wat. Pollut. C. Fed.*, **62**, 268-274.
- Ketchum Jr., L. H., Irvine R. L., Breyfogle R. E., Manning Jr., J. F. (1987) A comparison of biological and chemical phosphorus removals in continuous and sequencing batch reactors. *J. Water Pollution Control Fed.*, **59**, 13-18.
- Kárpáti Á. (1995) Az eleveniszapos szennyvíztisztítás fejlesztésének irányzatai I-II. 2. Veszprémi Környezetvédelmi Konferencia, Veszprém 1995 május 30 - június 1.
- Kikkeri S. S., Viraraghavan T. (1988) Sequencing batch reactor for wastewater treatment - a review. *Asian Environment* **10**, 27-41.
- Leupold C., Raupp M. (1993) Sequencing batch technology. New potentials of decentralised wastewater treatment. *WBF, Wasser, Luft Boden* **37** (9) 19-24.**
- Lewandowski G. A., Baltzis B. C. (1992) Analysis of sequencing batch bio-reactors in large scale denitrifying operation. *Chem. Eng. Sci.*, **47**, 2389-2394.
- Manning Jr., J. F., Irvine R. L. (1985) The biological removal of phosphorus in a sequencing batch reactor. *J. Water Pollution Control Fed.*, **57**, 87-94.
- Melcer H., Bedford W. K., Topnik B. H., Schmidtke N. W. (1987) Conversion of small municipal wastewater treatment plants to sequencing batch reactors. *J. Water Pollution Control Fed.*, **59**, 79-85.
- Norcross K. L. (1992) Sequencing batch reactors - an overview. *Wat. Sci. Tech.*, **26**, 2523-2526.
- Öllös G. (1991) K+F eredmények. II. Szennyvíztisztítás. AQUA Kiadó, Budapest, p. 1299.
- Öllös G. (1992) Szennyvíztisztítás I., BME MTI Kézirat, Budapest, p. 264.
- Öllös G. (1993) Szennyvíztisztítás II., BME MTI Kézirat, Budapest, p.265.
- Rudolfs W. (1950) Principles of Sewage Treatment 3rd ed., National Lime Association, Washington
- Rusten B., Eiessen H. (1993) Sequencing batch reactors for nutrient removal at small wastewater treatment plants. *Wat. Sci. Tech.*, **28**, 233-243.
- Shin H. S., Jun H. B., Park H. S. (1992) Simultaneous removal of phosphorus and nitrogen in sequencing batch reactor. *Biodegradation* **3**, 105-111.
- US EPA (1986) Summary Report Sequencing Batch Reactors. CREI Report EPA/625/8086/001, Cincinnati, p. 127.
- US EPA (1992) Sequencing batch reactors for nitrification and nutrient removal. OWEC Report EPA/832/R-92/002, Washington, p. 115.

Az áttekintő az 1995-ben közreadott alábbi anyag alig módosított verziója:
Kárpáti, Á.: Szakaszos betáplálású eleveniszapos szennyvíztisztítás. Magyar Hidrológiai Társaság XIII Országos Vándorgyűlése, 1995 július 4-6, Baja, Kiadványkötet V. 2. 882-895.