

Folyamatos és szakaszos átfolyású vagy betáplálású (SBR) eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek összehasonlítása

Eberhard Morgenroth – Peter A. Wilderer

1. Bevezetés
2. SBR technológia jelenlegi helyzete
 2. 1. Üzemeltetés
 2. 2. Keverés
 2. 3. Levegőztetés
 2. 4. Tisztított víz elvétel
 2. 5. On-line ellenőrzés, szabályozás az SBR telepeknél
 2. 6. Más, szakaszosan üzemeltetett eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek
3. Folyamatos betáplálású és SBR rendszerek összehasonlítása
 3. 1 Tömeg, anyagmérleg
 3. 2. Folyamatos és szakaszos betáplálású rendszerek jelenlegi kiépítése
4. SBR telepek tervezése
 4. 1. Folyamatos betáplálású rendszerek analógiájával történő tervezés
 4. 2. Anyagmérleg alapján történő tervezés
 4. 3. Egyes ciklusok optimalizálása dinamikus szimulációval
5. Jelenlegi üzemeltetés értékelése
6. Összefoglaló
7. Irodalmi hivatkozások

Jelölésjegyzék

A	a csőreaktor (PFR) keresztmetszete
$C_S, C_{S,in}, \Delta C_S$	koncentrációk (S-tápanyag, S_{in} -nyers szennyvíz, Δ - eltávolított tápanyag)
C_X	iszapkoncentráció
CFSTR	folyamatos betáplálású kevert tankreaktor
f_{DN}	az összes elektron akceptor igénynek az a hányada, amely az anoxikus reakcióban jelentkezik
f_{exr}	$= \Delta V / (V_0 + \Delta V)$ térfogat kicserélődés, vagy a ciklus alatt történő folyadékbevitel hányad az SBR térfogatára vonatkoztatva
M_X	összes iszaptömeg
MLSS	eleveniszap lebegőanyag koncentrációja
n	a párhuzamos SBR egységek, vagy reaktorok száma
$NH_{4,e}, N_{org,e}, N_{SL}$	ammónium és szerves nitrogén koncentráció a tisztított szennyvízben és az eltávolított nitrogén koncentráció, amely a fölösiszap nitrogén tartalmaként kerül elvételre
PFR	csőreaktor
Q	folyadékáram vagy térfogati sebesség
$r_{s,v}$	térfogati konverziós sebesség
SBR	szakaszos betáplálású tankreaktor
SBBR	szakaszos betáplálású biofilm reaktor

SF_V, SF_X	biztonsági faktor
SVI	iszap térfogatindex
$t_c, t_f, t_r, t_D, t_N, t_s, t_w, t_d, t_i$	az egyes ciklusokon belüli tartózkodási idők vagy ciklusidők, ahol az indexjelölések a következők: c ciklus, f folyadékbetáplálás, r a reakciós szakasz, D denitrifikációs (kevert) ciklus, N nitrifikáció (levegőztetett), s ülepítés, w fölösiszap eltávolítás, d tiszta víz elvétele, i pihentetés.
TKN	összes Kjeldahl-N koncentráció
V	térfogat
$V_0, \Delta V, VR$	a minimális térfogat a reaktorban, egy ciklusban történő folyadékcseré, a reaktor összes térfogata (SBR – lásd 1. ábra)
V_D, V_N	reaktor térfogatok egy folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszerben a nitrifikáció és denitrifikáció céljára
x	távolság a csőreaktor hossza mentén
$Y_{H,net}$	aktuális fölösiszap-hozam, amely magában foglalja az iszapelhalást és az inert lebegő anyagok akkumulációját is
αQ	a folyamatos betáplálású rendszerek recirkulációs árama
η	anoxikus légzés korrekciós tényezője
Θ_H	hidraulikus tartózkodási idő
Θ_X	lebegőanyag tartózkodási idő
$\Theta_{X,effective}$	$= \Theta_X (t_c - t_s - t_d) / t_c$, az iszap hatásos tartózkodási ideje
$\Theta_{X,aerobic}$	$= \Theta_X t_N / t_c$, az iszap aerob tartózkodási ideje
τ	$= x A / Q$, tartózkodási idő a csőreaktorban (PFR)

1. Bevezetés

Szakaszos betáplálású reaktorok, vagy eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek - Sequencing Batch Reaktor (SBR) - melyek szakaszos nyersvíz betáplálással és hasonló tisztított víz elvétellel üzemelnek. A folyamatos átfolyású rendszerektől eltérően a tápanyaglebontás folyamatai, valamint a folyadék és a szilárd anyag elválasztása ebben a reaktor típusban egyetlen medencében játszódik le, jól definiálható, folyamatosan ismétlődő időciklusok alatt. A tisztítandó szennyvizet ennek megfelelően szakaszosan kell feladni a szennyvízgyűjtő rendszerből a tisztítómedencébe, ahol meghatározott ideig történik annak a valamilyen módon történő kezelése. Ezt követően, az ülepítés után a víz egy részét elengedik a rendszerből. Ez biztosítja a folyamatos üzemeltetést és iszapvisszatartást a medencében. A szakaszos betáplálású szennyvíztisztító esetében a medencében levő folyadéktérfogat változik, szemben a folyamatos betáplálású rendszerekkel, ahol az állandó.

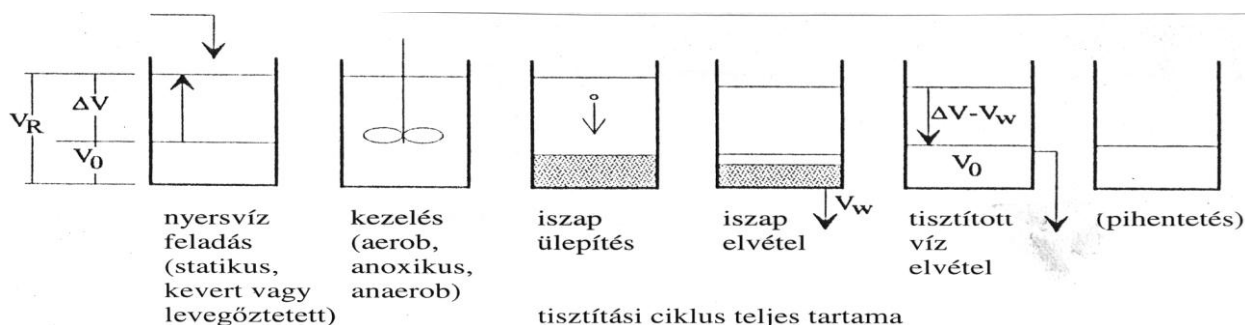
A múlt század elején legelőször kiépített eleveniszapos szennyvíztisztítók ennek megfelelően alapelvüket tekintve SBR jelleggel üzemelő rendszerek voltak. (Ardern és Lockett, 1914). Ezeket a tisztítókat azonban viszonylag gyorsan átépítették, átalakították folyamatos betáplálású egységekké, a szabályozástechnika akkori fejletlensége, valamint a levegőztető rendszer gyors eltömődése eredményeként. A napjainkban már rendelkezésre álló technikai lehetőségek ugyanakkor a szakaszos betáplálású szennyvíztisztítókat a folyamatos betáplálású üzemekkel versenyképesé teszik. Mindegyik rendszer alkalmas hasonló folyamatok kivitelezésre, de az egyik térben, a másik időben ciklizálva. Ennek megfelelően mindegyiknek megvan a maga előnye a másikkal szemben. Hogy egy adott esetben melyiknek az alkalmazása célszerű, csakis nagyon gondos vizsgálódással dönthető el. Ez a fejezet az SBR technológia jelenlegi helyzetét, ismereteit pontosítja. Összehasonlítja a szakaszos betáplálású és folyamatos betáplálású rendszerek működését és teljesítőképességét, végül ismerteti az SBR jelenlegi tervezési ismereteit.

Az eleveniszapos rendszerek kialakulása a manchesteri laboratóriumokban, egy töltő-ürítő reaktorrendszer kifejlesztésével kezdődött (Ardern és Loczkett, 1915). Ezekben a reaktorokban a mikroorganizmusokat lebegő, szuszpendált formában tartották a tisztítás során. A tisztítási folyamatok végbemenetelét követően, a lebegő iszaprészeket hagyták kiülepedni az edények fenekére, mielőbb a tisztított vizet a felszínről elvezették volna, visszatartva így a tisztítást végző mikroorganizmusokat. Megfigyelték, hogy a baktériumok ilyenkor jól ülepedő, pehelyszerű iszapszerkezetben élnek, szaporodnak. Maga az eleveniszapos név is innen ered.

