Az eleveniszapos szennyvíztisztítás
- rendszerkiépítésének konfigurációi -

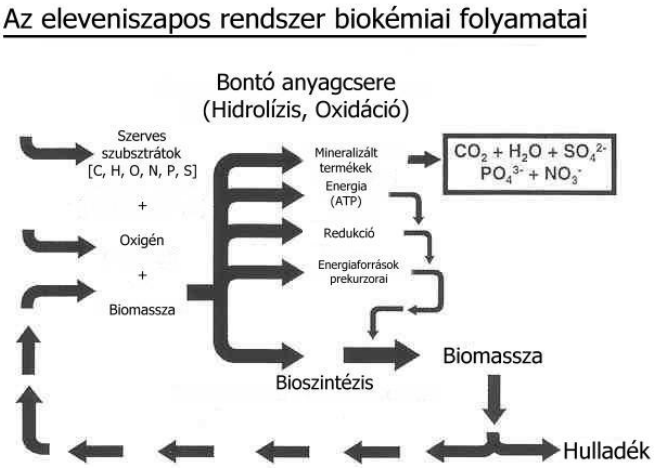
Koroknai Balázs

Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék

Seviour,R.J.- Lindrea,K.C.-Griffiths,P.C.-Blackall azonos című, Seviour,R.J. és Blackall,L.L. „Az eleveniszapos szennyvíztisztítás mikrobiológiája” c. könyvében megjelent anyaga alapján.

1.1. 1. Bevezetés

Az eleveniszapos szennyvízkezelés a világ jelenleg üzemelő egyik legnagyobb biotechnológiai iparága, ugyanakkor mégis alapvetően különbözik a gazdaságilag fontos fermentációs iparágazatok (mikroorganizmusokból álló biomassza nagyüzemi előállítását szolgáló) ellenőrzött oxigénbevitellel, vagy anélkül működtetett fermentációs rendszereitől. A szennyvíziszap olyan vegyes biológiai kultúra, melynek képesnek kell lennie megbirkózni a szennyvízzel érkező különböző kémiai összetételű, illetőleg molekula- vagy részecskeméretű szerves anyagféleségek hihetetlenül széles skálájával. Mindezen kémiai anyagok egy része a szennyvízcsatornában még az előtt átalakulhat, hogy a tisztítóba beérkezne, más részük pedig biológiailag lebonthatatlan (rezisztens) így átalakulás nélkül jut át a tisztítórendszeren, ha nem adszorbeálódik az iszapon. Az ilyen, ill. a bontható, de mégis toxikus hatású szennyező anyagoknak (xenobiotikumok, nehézfémek, stb.) káros hatásuk van a mikroorganizmus-kultúrára, s így a teljes eleveniszapos rendszerre. A szennyvíz biológiailag lebontható tápanyagainak a lebomlási mechanizmusait és a folyamatban valószínűsíthető biokémiai reakciókat mutatja be az 1. ábra.



1. ábra: Az eleveniszapos rendszerben végbemenő

legfontosabb biokémiai folyamatok áttekintése

Az eleveniszapos rendszerben azonban szükséges mindezen tápanyagoknak egy megfelelően méretezett reaktorban történő eloszlatása is, hogy a lebegő, vagy rögzített állapotban (biofilm) szaporodó mikroorganizmusok velük közvetlen kontaktusba kerülhessenek. Valamennyi esetben térbeli mikroorganizmus-komplexumok, úgynevezett iszappelyhek / iszapfilmek alakulnak ki. Az előbbieknek, sőt a biofilmből időszakosan leszakadó részeknek is megfelelő ülepedési lehetőséget kell biztosítani, hogy az úgynevezett utóülepítőben kellő mértékben elkülönülhessenek a tiszta folyadékfázistól. A leülepedett mikroorganizmus-tömeget ugyanakkor recirkuláltatni kell a reaktorba, hogy (a mikroorganizmusokat sokszoros munkára fogva) a folyamatot, illetőleg a szennyvíz tisztítását intenzifikálni lehessen.