Az első üzemi méretű eleveniszapos szennyvíztisztítót Salfordban építették (Duckworth, 1914; Melling, 1914), mintegy a manchesteri kísérleti üzem méretnövelésével. Ez az üzem egy SBR rendszer volt a jelenlegi értelmezés szerint. A tisztítandó szennyvizet szakaszosan adagolták a reaktorba, megfelelő időszakonként. A reaktor tartalmát megfelelő ideig levegőztették, majd az iszappelyheket hagyták leülepedni, s a felső, tiszta vizes fázisból vették el a tisztított vizet, helyet biztosítva így a következő ciklus folyadékbetáplálásának. Jó vízminőséget tudtak ezzel a rendszerrel elérni az SBR üzemmódban, azonban az ilyen ciklikus üzemeltetés abban az időszakban bonyolultnak bizonyult. Nem voltak megfelelő üzembiztonságú időkapcsolók, az SBR különböző ciklusainak váltására, szabályozására. Ugyancsak gondot jelentett a diffúzorok eltömődése is a levegőztetésnél. Az üzemet ezért hamarosan folyamatos betáplálásúvá alakították át, szeparált utóülepitővel. A múlt század 70-es éveiben ugyanakkor a szakaszos betáplálású eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek mintegy reneszánszukat élték, miután Irvine (Irvine és Bush, 1979) felismerte a folyamat számos kedvező adottságát. Ők és munkatársaik hosszú éveken keresztül vizsgálták a folyamat szabályozhatóságát és adaptációs lehetőségeit (Irvine és Ketchum, 1989), nagymértékben hozzájárulva ezzel az SBR technológia jelenlegi, optimalizált változatának a kialakításához (Irvine és társai, 1997).

2. A jelenlegi fejlesztés, valamint a technológia kialakítása

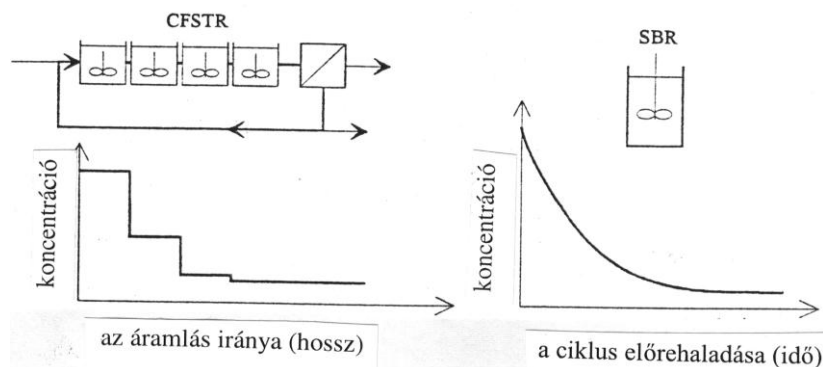
A folyamatos betáplálású eleveniszapos tisztítókkal szemben az SBR esetében a különböző folyamatok nem térben, hanem időben követik egymást. A lebontási folyamatok és a szilárd-folyadék szétválasztás ugyanabban a reaktorban követik egymást. Az SBR-nél a különböző fázisok váltakoznak (töltés - tisztítás - ülepités - dekantálás), s mindegyik egy előzetesen behatárolt időtartamig tart. Ha nincs megfelelő mennyiségű tisztítandó szennyvíz (éjszaka az ipari szennyvizek tisztításakor), az SBR típusú tisztítónál beiktatható egy úgynevezett pihentető vagy szüneteltető fázis is. Az SBR működésének különböző fázisait az 1. ábra



mutatja be.

1. ábra: Az SBR ciklusai, fázisainak sorrendje.

A különböző fázisok a ciklusok ismétlődésével ismétlődnek. Azok sorrendje azonban meg is változtatható a tisztítás céljának megfelelően. Az egyes fázisok alkotják a teljes ciklust, amely azután a tisztítás során ismétlődik. Mindegyik ciklus alatt a tisztítás biológiai folyamatai dinamikus körülmények történnek a szennyvíztisztító reaktortereiben. A teljes rendszer ellenőrzése és ciklikus ismétlése végső soron az ismétlődő nem egyensúlyi állapotok célszerű optimalizálásával hosszú távon kedvező hatással van olyan folyamatokra, mint az enzimaktivitás, az akkumuláció, a lebontási termékek, a mikroorganizmusok szelekciója, bizonyos fajták dominanciája a teljes tisztítás során (Irvine és társai, 1997). Hasonló optimalizálás ugyan a folyamatos betáplálású eleveniszapos szennyvíztisztítóknál is biztosítható abban az esetben, ha azok csőreaktor jellegű, kaszkád rendszert képeznek. (2. ábra.) Az utóbbinál az eleveniszap cirkulál a rendszerben a reaktorsoron, illetőleg az utóülepítőből vissza a tisztítósor elejére, ahol szintén rövid időtartamú nem egyensúlyi állapotoknak van kitéve. Az egymást követő, különböző környezeti feltételek biztosítottak a folyamatos betáplálású rendszerben is, de az SBR-től eltérően nem időben, hanem térben elkülönítve. Az egyes fázisok tartózkodási idejét ott a hidraulikus tartózkodási idők határolják



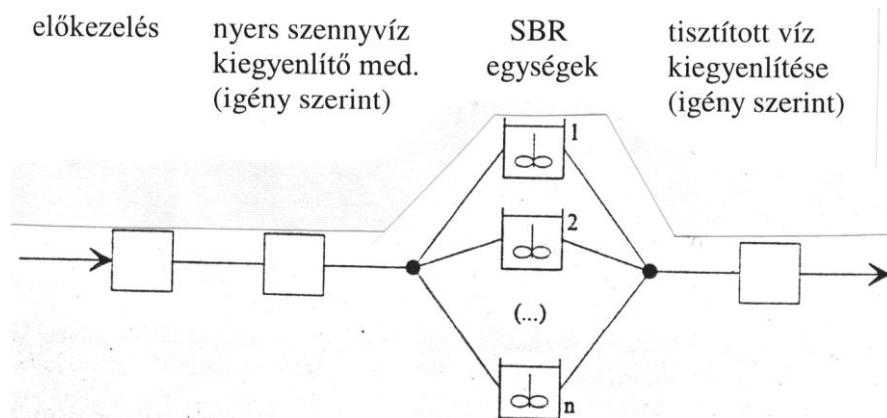
be.

2. ábra. Folyamatos betáplálású kevert tankreaktor (CFSTR), valamint a szakaszos betáplálású tankreaktor (SBR) esetén adódó koncentráció profilok. A tökéletesen kevert tankreaktor-sor (CFSTR) esetén az átlagos hidraulikus tartózkodási idő összevethető az SBR esetén adódó hidraulikus tartózkodási idővel.

Mivel az SBR esetében a betáplálási szakasz, vagy szennyvíz feladási szakasz a teljes ciklusidőnek csak egy kis hányada, rendszerint több SBR egység párhuzamos kapcsolása szükséges a folyamatosan érkező szennyvíz tisztítására. Jó lehet persze megfelelő kiegyenlítő térfogat kiépítése is a szennyvíz feladását megelőzően. Ennek megfelelően az SBR rendszerek általában párhuzamosan működő tisztítóegységekből épülnek ki. Az általános kiépítési sémát jól mutatja a 3. ábra. A rendszer általában egy előtisztító részt is tartalmaz, amely egy szennyvízgyűjtő vagy feladó medence, valamint az ahhoz kapcsolódó több párhuzamos SBR egységet, illetőleg a sor végén egy tisztított víz kiegyenlítő tartályt, az elfolyó víz mennyiség nagy ingadozásának a csillapítására.

Az olyan SBR rendszereknél, melyeknél az érkező szennyvíz kiegyenlítése megtörténik, az egyes egységeknél a feladás során a szennyvíz minősége már sokkal kisebb mértékben változik, s így kisebb problémát okozhat csak. Az egyes fázisok időtartama lehet előzetesen rögzített, de szabályozható is az aktuális terhelésnek vagy a tisztítandó szennyvíz előírásainak megfelelően (változó ciklusidők). Kiegyenlítő tározó medence hiányában a feladásnál a párhuzamos SBR egységek száma meghatározza a teljes feladás vagy töltés idejét az egyes reaktoroknál. (Két SBR medence esetében a feladási időtartam a teljes ciklusidő 50 %-a). A tisztított elfolyó vizek kiegyenlítő medencéje az érkező szennyvíz koncentráció-

ingadozásának az elsimítására szolgál. Annak hatása nagy SBR egységek vagy rendszerek esetén igen jelentős vagy problémás lehet, különösen a kis befogadó vízfolyások esetében.

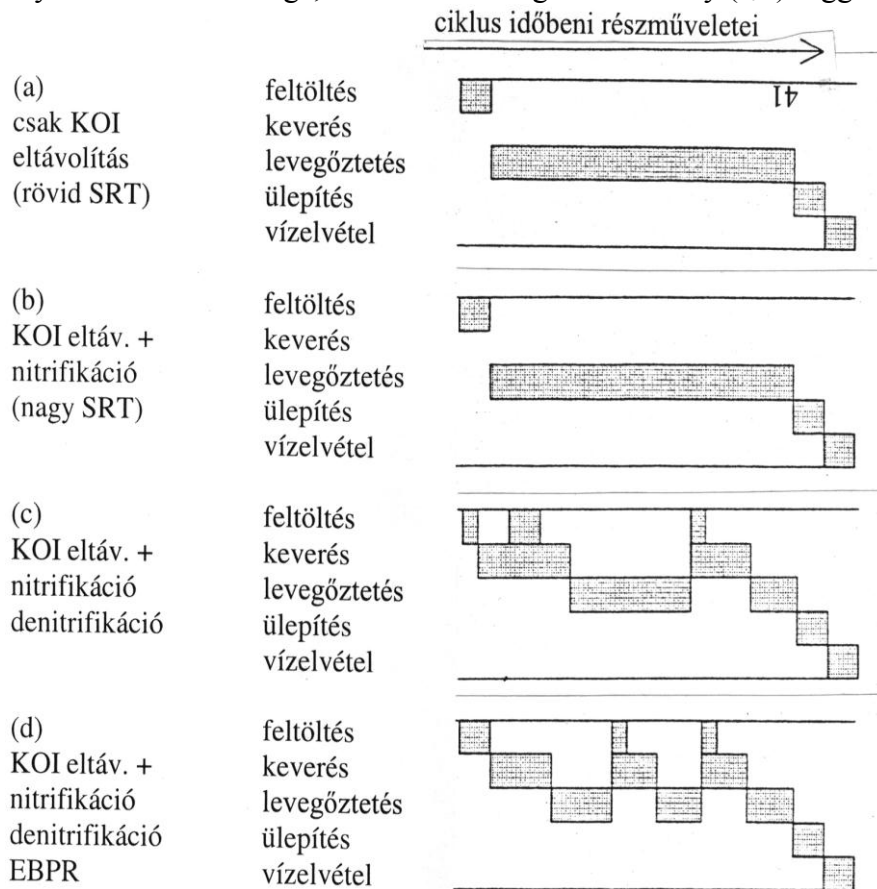


3. ábra. Az SBR üzem kiépítésének sémája.

2.1. Üzemeltetés

Az SBR szennyvíztisztító üzemeltetését a mindenkori tisztítás igényei, megkívánt hatásfoka, üzembiztonsága határozza meg. A fonalasok elszaporodásának megakadályozása megfelelő koncentráció lépcsőket, vagy koncentráció gradiens kialakítását kívánja meg. A baktériumok az ilyen tisztításnál nagy tápanyag koncentrációnak, jó tápanyag ellátottságnak vannak kitéve a ciklus kezdetekor a szennyvízfeladást követően, melyet azután a tápanyagfogyasztás, és végül, a ciklus vége felé egy viszonylag kis oldott tápanyag ellátottsággal rendelkező időszak követ. A nagy tápanyag koncentráció vagy tápanyag ellátottság esetén a baktériumok nagyon gyors tápanyag felvétele egy tápanyag betárolást eredményez azok sejtjeiben, melyek azután egy későbbi időszakban, gyengébb tápanyag-ellátottságkor hasznosítanak. Ez az ismétlődő, jó, majd gyengébb tápanyag-ellátottság vagy koncentráció gradiens kedvező hatással van a flokkulátum képző mikroorganizmusok elszaporodására, vagy dominanciájára, s ezzel az iszap kedvezőbb ülepedési sajátságainak a kialakulására (Pchiesa és társai, 1985). Jobb, vagy nagyobb tápanyag ellátottság a ciklus elején úgy érhető el, ha meggyorsítják a szennyvíz feladását, illetőleg nagy vízcsere hányadot biztosítanak a tisztításnál ($f_{\text{exr}} = \Delta V / (V_0 + V)$). Éppen ellenkező hatás érhető el olyankor, amikor nagyon hosszadalmas folyadék vagy szennyvízfeladást alkalmaznak és egyidejűleg csak kis folyadékcserét (nyersvíz feladást). Ilyenkor a tisztítási ciklusban minimális lesz a tápanyag-koncentráció változása a ciklus során. Ez igen kedvező lehet a mérgező anyagokat tartalmazó szennyvizeknél, éppen a mérgező hatás csökkentésére, amihez a mérgező komponensek folyamatosan kis koncentrációját kell biztosítani a rendszerben (4. ábra). A cikluson belüli többszöri szennyvízfeladás igen előnyös lehet a tápanyag eltávolítását végző biológiai rendszerekben. (5 c, d. ábrák). Pl. a második szennyvízfeladási fázis alkalmazása akkor előnyös, ha a fokozott nitrogén-eltávolítás a cél. Ilyenkor a második szennyvízfeladás kedvezőbb tápanyag-ellátást biztosít a denitrifikációhoz (Poles és Wilderer, 1991).

4. ábra. A tápanyag ellátottság vagy tápanyag koncentráció (adott esetben a KOI) változása a szennyvízfeladás sebessége, valamint a térfogatcsere-arány (f_{exr}) függvényében.



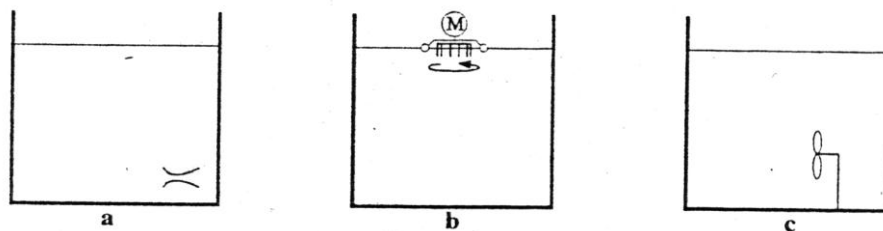
5. ábra. Az SBR ciklusainak kialakítása KOI, nitrogén, és foszfor eltávolítási igény esetén. A ciklusok megtervezése a tisztítandó szennyvíz koncentrációjának is függvénye. Az adott ciklusok csak például szolgálnak a szóba jöhető nagyszámú variációs lehetőség bemutatására.

Az 5. ábra számos üzemeltetési variációs lehetőséget, illetőleg annak az időciklusait mutatja be, melyek mind eltérő tisztítási igény kielégítésére szolgálhatnak. Az átlagos szennyezőanyag tartalmú lakossági szennyvízből történő KOI eltávolítás céljára az SBR ciklusait úgy szabályozhatják, hogy rövid szennyvízfeladást követően megfelelő időtartamú levegőztetés, majd ülepítés és folyadék elvétel (a) legyen a ciklusban. Ugyan ilyen ciklizálás alkalmazható a nitrifikáció biztosítására is. Ilyenkor azonban az iszapkort szükségszerűen meg kell növelni a nitrifikációnak megfelelő iszapkor értékére (b). Hogy megfelelő nitrogén eltávolítást (denitrifikáció) biztosíthassanak az SBR rendszerrel, a cikluson belül nem levegőztetett szakaszt is be kell iktatni (c). Poles és Wilderer (1991) olyan SBR ciklust javasolt, amely három szennyvízfeladási szakasszal is rendelkezik egy cikluson belül. Ilyenkor a második és a harmadik szennyvízfeladás a denitrifikáció tápanyag-igényének a jobb kielégítését szolgálja. Hogy megfelelő biológiai többletfoszfor eltávolítást is elérhessenek az SBR rendszerekkel, az üzemelési cikluson belül anaerob fázis kialakítása is szükséges (d). Az első szennyvízfeladás ilyenkor a denitrifikálás céljára kerül kialakításra, melynek során az ülepítést követő folyadéklevétel során a reaktorban maradt nitrát redukciója következik be. Ezután a könnyen bontható KOI a következő szakaszban megfelelő foszfor

leadást és PHB akkumulációt indikálhat. A harmadik folyadékfeladás ilyen kialakítás esetén az utódenitrifikáció tápanyagellátásának a javítására történik

2.2. Keverés

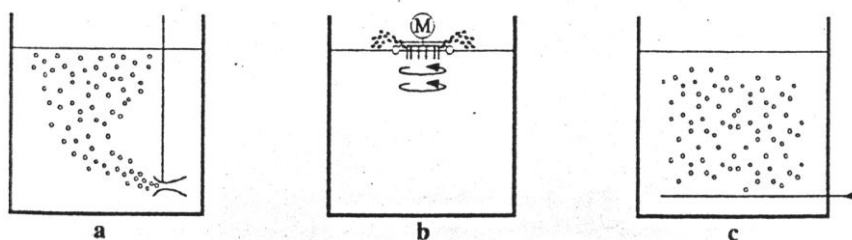
Az SBR rendszernél a denitrifikáció és a biológiai többletfoszfor eltávolítás kialakítására olyan szakaszokat kell beiktatni az ismétlődő ciklusokba, melyek során a medencében nincs oxigén az eleveniszapos rendszerben. A megfelelő tápanyagellátás érdekében ugyanakkor ezekben a szakaszokban is elengedhetetlen a szennyvíz keverése. A mikroorganizmusok nitrát ellátása a denitrifikáció érdekében, szerves anyag ellátása pedig mind a denitrifikáció, mind a foszfor csere iniciálása érdekében elengedhetetlen a nem levegőztetett időtartamban is. A tápanyag konvekcióját megfelelő folyadékmozgatással kell biztosítani. A keverésre különböző lehetőségek jöhetnek szóba, melyeket a 6. ábra mutat be. Az „a” változat a vízszögél szivattyú elvén működő keverés, melynél a vízszögél keverő hatására jut el a tápanyag a pelyhekhez, illetőleg a pelyhekbe rendeződött mikroorganizmusokhoz. A folyadék sugarat ilyenkor szűk nyíláson, vagy nyílásokon (ejektorok) keresztül vezetnek be a medencébe. A folyadék felszínén elhelyezett keverő berendezések is alkalmasak a megfelelő folyadék mozgatás biztosítására (b). A megfelelő folyadék átmozgatás ugyanakkor elérhető a folyadékfelszín alatt elhelyezett függőleges vagy vízszintes tengelyű propellerkeverőkkel is (c). A keverő berendezéseket annak megfelelően kell megválasztani, hogy az adott kialakítású reaktortérben jó keveredés legyen elérhető, s egyidejűleg a keverő csak minimális oxigénbevitelt eredményezzen a folyadékfelszínén keresztül az eleveniszapos rendszerbe.