Az aerob folyamatoknál tetemes költségráfordítással oxigént is biztosítani kell, mely egyrészt a biomassza kevertetéséhez, másrészt az említett, aerob biológiai lebontásért felelős mikroorganizmusok élettevékenységének biztosításához szükséges. Eleveniszapos rendszerek esetében mindig tekintetbe kell venni a befolyó szennyvíz vízhozamának a tápanyagellátásra gyakorolt negatív hatását (nagymértékű fluktuáció), s ezzel a tápanyagnak minősülő szennyező anyagok, valamint a belőlük kialakuló biomassza koncentrációjának és összetételének óránkénti, napi és évszakos ingadozásait. Az egyes folyamatok időállandója ugyan igen eltérő (egyeseké olyan nagy, hogy hatásuk el is hanyagolható), azokkal a tisztításnál mégis számolni szükséges. Hasonló hatása van a különböző hőmérsékletű szennyvíz érkezésének, mely szemmel látható hatással van az oxigénbevitel és a mikroorganizmusok anyagcseréjének, szaporodásának sebességére.

A folyamat végterméke, a mikrobák által képzett biomassza, az úgynevezett eleveniszap a legtöbb országban jelenleg is kihasználatlan tápanyag- és energiaforrás. Annak ellenére, hogy tápanyagokban és értékes nyomelemekben (fémekben) gazdag, és annak élelmiszeripari hasznosítása is lehetséges lenne, az eleveniszapot ma olyan, a környezetet közvetlenül terhelő szennyezőanyagként tartják számon, melynek deponálásáról, ártalmatlanításáról gondoskodni kell, annak magas költségei és az anyag természetéből adódó kényelmetlenségek ellenére is.

A kontrollálhatatlan változók nagy számával együtt is igen jó az eleveniszapos rendszerek hatékonysága. Úgy tűnik, egyértelmű az általános meggyőződés, hogy megbízhatóságuk, sokoldalúságuk és alkalmazhatóságuk rugalmassága miatt minden valószínűség szerint a levegőztetéssel végzett szennyvízkezelési módok közül még hosszú ideig ez lesz a legnépszerűbb. Az ilyen típusú tisztítókat mindig úgy kell tervezni, hogy a bővülő kapacitásigényt is ki tudják elégíteni, valamint az új ismeretekkel kiegészülő komplikáltabb üzemi konfigurációkra is könnyen átalakíthatók legyenek.

Az üzemeltetés monitoringjára alkalmazott komplex mérő, jelátviteli és dokumentációs rendszerek és a számítógépes ellenőrző, szabályozó rendszerek gyors fejlődése ellenére a mai napig az általános használatra épített tisztítók tervezési metodikája fő vonalaiban csak alig változott. A legtöbb esetben az oxikus reaktor továbbra is egy téglalap alapú medence, melyben vagy a fenék közelében elhelyezett diffúzorok, vagy mechanikus felületi kevertetés révén biztosítják a belső térben levő többfázisú anyag mozgatását és oxigénellátását. A reaktor elfolyó vize (az eleveniszappal együtt) pedig egy utóülepítőbe

jut, ahol megtörténik annak az elkülönítése a folyadékfázistól. Az iszap a medence fenekéről nagyobb részben visszakerül a levegőztető reaktorba, kisebb része (fölösiszap) további sűrítésre, feldolgozásra kerül.

Eredetileg az ilyen típusú rendszerek elsődlegesen azzal a céllal épültek, hogy a kommunális szennyvizek szerves széntartalmát, ill. a bennük természetszerűleg előforduló egyéb szerves (tehát biológiailag bontható) komponenseket képesek legyenek eltávolítani. Ezzel a tisztított elfolyó víz tartósan alacsony BOI_5- és lebegőanyag-tartalmával, a befogadó szerves anyag terhelését annak öntisztító kapacitása, vagy hatóságilag előírt határértékei alá csökkenthessék. A BOI_5-re és a lebegőanyagra vonatkozó úgynevezett 30:20-as szabvány, ami mg/l mértékegységben megadott koncentrációkat jelentett, korábban több országban is széles körben használatos volt, mint a kommunális tisztítóktól megkövetelt, a tisztított elfolyó vízre vonatkozó minőségi határérték.

A vízi környezet növekvő terhelésével, s a technológiák folyamatos fejlődésével azonban egyre növekvő igény jelentkezett az elfolyóvíz ammónia / ammónium-tartalmának csökkentését illetően. A vizsgálatok kimutatták, hogy ez a vegyület jóval toxikusabb a halakra nézve, mint a nitrát. A tisztítók tervezésénél tehát ettől kezdve úgy kellett a meglévő elveket módosítani, hogy az üzemben a nitrifikációhoz szükséges körülményeket is biztosítani lehessen. Az utóbbi két évtizedben az eutrofizáció hosszabb távú veszélyeivel szembesülő szakemberek már eleve olyan tisztítókat terveztek, melyek képesek mind a foszfor-, mind a nitrogénformák mikrobiológiai eltávolítására. Várható, hogy a jövőben a közvélemény nyomásának hatására az elfolyó vízre az eddigieknél is szigorúbb törvényi szabályozást készítenek, így ezek a nagyobb költséggel kiépíthető tisztítók idővel széles körben elterjednek. A megnövekedő reaktorméret révén lehetőség lesz különböző körülményeket biztosító részmedencék kialakítására, különös tekintettel az egyes medencékben a biomassza oxigénellátottságára, mely a különböző folyamatokra (foszforeltávolítás, nitrifikáció, denitrifikáció, BOI-eltávolítás) specifikus mikroorganizmus csoportok kellő mértékű elszaporodását biztosítja.

Az egyre összetettebb kiépítésű tisztítók képesek a jelenkor megnövekedett igényeinek kielégítésére is. Az ilyen rendszereknél az alacsony oldott oxigén-ellátottságú, de ugyanakkor magas oldott nitrát koncentrációjú anoxikus medencetér beiktatásával lehetővé vált a denitrifikáció, a nitrát- és oxigénszegény környezet pedig az anaerob

medencében biztosít előnyös körülményeket a foszforakkumulációra képes mikroorganizmusok elszaporodásához. A folyamatban ezt következő reaktorzónáiban a szerves komponensek immobilizációja és széndioxiddá alakítása, az ammónium oxidációja és a foszfor nagyobb fajlagos mennyiségben történő felvétele következik be.

1.2. 2. Technológia kialakítás eleveniszapos rendszerekben

Az eleveniszapos rendszerekkel szemben megfogalmazott egyik legfőbb követelmény a rugalmasság igénye. A különböző megvalósítási módozatok ellenére az eleveniszapos technológia korai időszakában a tervezőket ugyanaz az alapvető célkitűzés vezette: kis helyen minél hatékonyabban és minél olcsóbban biztosítani a kellő mértékű szerves anyag eltávolítást. Egyszersmind meg kellett oldani a telepre befolyó egyedi (nem lakossági) szennyvizek kezelését is, kielégítve az egyre szigorúbb határértékeket. A különböző rendszerek tárgyalásának áttekinthetőbbé tétele érdekében célszerű csoportosítani azokat felépítésük, a szennyvíz betáplálásának a módja, valamint a tisztítási igény szerint. A lehetséges kiépítési konfigurációk jellegzetességeinek csak egy része kerül a következőkben bemutatásra. E változatok működésbeli eltéréseit az 1. táblázat foglalja össze.