6. ábra. A keverés kialakítása a nem levegőztetett ciklusokban: (a)- víz alatti vízszögélkeverők segítségével, (b)- felszínen elhelyezett (kis sebességű) keverőkkel, (c)- víz alatt elhelyezett vízszintes tengelyű (vagy függőleges tengelyű) propellerkeverőkkel.

2.3. Levegőztetés

Az SBR rendszereknél is az oxigén a szerves anyag, valamint a nitrogén oxidációjának biztosítására kell a vizes fázisban bevinni. Az oxigén bevitelével egyidejűleg, ami leggyakrabban levegővel történik, a nagy gázáram egyidejűleg megfelelő keverést, folyadék átmozgatást is biztosít a rendszerben, továbbá megfelelően kilevegőzteti a vizes fázist, s ezzel kifűjja a széndioxidot a vízből. Többféle levegőztetés alkalmazható az SBR rendszereknél (7).



ábra).

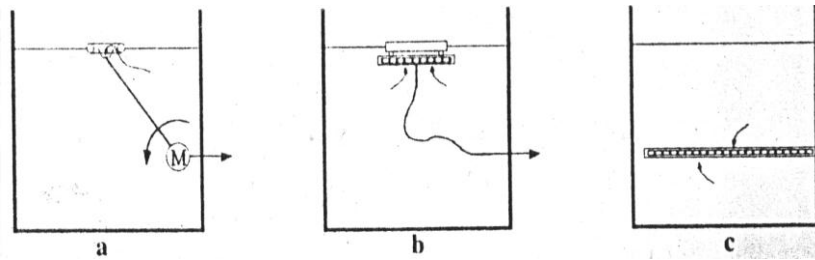
7. ábra. Az SBR tisztítók lehetséges levegőztetése: (a) vízszugárszivattyús levegőbevitel, (b) felületi levegőztetés (nagy sebességű keverők), (d) komprimált levegő bevitel diffúzorokkal.

Az ilyen berendezések közül több már a 6. ábrán is bemutatásra került. Azok egyidejűleg alkalmasak a nem levegőztetett időszakban a folyadékok átmozgatására, keverésére is (7. a, 7. b. ábrák). Ha a levegőt a vízszugár szivattyúk megfelelő pontján (szívóponton) vezetik a szűkített csőbe, (a) az a levegőztetés céljára is kitűnően alkalmas. Ha a folyadék felszínén elhelyezett keverőt, vagy rotort nagy sebességgel üzemeltetnek és a kialakítása is megfelelő, az is alkalmas lehet a folyadék levegőztetésére (b). A levegő vagy tiszta oxigén ugyanakkor igen kis energiaigénnyel bevihető finom buborékok formájában is a rendszerbe (c). A levegőztető rendszer megválasztásánál két fő szempontot kell figyelembe venni: energiahatékonyságot, valamint a megbízhatóságot. Kedvező energia fajlagossal üzemelő levegőztető választása azért is célszerű, hiszen a szennyvíztisztításnál a teljes energiaigény mintegy 50-90 %-át éppen a levegőztetés energiaigénye képezi (Wesner és társai, 1978). A vízszugár szivattyú elvén működő levegőztető rendszerek általában nagyon megbízhatóak, de az energia hatékonyságuk nem különösebben jó. A másik oldalon ugyanakkor a komprimált levegős, vagy diffúzoros levegőztetés általában nagyon energia hatékony, de a diffúzorok megválasztása igen kritikus, éppen a levegőztető elemek eltömődésének veszélye miatt.

2. 4 Tisztított víz elvétel

A folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszerekben a szennyvízmennyiség vagy pontosabban vízfogat az ülepitő medencében állandó. Az ülepitő medence túlfolyó nyílásain távozó mindenkori folyadékáramot a rendszer hidraulikus terhelése határozza meg. Az SBR esetében azonban a biológiai átalakítás és a szilárd folyadék szétválasztás is ugyan abban a változó térfogatú reaktorban történik. Az SBR-nél a megfelelő eleveniszapos kezelést, vagy fázisokat követően az iszapot ülepedni hagyják a medencében. Az ezt követő, tisztított víz elvételi szakaszban a vízszint a medencében csökken. A víz elvétele vagy megfelelően mozgó túlfolyást biztosító megoldással, vagy egy a felület alatt megfelelő mélységben rögzített dekantáló cső kialakításával lehetséges. Többféle megoldást is kialakítottak az ilyen folyadéklevételre, melyek a 8. ábrán láthatók. Három alapvetően különböző folyadék elvételi megoldást különböztethető meg. A dekanter (a és b változat) a tisztított szennyvizet a medence felszínéről vezeti el. Az első változat (a) megfelelő motor beiktatásával változtatja a folyadéklevétel magasságát, s ezzel a túlfolyó nyílások szintjét. A forgatás, vagy merítés sebességével a folyadéklevétel sebessége szabályozható. A (b) változat esetén folyadék elvételét biztosító vízgyűjtő, vagy túlfolyó elem a folyadék felszínén úszik. A folyadéklevételt ilyenkor a túlfolyónyílásoknál kialakuló hidrosztatikus nyomás szabályozza. A (c) típusú (állandó szintű) dekantereknél a folyadéklevétel sebessége változó, az adott szinten beépített folyadéklevételt biztosító elem fölötti mindenkori folyadékszintnek vagy hidrosztatikus nyomásnak megfelelően. A folyadékfelszínről történő tisztított víz elvételt biztosító dekanterek (a, b) előnye, hogy azoknál a folyadéklevétel előbb megindítható. Nem kell megvárni, hogy az iszapszint a rögzített dekanter szintje alá csökkenjen. Rövid kivárási idő után a lassúbb folyadéklevétel közvetlenül megindítható. A folyadékfelszín alatt rögzített magasságban kiépített folyadék elvételi elemeknél (c) az elvétel megindítása csak akkor indítható, ha a medencében az iszapszint a dekanter szintje alá csökken. A motorizált változat (a) vagy megfelelő szivattyúval szabályozott folyadéklevételt biztosító berendezések lehetővé teszik, hogy a folyadéklevétel sebességét szükség szerint változtassák. Minél több mechanikus berendezés kell azonban egy rendszer kialakításához, annál nagyobb a mechanikus meghibásodás valószínűsége az üzemeltetésnél. A rögzített folyadékszintnél

történő tisztavíz elvétel esetén (c) nincs az SBR medencében mozgó alkatrész, ami igen biztonságos üzemeltetést tesz lehetővé.



2.8. ábra: Tipikus dekanter kialakítások: (a) motorizált billenő szennyvízelvételi cső, (b) felszínen úszó szennyvízelvételi berendezés, (c) rögzített mélységben kiépített dekanter (Ketchum, 1991).

A dekanter tervezésénél figyelembe kell venni, hogy időnként elképzelhető úszó iszap jelentkezése is a medence felszínén. A felszínről történő folyadéklevétellel működő berendezések esetén ezért eleve olyan megoldást alakítanak ki, amely nem közvetlenül a folyadék felszínéről veszi el a tisztított vizet, hanem ott egy torló elem segítségével biztosítják, hogy csak bizonyos mélység alatt levő folyadék kerüljön elvételre. Ha azonban egy rendszerben iszapfelúszás jelentkezik az ülepítésnél, mindenképpen szükséges annak az időszakos eltávolítása a folyadék felszínéről, éppen az iszapfelúszás fokozódó jelentkezésének elkerülése érdekében.

2. 5. On-line szabályozás, ellenőrzés az SBR rendszereknél.