2.1 A hagyományos eleveniszapos szennyvíztisztító

A kezdetben épített szennyvíztisztítók kizárólagosan szakaszos, vagy csak részben folyamatos üzeműek voltak, melyek sokoldalúságuk miatt éppen mostanában kezdenek újra népszerűvé válni, mint például az SBR-rendszerek. A ma üzemelő kommunális szennyvíztisztítók döntő része folyamatos üzemű. Ezeket reaktortechnikailag csőreaktor típusba, vagy a tökéletesen kevert tankreaktorok típusába sorolhatjuk. Ez ugyan meglehetősen pontatlan besorolás, hiszen a csőreaktorszerű üzemben is kialakul bizonyos mértékű keveredés a levegő keverése miatt, a tökéletesen kevert reaktor megvalósítása pedig ugyancsak utópia.

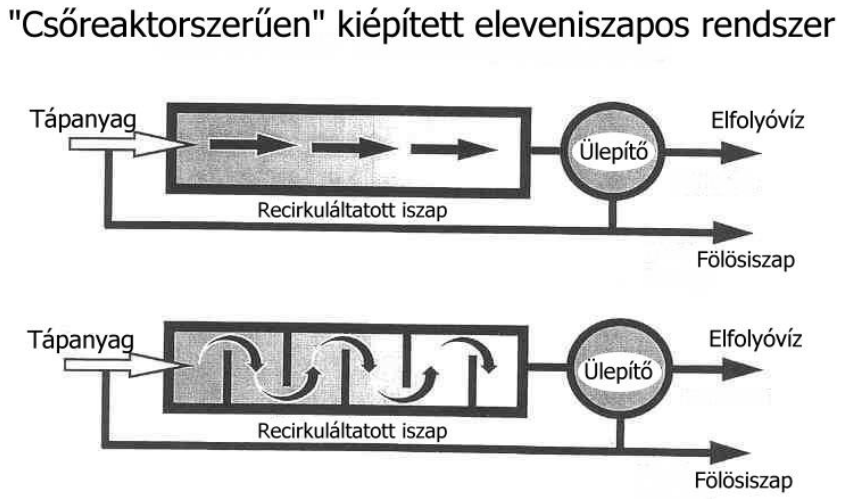
1. táblázat: *Az eleveniszapos rendszerek különböző megvalósításainak általános működési paraméterei (Gray, 1990)*

Paraméterek	**Hagyom-**	**Hosszan**	**Nagyterh.**

	ányos tisztítók	**levegőztetett rendszerek**	**rendszerek**
Szervesanyag-terhelés,(kgBOI/m^3/d)	0,5 – 1,5	0,24 – 0,36	1,5 – 3,5
Iszapkor, (d)	3 – 4	15 – 16	0.5
Hidraulikus tartózkodási idő, (h)	5 – 14	24 – 72	1 – 2 (max.8)
Fajl. iszapterhelés, (kgBOI$_5$ /kgMLSS/d)	0,2 – 0,6	0,03 – 0,15	1 – 2,5
Iszapkoncentráció, (g/l)	2 – 3 (PFR) 3 – 6 CMSTR)	2 – 6	5 – 10

a) Csőreaktorként üzemelő rendszerek

A dugószerű áramlású rendszerek sajátságai a 2. ábrán láthatók. Ilyen kialakítással a tervezők szándéka szerint mérsékelhető a fonalasok elszaporodása, így végeredményben a tökéletesen kevert eleveniszapos rendszerekénél jobban ülepíthető iszap nyerhető.

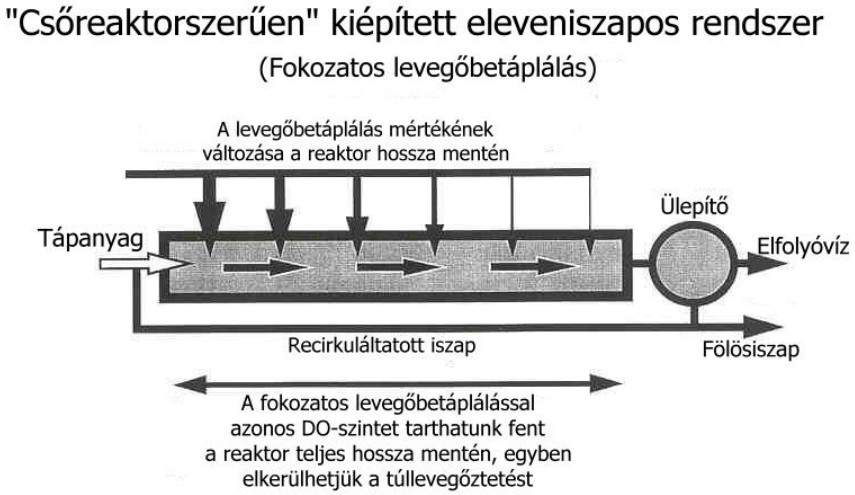


2. ábra: A csőreaktorszerű kiépítés módozatai.

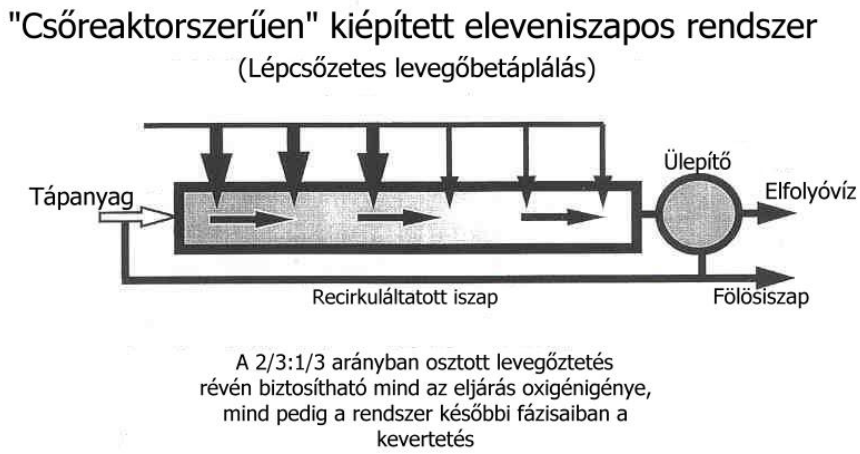
[Megj.: a téglalapok reaktor(oka)t, a körök ülepítő(ke)t jeleznek, a nyilak a folyadék haladási irányát mutatják, az árnyékolás pedig az adott térrész(ek) levegőellátását érzékelteti.]

Az ilyen rendszerek gyakran rosszul működnek, mivel bennük a folyadék áramlási iránya mentén nem az igényeknek megfelelő a levegőellátottság. A betáplálási pont körül igen nagy oxigénigény jelentkezik, s az oldott oxigén (DO) koncentrációja szinte nullára csökken. Egyenletes elosztású levegőbefúvásnál a kilépő végen is magas DO-értékek alakulnak ki. Hosszú tartózkodási idő teljes nitrifikációt garantál ilyenkor. Az iszap nagy aktivitása a korábbi árkos kiépítésű csőreaktorszerű rendszereknél rendkívül jól ülepedő iszapot eredményezett.

A dugószerű folyadékmozgásnál jelentkező egyenetlen oxigénellátás mérséklésére több ponton történő, egyre csökkenő mértékű levegőbetáplálással üzemelő reaktort terveztek (3. ábra), mely elrendezéssel a biomassza igényeinek megfelelően igyekeztek elosztani a szükséges levegőmennyiséget. Azokban a térrészekben azonban, ahol kisebb mennyiségű levegőt adagoltak be, a kisebb keverés miatt megnőtt az iszap kiülepedésének, tömörödésének a kockázata. Ezért mégis nagyobb mértékű levegőbefúvással kellett a szükséges mértékű keverést biztosítani. Ennek az úgynevezett lépcsőzetes oxigénbetáplálású változatát (4. ábra) úgy alakították ki, hogy a légbevitelt két fő részre (egyharmad és kétharmad) osztották, miáltal a nagyobb oxigénigényű belépő oldal oxigénellátottsága javult.