Az SBR tisztítónál az egyes fázisok időtartama megfelelő időkapcsolóval könnyen állítható, vezérelhető a mindenkori igényeknek megfelelően. Így az SBR nagyobb flexibilitást nyújt a változó terhelési viszonyok tolerálására, mint a folyamatos betáplálással üzemelő rendszerek. Egy folyamatos betáplálású eleveniszapos szennyvíztisztítónál a folyadék hidraulikus tartózkodási idejét minden egyes reaktorban a szennyvíztisztítóra érkező mindenkori folyadékáram határozza meg az állandó medencetérfogatok miatt. Különböző ellenőrzési, szabályozási lehetőségek adódnak ugyanakkor az SBR rendszerek esetében, melyeket az 1. táblázat foglal össze.

1. táblázat. Szabályozható technológiai paraméterek és a beállításukhoz szükséges adatok

Szabályozott paraméter	Mérendő paraméter
Teljes ciklusidő	A befolyó szennyvíz térfogatárama.
Töltés, vagy folyadékfeladás ideje	Az SBR folyamatai kinetikai vizsgálatokra használt zárt tankreaktorénaik megfelelőek.
Oxikus, anoxikus, anaerob szakaszok	On-line szenzorokkal ezért az aktuális folyamat dinamika, az SBR mindenkori állapota pontosan követhető.
Ülepítési idő	
A folyadéktérfogat csere mértéke (f_{extr})	
A szükséges SBR egységek száma	

Minden SBR ciklusban a biológiai folyamatok, a tápanyag beépítése teljesen hasonló a szakaszos, zárt, tökéletesen kevert reaktorban történő biológiai lebontás menetéhez, mellyel az eleveniszapos rendszer kinetikáját pontosítani lehet. Ennek megfelelően egy on line szenzor alkalmazásával a mindenkori SBR dinamika közvetlenül mérhető, vizsgálható és

annak megfelelően a rendszer mindenkori állapota pontosítható, ami a szükséges ciklushosszakot és szabályozást lehetővé teszi.

A különböző szabályozási lehetőségek hasznosításához az SBR esetében megfelelően ismerni kell, hogy az egyes változások mennyiben befolyásolják magát a tisztítási folyamatot. A folyamatos betáplálású rendszerekhez viszonyítva az SBR-nek az is előnye, hogy az egymást követő ciklusoknál a különböző változások hatása közvetlenül mérhető, akár akkor is, ha éppen lökészerű terhelések hatását vizsgálják a rendszernél.

Az on-line mérő berendezés beépítésével az SBR folyamatainak változása közvetlenül mérhető az ismétlődő ciklusok során. Az SBR minden egyes ciklusa gyakorlatilag egy szakaszos kísérletnek felel meg és közvetlenül is mutatja az eleveniszapos rendszer kinetikai paramétereinek alakulását. A megfelelő kinetikai információ alapján az SBR üzemeltetése jól optimalizálható. Ha például egy csúcsterhelés, vagy lökészerű terhelés esetén az ammónia koncentráció a levegőztetési ciklus végén még mindig egy előzetesen behatárolt határérték fölött marad, az információból egyértelmű, hogy a nitrifikáció nagyobb időigénye miatt a levegőztetési ciklust meg kell hosszabbítani a szükséges mértékű nitrifikáció érdekében. A levegőztetés időtartama mindaddig növelhető, amíg a párhuzamos SBR egységek vagy az SBR egységek előtt kiépített szennyvízfeladó puffer-medence azt lehetővé teszi. Ennek ellentétéként, ha a rendszerben a levegőztetés során már a teljes ammónia mennyiség oxidálódott, nitráttá alakult, szükségtelen a további levegőztetés, s az aerob fázis rövidíthető (energiatakarékosság).

2. 6 Más ciklikusan üzemeltetett szennyvíztisztító rendszerek

A klasszikus SBR technológián túl, melyet Arden és Lockett (1914) üzemeltetett először, több változó tisztítótér-fogattal működő szennyvíztisztítási megoldás is kifejlődött az utóbbi évszázadban. Az 1950-es évek során Pasveer (1959) javasolta az oxidációs árkok hasonló jelleggel történő üzemeltetését. Ez gyakorlatilag a szakaszos szennyvízbevezetés, majd egy megfelelő időtartamig történő utóülepítést követő folyadékkelvétel volt. Az SBR alapjával ellentétben azonban a Pasveer medencék, vagy ilyen oxidációs árkok valójában folyamatos betáplálással üzemelnek, sőt az ülepítő és dekantáló fázis alatt is történik azokba szennyvízbevezetés. A ciklikus üzemű eleveniszapos rendszereknél (CAST) egy további módosítást alkalmaznak az eredeti Pasveer javaslaton túl. Az tulajdonképpen nagyon hasonló az SBR rendszerek üzemeltetéséhez abban, hogy a különböző időciklusokban különböző folyamatok végrehajtása történik a rendszerben. Az ilyen ciklikusan levegőztetett eleveniszapos rendszerek reaktorai azonban három térrészre vannak osztva, hogy megoldható legyen a különböző időszakokban a szennyvízfeladás és az ülepített tisztított víz egyidejű elvétele. Az ilyen megoldásnál szükségszerű, hogy az utolsó térrészből a leülepedett szennyvíziszapot visszavezessék a rendszer elején kialakított folyadék bevezetésre szolgáló térrészbe, amit tulajdonképpen szelektornak is tekinthető (Demoulin és társai, 1997).

A Bio-denitro vagy Bio-denifo eljárások (Einfeldt, 1992) hasonlóan ciklikusan üzemeltetett rendszerek a folyadék bevezetését, valamint a levegőztetést illetően. Itt azonban két párhuzamosan üzemelő hasonló tisztító, pl. Carrousel rendszer ciklikus üzemeltetéséről beszélhetünk. A Bio-Denitro és Bio-Denifo eljárások esetén azonban a tisztító térfogata állandó és a szilárd folyadékfázis szétválasztására egy utóülepítő szolgál. Az SBR üzemeltetési elv nemcsak eleveniszapos szennyvíztisztítók, de biofilmes rendszerek esetében is hasznosítható (Wilderer, 1992). Egy szakaszos betáplálású biofilmes reaktorban (SBBR) hasonló üzemeltetési ciklusok alkalmazhatók, mint azt az 1. ábra az SBR esetére már

bemutatta. Mivel a hordozóhoz tapadó biomassza miatt ezeknél nem kell utóülepítés, a rendszer, illetve annak üzemeltetése is egyszerűbbé válik. A mindenkori folyadékfeladás teljes reaktortérfogatra vonatkoztatott térfogathányada ilyenkor kevésbé behatárolt, mint azt az ilyen elvű eleveniszapos rendszernél (lásd 10. ábra), és gyakorlatilag akár a 100 %-ot is elérheti egyetlen cikluson belül.

3. Folyamatos átfolyású és az SBR megoldású eleveniszapos rendszerek összehasonlítása.

A következőkben a folyamatos és a szakaszos betáplálású eleveniszapos rendszerek anyagmérlegei kerülnek összehasonlításra.

3. 1. Anyagmérleg

Az SBR rendszerek üzemeltetésétől függően azok csőreaktor (PFR) vagy folyamatosan kevert tankreaktor (CFSTL) jelleggel működhetnek (Irvine és Ketchum, 1989). A 2. táblázat az SBR és folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszerek anyagmérleg egyenleteit mutatja be.

2. táblázat: Az SBR és folyamatos betáplálású eleveniszapos tisztítók anyagmérleg egyenletei.

a SBR gyors feltöltésnél (a feltöltés végpontjától kezdődően) ^a	b csőreaktorszerű kaszkád (PFR)
--	--

amely a következőre egyszerűsíthető ^{c,d}

c SBR lassú feltöltésnél (a feltöltés alatt) ^d	d tökéletesen kevert medence (CFSTR)
--	---

a- kiindulási feltételek: $C_S(t = 0) \approx C_{S,in} * f_{exr} + C_S(t = t_c) * (1 - f_{exr})$