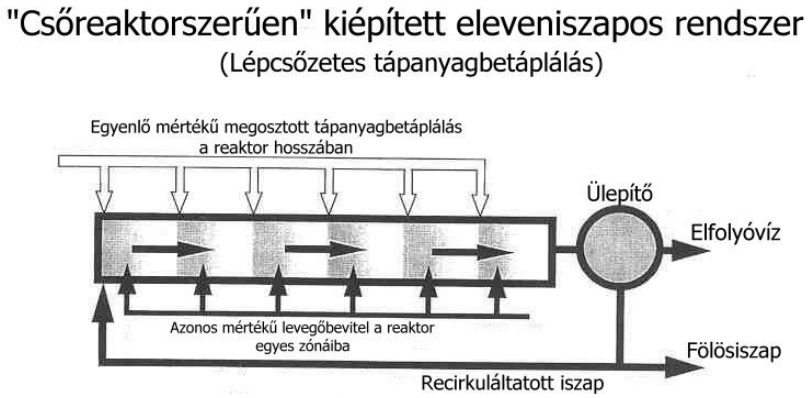


3. ábra: Dugóáramú elven működtetett eleveniszapos rendszer
több ponton történő, egyre csökkenő mértékű levegőbetáplálással



4. ábra: Dugóáramú elven működtetett eleveniszapos rendszer lépcsőzetes levegőbetáplálással

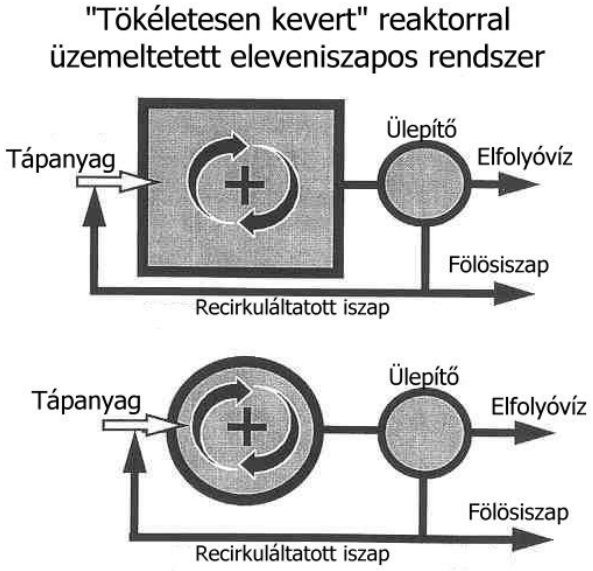
A fokozatos levegőbetáplálással megegyező hatás érhető el felületi levegőztetéssel üzemelő rendszereknél a légbevitel intenzitásának és mélységének a változtatásával, vagy más esetekben a nyers, tápanyagban dús szennyvíz folyásirány mentén több ponton történő betáplálásával, esetleg mindezt fokozatosan növekvő betáplálási árammal biztosítva (5. ábra). Így a rendszer a hagyományos konfigurációban is nagyobb rugalmassággal rendelkezik. A recirkuláltatott eleveniszap (RAS) több ponton történő visszatáplálására is lehetőség van, ami ugyanilyen hatást biztosít.



5. ábra: Dugóáramú elven működtetett eleveniszapos rendszer több ponton történő tápanyag-betáplálással

b) Tökéletesen kevert tankreaktorszerű rendszerek

A dugóáramú rendszerek oxigénellátásánál észlelt elégtelenségek vezettek el a „tökéletesen kevert” reaktorok (6. ábra) megvalósításáig.



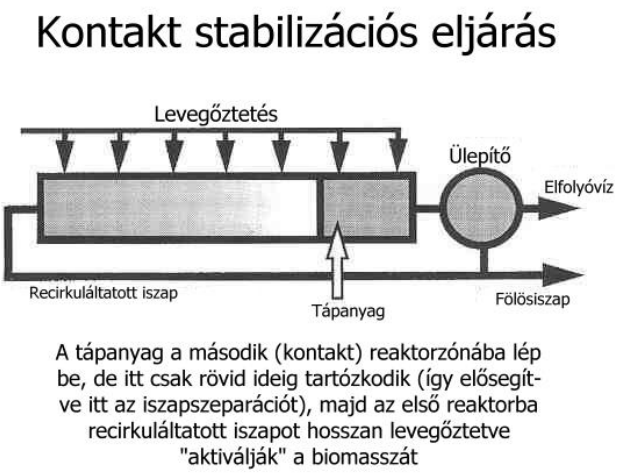
6. ábra: A tökéletesen kevert eleveniszapos rendszer vázlatos modellje

Ezek a rendszerek négyszög, vagy kör alakú (vagy benne körpályán mozgatott szennyvízzel működtetett) medence köré épülnek ki, melyben a recirkuláltatott iszap és a betáplált nyers szennyvíz gyorsan keveredik a jelen levő biomasszával. A gyors felhígulás a csőreaktorszerű rendszerekkel összehasonlítva csökkenti a szennyvíziszap lemérgeződésének lehetőségét is, habár egyszersmind kismértékben megnöveli annak az esélyét, hogy a szennyvíz csak részben ártalmatlanítva kerüljön ki a medencéből. Az esetlegesen túl nagy belépő szervesanyag-tartalom (iszapterhelés), vagy elégtelen levegőztetés esetén ilyenkor a nitrifikáció nem lehet teljes. A tervezők gyakran úgy járnak el, hogy több reaktor sorba kapcsolásával (reaktorkaszkád) kedvezőbb körülményeket, koncentráció-gradienst hoznak létre, amely jobb ülepedési tulajdonsággal bíró iszapot eredményez, biztosítja a nitrifikációt és esetleg a szimultán denitrifikációt is, s az utóülepítőben bekövetkező denitrifikációt (N2-gáz-emisszió, felhabzás, iszapfelúszás) ezzel csökkenti.

2.2 Kontakt stabilizáció

A 7. ábrán látható megoldás segítségével megvalósítható a szilárd, lebegő kolloid anyagok adszorpciója a biomassza flokkulumain. Ilyenkor a nyers szennyvíz és a recirkuláltatott iszap keverékét egy kisebb levegőztetett reaktortérben maximálisan 1 órás tartózkodási idővel előkezelik. Ezzel elérhető a lebegő és az oldott állapotban lévő gyorsan lebontható szerves anyagok hatékony immobilizálása, majd folyadék fázisból történő előzetes eltávolítása. A szennyvízben maradnak azonban a lassan bontható oldott szennyezőanyagok.

A kontakt reaktorból kikerülő vegyes fázist ülepítik, majd az iszapot recirkuláltatják egy nagyobb levegőztető medencébe, ahol szeparáltan 5-6 órán át levegőztetik, hogy az adszorbeált anyag oxidációja maradéktalanul végbemenjen. E módszer mellett szól a kisebb iszaptermelése, nagyobb rugalmassága a vízhozam ingadozásával, s a toxikus hatásokkal szemben. Hátránya, hogy a tisztítás hatékonysága az említettek miatt az előző pontban ismertetett módszerét nem éri el, nitrifikációs képessége gyenge (ha van egyáltalán) és kedvező hatásai csak nagy lebegőanyag tartalmú szennyvíz esetében ellensúlyozzák a módszer hátrányait.