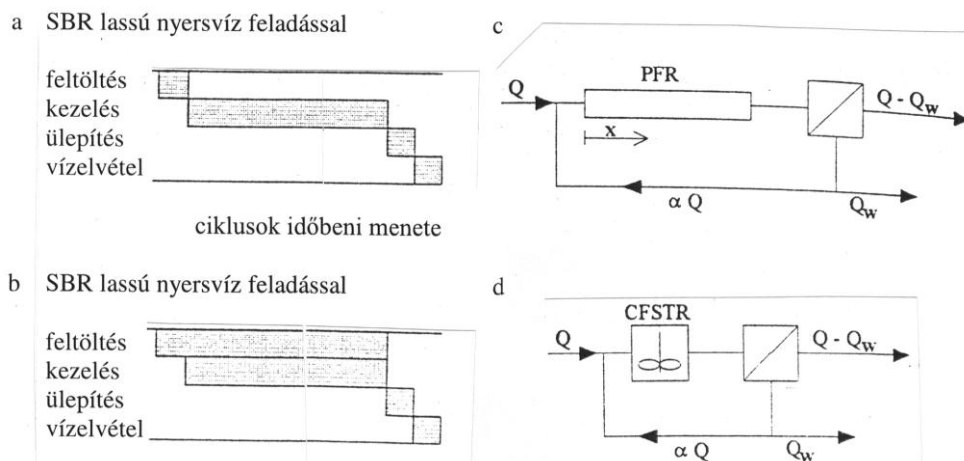
b- állandósult körülményeket feltételezve, figyelembe véve a HRT-t: $\tau = x * A/Q$

c- kiindulási feltételek: $C_S(\tau = 0) = C_{S,in} / (1 + \alpha) + C_S(\tau = V/Q) * \alpha / (1 + \alpha)$

d- kiindulási feltételek: $C_S(\tau = 0) = C_S(t = t_c)$

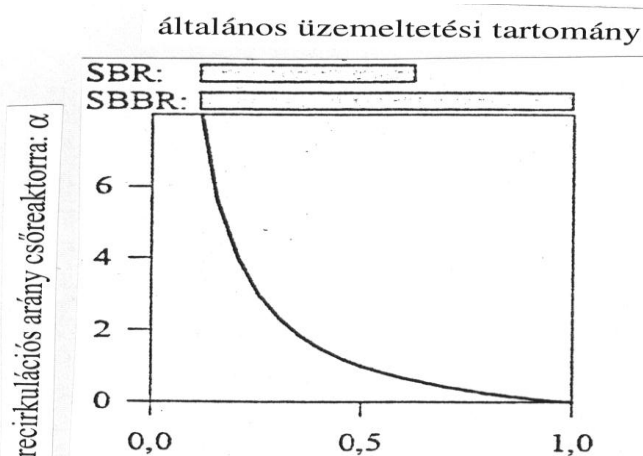
Látható, hogy az SBR anyagmérlege abban az esetben, ha nagyon gyors frissvíz betáplálást alkalmaznak, igen hasonló vagy teljesen megegyezik a csőreaktoréval. Az átlagos tartózkodási idő a csőreaktorban (τ) megfelel az SBR (t) átlagos tartózkodási idejének. Ezzel szemben olyan üzemeltetés vagy SBR rendszer esetében, amikor a nyers szennyvíz feladása hosszadalmas, illetőleg nagyon kicsi a feltöltési térfogathányad (f_{exr}), az üzemeltetés jellege sokkal jobban megfelel a tökéletesen kevert tankreaktorokénak. A 9. ábra két SBR ciklust mutat be, azok megfelelő folyamatos betáplálású analóg változatával egyetemben. A csőreaktorra számítható iszaprecirkulációs áram egyenérték ($\alpha \cdot Q$) összevethető az SBR rendszerben a tiszta folyadék eltávolítása után maradó iszap térfogathányadával. Ennek megfelelően a feltöltési térfogathányaddal is kifejezhető a relatív iszaprecirkuláció mértéke ($\alpha \cdot Q$) a folyamatos betáplálású vagy átfolyású rendszereknél.

$$f_{exr} = 1 / (1 + \alpha) \tag{1}$$



9. ábra: A gyors (a) és lassú nyersvíz feltöltéssel (b) üzemelő SBR rendszerek hasonló működésűen a csőreaktorszerű (PFR) medencesorhoz (c), illetőleg a tökéletesen átkevert (CFSTR) medencéhez (d). Megfelelő anyagmérleg egyenleteik (a-d) a 2. táblázat a-d pontjainál adottak

Az 1. egyenlet, valamint a 10. ábra alapján megállapítható, hogy az olyan folyamatos átfolyású eleveniszapos rendszerek, melyeknél az összes iszaprecirkuláció (iszap + belső recirkuláció) 1-4 között van, olyan szakaszos betáplálású rendszernek (SBR) felelnek meg, melyek feltöltési térfogatcsere hányada 0,5-0,2 közötti nagyságú. Csak nagy feltöltési térfogatcsere (f_{extr}) esetén alakulhat ki az SBR-nél egy csőreaktor jellegű üzemmód.



Másrésztől a nagyon kis cseretérfogat vagy feltöltési térfogat aránnyal működő vagy működtetett SBR üzemeknél (amikor az $f_{\text{extr}} = 0,1$) csőreaktorra átszámolva mintegy $\alpha = 9$ összes iszaprecirkulációs arány adódik. Olyan csőreaktor esetén, melyet ekkora iszaprecirkulációs aránnyal üzemeltetnek, nincs jelentős koncentráció gradiens, vagy nem alakul ki jelentős koncentráció gradiens a csőreaktor hossza mentén, és ez azt jelenti, hogy az gyakorlatilag tökéletesen kevert tankreaktorként működik.

10. ábra: Az SBR és SBBR rendszerek feltöltési térfogatcsere hányada a csőreaktorszerű üzem recirkulációs arányának megfelelő paraméter. Az SBR-nél a maximálisan megengedhető térfogatcsere hányadot a reaktorban maradó iszapfázis térfogata limitálja. Az

SBBR esetén az iszap a hordozóhoz tapad, ezért a térfogatcsere hányad akár 100 %-ra is növelhető.

3. 2. Folyamatos átfolyású és szakaszos betáplálású szennyvíztisztító rendszerek alkalmazása.

A korábbiakban leírtak alapján jól látható, hogy a mikroorganizmusok mind a folyamatos betáplálású és átfolyású, mind a szakaszos betáplálású eleveniszapos rendszerekben hasonló körülményeknek, váltakozó tápanyag-ellátottságnak vannak kitéve. Egyik esetben ez térben ciklikus, a másikon időben váltogatott. Ettől függetlenül mindkét rendszerben hasonló mikroorganizmusok kifejlődésére, szelekciójára van lehetőség, hiszen tápanyag-lebontási folyamataik is igen hasonlóak, vagy teljesen egyezők (Wanner, 1992). Elméletileg mindkét rendszer jól felhasználható ugyanolyan tisztítási feladatok biztosítására. A gyakorlatban azonban mindkét rendszernek megvannak a maga hiányosságai.

Az SBR esetében kedvező, hogy nagyon rugalmasan, igazán csőreaktor jelleggel üzemeltethető. Mivel a tisztítás menete a levegőztető, vagy reaktortérben időben jól követhető, a folyamat ellenőrzése nagyon egyszerű megfelelő on-line műszerekkel (DO, pH, nitrát). Számítógéppel az adatok jól értékelhetők, feldolgozhatók. Az ülepítés időben elkülönítve történik, nem zavarja azt semmilyen belső folyadékáramlás az ülepítőben. Bizonyos folyamatok azonban az SBR-nél csak időben eltolva következhetnek be, mint pl. a biológiai foszfor eltávolítás a biofilmes, szakaszos betáplálású rendszereknél (Gonzalez-Martinez és Wilderer, 1991).

A szakaszos betáplálású eleveniszapos tisztítókkal szemben a folyamatos átáramlásúak sokkal rugalmasabbak az iszap recirkulációját illetően. Az iszap ezeknél elvileg bármely reaktortérben visszavezethető (szükségletnek megfelelően, pl. az UCT eljárásnál). Hasonló változatokra az SBR nem alkalmas. Az SBR üzemeltetése időben ciklikus, ahol az iszaprecirkulációt a tisztított folyadék elvételét követően a tartályban, vagy medencében maradó iszapos víz térfogata határolja be. A folyamatos átfolyású rendszereknél nagy előny, hogy a változó vízhozam tisztítására (pl. egyesített csatornarendszerek szennyvize) sokkal jobban alkalmazható, mint a szakaszos betáplálású egységek. Ezek esetében az üzemeltetés nem idővezérelt, ami ugyancsak egyszerűsíti az üzemeltető dolgát. A szennyvíz az utóbbiaknál általában gravitációsan folyik keresztül a szennyvíztisztítón. Az SBR típusnál szivattyúkkal kell vezérelni vagy üzemeltetni a folyadékfeladást, valamint a tisztított szennyvíz elvételét is.

4. Az SBR tervezési alapelvei

Az SBR rendszerek tervezésénél hasonló alapelveket kell figyelembe venni, mint a folyamatos átfolyású eleveniszaposoknál. A következő igényeket, paramétereket kell figyelembe venni a tervezés során:

Üzemeltetési stratégia: Az üzemeltetési stratégia gyakorlatilag a különböző fázisok sorrendjének és időtartamának meghatározását vagy behatárolását jelenti a teljes cikluson belül, a tisztításnál elérendő célnak megfelelően. Az SBR egységre a nyers szennyvizet vagy gyors vagy hosszabb ideig tartó, lassú feladással, betáplálással juttathatják fel. Az SBR egy teljes ciklusa ezen belül egyetlen betáplálást, vagy akár több betáplálási szakaszt is tartalmazhat (5. ábra). Az egyes szakaszok időtartama a tervezésnél előzetesen behatárolható,

de beállítható az üzemeltetés on-line ellenőrzése segítségével is, a mindenkori szennyvíz összetételnek és koncentrációnak megfelelően.

Iszapkor. Az SBR iszapkorának számításánál gyakorlatilag egy hatásos, vagy tényleges iszapkort kell számítani a teljes napra figyelembe vehető iszapkorból, hiszen az ülepedés és a tisztított szennyvízelvétel időtartama nem vehető figyelembe az iszapkor számításánál.

Cikluson belüli térfogatcsere hányad (f_{exr}), és a teljes ciklus időtartama (t_c): A tisztítandó, vagy naponta tisztítható szennyvíz mennyiségét a mindenkori ciklusonkénti térfogatcsere hányadból kell kiszámolni, figyelembe véve a napi ciklusok számát (3. és 4. táblázat). Ezek figyelembevételével a rendszerre egy névleges hidraulikus tartózkodási idő számolható (Θ_H), amely $\Theta_H = t_c / f_{\text{exr}}$. Hogy nagy kiindulási, vagy kezdő tápanyag koncentráció legyen elérhető, a térfogatcsere-hányadot nagyra kell választani.

Különböző szakaszok időtartamának számítása: Az SBR cikluson belüli különböző szakaszai időtartamának (lásd 1. ábra) a számítása a 3. és 4. táblázatban megadott egyenletek segítségével történhet és az on-line ellenőrzés és az adatok számítógépes feldolgozása, dinamikus szimulációja és optimalizálása alapján pontosítható.

SBR reaktorok számának és térfogatának meghatározása. A párhuzamos SBR egységek száma a tisztítás mindenkori igényének megfelelően választandó. Egy adott rendszerben a párhuzamos reaktorok száma mind a beruházási költséget, mind az üzemeltetés rugalmasságát növeli.

4. 1. Tervezés a folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszerek analógiája alapján.

Az SBR tisztítók tervezése a folyamatos betáplálású rendszerek tervezésének megfelelően is történhet, mint azt a 3. táblázat mutatja. Feltételezett ilyenkor, hogy a rendszerben levő iszap aktivitása mindkét reaktortípusnál azonos, bár az SBR-t illetően a közlemények nagyobb lebontási sebességről számoltak be a folyamatos betáplálású rendszerekhez viszonyítva. Ez annak tulajdonítható, hogy az SBR esetében a csőreaktor jelleg sokkal jobban megvalósítható, mint a folyamatos betáplálású rendszereknél. A tervezésnél a lebontási sebességnek ezt a különbsége elhanyagolható. Az SBR tisztítónál a tisztítás időtartama, valamint az egyes ciklusokon belüli eltérő szakaszok sorrendje és időtartama a folyamatos betáplálású eleveniszapos szennyvíztisztítók analógiájára tervezhető (ATV, 1997).

3. táblázat: Az SBR tervezésének lépései a folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszerek analógiájára történő számolásnál (ATV, 1997).

-
1. Szükséges információk: A folyamatos rendszerek tervezésének, és az SBR üzemeltetési stratégiájának az ismerete.
 2. A tényleges cikluson belüli vagy napi tartózkodási-idő hányad számítása. hatásos hányad =
 3. A hatékony iszaptömeg az SBR-nél a folyamatos átáramlású rendszerekével megegyező.
 4. Az iszapkoncentráció megválasztása az SBR-nél a teljesen feltöltött állapotra számolva.
 5. A ciklusonkénti térfogatcsere-hányad számítása az iszap ülepedési hajlama függvényében.

6. A térfogat kicserélési hányad vagy ciklusidő meghatározása.
 7. Az SBR párhuzamos egységeinek (n) számítása, a térfogatcsere-hányad és ciklusidő pontosítása.
 8. Nitrogén eltávolításra tervezett rendszereknél a nem levegőztetett és levegőztetett szakaszok időtartamának pontosítása a folyamatos betáplálású rendszerek levegőztetett és nem levegőztetett térfogathányadainak analógiájára.
 9. A t_s és t_d ellenőrzése az iszapüledési sebesség és legnagyobb folyadék elvételi sebességnek alapján.
-

4.2. Anyagmérleg alapján történő SBR tervezés

Az SBR rendszer tervezése történhet annak az anyagmérleg egyenleteinek megfelelően is (4. táblázat). A megfelelő iszaptartózkodási idő, vagy iszapkor igény (SRT) behatárolása után a rendszerben szükséges teljes iszaptömeg a naponta eltávolítandó KOI ismeretében számítható. A szennyvíztisztítóban vagy medencében tartandó minimális iszaptérfogat a tisztított szennyvíz elvételét követően (V_0) az ülepitő fázis végén kialakuló iszaptérfogat alapján pontosítható. A térfogatcsere hányad vagy feltöltési hányad (ΔV) a megválasztott napi ciklusidő vagy ciklusszám alapján pontosítható. Az SBR teljes térfogatigénye (V_R) a két térfogat összegéből számolható (V_0 és ΔV).

4. táblázat. Az SBR rendszer anyagmérlegének megfelelő tervezési lépések (a tervezésnél az eleveniszapos rendszer mérlegegyenletei – Orhon és Artan, 1994 – használhatók).

1. Szükséges információk: az SBR működési ciklusainak a behatárolása.
2. A szükséges iszap tartózkodási idő ($\Theta_{X, \text{hatásos}}$) meghatározása.
3. A t_c tényleges hányadának meghatározása. hatásos hányad =
4. A reaktorban lévő iszaptömeg, valamint a teljes rendszerben – reaktor sor – levő iszaptömeg meghatározása.
5. Az egyes reaktorokban az ülepités végén kialakuló iszaptérfogatok számítása.
6. A térfogatcsere hányad, valamint a ciklusidő számítása.

7. A térfogatcsere hányad alapján a ciklusidő a következő egyenlettel számítható:
8. Az egyes reaktorokban alkalmazandó ciklusonkénti folyadékfeladás, vagy térfogatcsere-hányad, illetőleg térfogat behatárolása.
9. A teljes SBR térfogatigény meghatározása.
10. Az SBR párhuzamos egységeinek számítása (m).
11. Minimális levegőztetési idő számítása a nitrifikációhoz elengedhetetlen oxikus iszapkkal.
12. A cikluson belüli szennyvízfeladások számának, folyadékelosztásának tervezése (a szennyvíz TKN/KOI aránya függvényében) 5. ábra analógiájára
13. Nitrogén eltávolításnál a nitrifikáló és denitrifikáló kapacitás ellenőrzése a ciklusok kiválasztásának megfelelően.
14. A denitrifikáció időszükségletének ellenőrzése a denitrifikáció sebessége alapján.
15. t_s és t_d és a maximális tiszta víz elvételi térfogat-áram ellenőrzése az iszapüledésnek megfelelően.

4. 3. A fázis elosztás vagy különböző szakaszok hosszának behatárolása, optimalizálása dinamikus szimulációval.

A szimulációnál felhasználandó egyenleteket megfelelő egyszerűsítés figyelembevételével kell felvenni. Az egyszerűsítések természetesen a mindenkori tervezésnek megfelelően végezhetők. Az eleveniszapos szennyvíztisztítás matematikai modellje a korábbi fejlesztés eredményeként napjainkban már rendelkezésre áll (Henze és társai, 1987). Ezek a modellegyenletek alkalmazandók a dinamikus szimulátor elkészítésénél. Ezzel együtt a szimulátor megfelelőségét előzetes ellenőrző futtatásokkal igazolni is szükséges. A tisztító tervezésének optimalizálása a mindenkori dinamikus terhelési körülményeknek megfelelően csak ezt követően történhet. Folyamatos szennyvízminőség esetén az optimalizálás a denitrifikáció, nitrifikáció és KOI eltávolítás hatékonyságára vonatkozóan végezhető. A dinamikus szimulációval azonban pontosítható a tisztítandó szennyvízminőség változásának hatása, valamint a célszerűen módosítandó cikluson belüli szakaszok időtartamának a várható hatása is. Éppen a szennyvízminőség jelentősebb változásának a kivédésére optimalizálandók a rendszerek.

5. Értékelés

A korábbiak vizsgálatából nyilvánvaló, hogy a szakaszos és folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszerek üzemelése és hatékonysága nagyon sok tekintetben hasonló. Más oldalról vizsgálva az is megállapítható, hogy mindegyik rendszernek megvannak a maga hiányosságai, amit a típus megválasztásánál célszerű figyelembe venni. Az SBR nagyobb medencetérfogatot igényel ugyanolyan mennyiségű szennyvíz tisztításához. A rendszer teljes térfogatát illetően ugyanakkor az SBR más kisebb térfogatigényű, mint a folyamatos betáplálású rendszere (levegőztető medence és utőüleptítő együttes térfogata). Az ülepítés az SBR esetében a levegőztető medencében történik és a folyamatos betáplálású rendszerektől eltérően a folyadék beáramlás magát az utőüleptítést ilyen értelemben, nem zavarja. A jobb ülepedési sebesség ennek megfelelően kisebb összes térfogat tervezését teszi lehetővé.

Az összes térfogatigény ilyen kedvezőbb alakulása azonban nem egyetlen előnye az SBR rendszereknek. Sokkal fontosabb annál a nagy üzemeltetési rugalmasságuk. Az egyes cikluson belüli szakaszok változtatása nagyon egyszerű, minden különösebb térfogat változtatás nélkül elvégezhető, ami talán a legnagyobb előnye ennek a rendszernek. Az on-line ellenőrzés az SBR tisztítóknál a kinetika közvetlen vizsgálatára és ennek révén mintegy prediktív kontroll alkalmazására teszi alkalmassá a rendszert. A folyamatos betáplálású rendszereknél a térben állandósult környezeti feltételek miatt, valamint a rögzített reaktortérfogatok miatt hasonló rugalmasság nem lehetséges. Az SBR-nek ez a nagy rugalmassága, vagy változtathatósága ugyanakkor szükségessé teszi a folyamat jobb műszerezését, automatizálását is. Néhány üzemeltető napjainkban éppen ezt a nagy automatizáltságot (meghibásodási lehetőség) tekinti a jelenlegi SBR rendszerek egyik hátrányaként.

Az SBR rendszerek több reaktor párhuzamos kapcsolását, valamint azokat megelőzően és azokat követően kiegyenlítő medencék kialakítást igénylik, célszerűen meglehetősen kompakt, zárt kiépítésben. A moduláris kiépítés ugyanakkor az üzem esetében könnyen lehetővé teszi, hogy bizonyos reaktortérfogatokat a terhelés változásával könnyen kiiktassanak, kikapcsoljanak a rendszerből, ami kedvezőbb üzemeltetést, optimális körülmények biztosítását teszi lehetővé. Ez a különlegessége a rendszernek, különösen az ipari szennyvizek tisztításánál fontos, de olyan speciális lakossági szennyvizek esetén is fontos lehet, mint pl. a turistacentrumok, üdülőhelyek, valamint olyan szezonálisan működtetett mezőgazdasági, ipari tevékenységek, vagy nagyon hirtelen agglomerizálódó térségek szennyvizei.

6. Összefoglalás.

1. Az SBR rendszerek a legkorábban alkalmazott eleveniszapos szennyvíztisztítási technológiák voltak. Hamarosan átalakították azonban azokat folyamatos betáplálású üzemmódra, mivel a fejlődés adott szakaszában még hiányoztak a működtetésükhöz, automatizálásukhoz szükséges eszközök (megbízható időkapcsoló, eltömődés mentes levegőztető, diffúzor rendszerek). A technológia jelenlegi fejlődési szintjén azonban ezek a hátrányok már mind ki vannak küszöbölve, ami az SBR versenyképességét eredményezi.
2. Napjainkban az SBR rendszerek nagy rugalmassággal rendelkeznek az üzemeltetés tekintetében (rugalmasan változtatható tisztítási szakaszok, szennyvízfeladás, levegőztetés, ülepítés, tisztított víz elvétel, pihentetés). Az utőbbiak célszerűen változtathatók mind időtartamukban, mind sorrendjüket illetően is. A rendszer folyamatos on-line ellenőrzésével az SBR nagyon jól optimalizálható az eltérő összetételű szennyvizek tisztítására.

3. A különböző műveletek elvégzésére, mint a szennyvízfeladás, keverés, levegőztetés, tisztított szennyvíz elvétel, ma már igen jó, megbízható berendezések állnak rendelkezésre. Ezek legtöbbje jól illeszthető a tisztítás folyamatába.
4. Az SBR rendszer tervezése a folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszerek analógiájára is történhet. Gondosabb tervezésnél, pontosabb számításnál azonban az SBR anyagmérleg egyenleteit figyelembe véve célszerű eljárni. Az egyes tisztítási szakaszok időtartama a dinamikus szimuláció segítségével könnyen optimalizálható.
5. A szakaszos betáplálású, valamint folyamatos betáplálású eleveniszapos szennyvíztisztítók anyagmérlegének vizsgálata alapján megállapítható, hogy az SBR esetében a gyors szennyvízfeladás, vagy rövid feladási szakasz, és a nagy térfogatcsere arány igen kedvező a csőreaktor jellegű üzemmód kialakításához, ugyanakkor a lassú feladás és kis térfogatcsere hányad esetén egy csaknem tökéletesen kevert tankreaktor üzemeltetése megvalósítható azzal.
6. Bár az SBR rendszerek és a folyamatos betáplálású eleveniszapos rendszerek igen hasonlóak, mindkét technológiának megvannak a maga előnyei. Az SBR nagyobb rugalmasságot biztosít az üzemeltetésnél és jobban alkalmazkodik a változó szennyvíz minőséghez. A tisztítandó szennyvíznek megfelelően alkalmazandó optimális körülmények az SBR esetében egyszerű on-line ellenőrzéssel pontosíthatók, ami egyszerű követő szabályozást tesz lehetővé a rendszer üzemeltetésénél. A folyamatos betáplálású szennyvíztisztító rendszerek ugyanakkor nagyon kedvezőek olyankor, amikor az iszaprecirkuláció jelentős változtatására van szükség a tisztításnál. Ezeknél az iszap legkülönbözőbb helyekre, reaktor térfogatokba történő visszavezetésére nyílik lehetőség és így az egyesített csatornarendszerek szennyvizeinek a tisztítására talán kedvezőbbek, mint az SBR rendszerek.

7. Hivatkozások

- Arden, E. - Lockett, W. T. (1914): Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters. *J. Soc. Chem. Ind.*, 33, 523-536.
- ATV (1997): Belebungsanlagen im Aufstaubetrieb (Activated sludge variable volume reactors), Merkblatt ATV-M 210. Hennef: Abwassertechnische Vereinigung.
- Chiesa, S. C. - Irvine, R. L. - Manning, J. F. Jr. (1985): Feast / famine growth environments and activated sludge population selection. *Biotechnol. Bioeng.*, 27, 562-568.
- Demoulin, G. - Goronszy, M. C. - Wutscher, K. - Forsthuber, E. (1997): Co-current nitrification / denitrification and biological P removal in cyclic activated sludge plants by redox controlled cycle operation. *Water Sci. Technol.*, 35, 215-224.
- Duckworth, W. H. (1914): Aeration experiments with activated sludge. *Proc. Annu. Meet, Manchester District Branch of the Assoc. Managers of Sewage Disposal works* 50.
- Einfeldt, J. (1992): The implementation of biological phosphorus and nitrogen removal with the Bio-Deniphos process on a 265 000 PE treatment plant. *Water. Sci. Technol.*, 25, 161-168.
- Gonzalez-Martinez, S. - Wilderer, P. A. (1991) Phosphate removal in a biofilm reactor. *Water. Sci. Technol.*, 23, 1405-1415.
- Henze, M. - Grady, C. P. L. - Gujer, W. - Marais, G. V. R. - Matsuo, T. (1987): Activated sludge model No. 1, IAWPRC Scientific and Technical Reports, No. 1, IAWQ London.
- Irvine, R. L. - Bush, A. W. (1979): Sequencing batch biological reactors - an overview, *J. Water Pollut. Control. Fed.*, 51, 235-243.
- Irvine, R. L. - Ketchum, L. H. (1989): Sequencing batch reactors for biological wastewater treatment, *CRC Crit. Rev. Environ. Control*, 18, 255-294.
- Irvine, R. L. - Wilderer, P. A. - Flemming, H. C. (1997): Controlled unsteady state process and technologies - an overview. *Water Sci. Technol.*, 35, 1-10.
- Ketchum, L. H. J. (1997): Design and physical features of sequencing batch reactors, *Water Sci. Technol.* 35, 11-18.

- Melling, S. E. (1914): Purification of Salford sewage along the line of the Manchester experiments. *J. Soc. Chem. Ind.*, 33, 1124-1127.
- Oles, J - Wilderer, P. A. (1991): Computer aided design of sequencing batch reactors based on the IAWPRC activated sludge model. *Water Sci. Technol.*, 23, 1087-1095.
- Orhon D. - Artan, N. (1994): *Modeling of Activated Sludge Systems*. Lancaster, Technomic
- Pasweer, A. (1959): Contribution to the development in activated sludge treatment. *J. Proc. Inst. Sewage Purif.*, 4, 436-455.
- Wanner, J. (1992): Comparison of biocenoses from continuous and sequencing batch reactors. *Water Sci. Technol.*, 25, 239-249.
- Wesner, G. M. -Culp, G. L. - Lineck, T. S. - Richts, D. J. (1978): Energy conservation in municipal wastewater treatment. U.S. EPA Report, 430/9-77-011.
- Wilderer, P. A. (1992): Sequencing batch biofilm reactor technology, in: *Haenensing Biotechnology for the 21-st Century* (Ladish, M. R. - Bose, A. Eds.), pp. 475-479. Washington, DC: American Chemical Society.