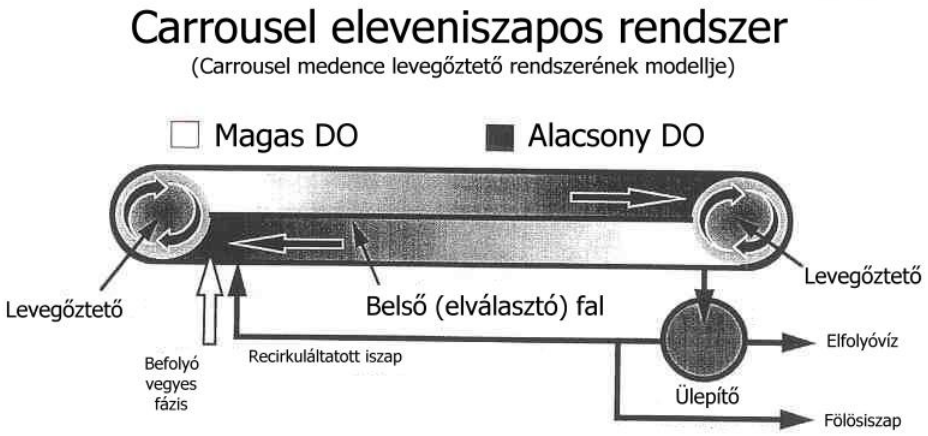


7. ábra: A kontakt stabilizációs eljárás

2.3 Tartósan levegőztetett (teljes oxidációs) rendszerek

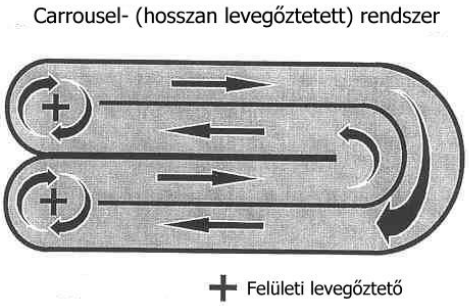
Az ilyen típusú rendszereket leggyakrabban kis szennyvízbetáplálással, nagy lebegőanyag-tartalmú szennyvizeknél működtetik, hosszabb levegőztetési idővel, vagy iszapkorral érve el a kívánt hatást. Ez a módszer lehetőséget nyújt a teljes oxidációra és az iszap további stabilizálására. A folyamat körcsatornaszerűen kialakított, vízszintes tengelyű kefés levegőztetőkkel ellátott rendszerekben, a levegőztető elemekhez közeli térrészben nagy oxigénkoncentrációkkal biztosítja a nitrifikációt. A levegőbeviteltől

távolabbi helyeken az anoxikus körülmények szimultán denitrifikációt tesznek lehetővé. Ezekből a „tökéletesen kevert” csatornás, vagy árkos rendszerekből dekantálással, szakaszos üzemben veszik el a tisztított vizet. Ez a komplex kezelés magában foglalja a nitrifikációt és a denitrifikációt is, mely így ugyanabban a reaktortérben akár egyidejűleg is megvalósítható. Hátránya, hogy a megnyújtott endogén respirációs periódusnak betudható gyengébb iszapülepedés. Ez a paraméter az ilyen típusú telepek legfontosabb üzemviteli jellemzője, szabályozásával a tisztító működése kontrollálható. Mint a fentiekből is látható, az ilyen rendszerek állandó felügyeletet igényelnek.



8. ábra: Carrousel oxidációs csatorna

A későbbiekben ezt a megoldást külön ülepítővel is kiegészítették, miáltal a rendszer nagyobb terheléssel is működtethetővé vált. Ennek egyik lehetséges megvalósítását, az ún. Carrousel eljárást mutatja be a 8. ábra, ahol megnövelve a medencemélységet (a medencefelszín csökkenését érve el ezáltal) nagyobb felületű, energiatakarékos levegőztetőket alkalmazhattak. Az eljárás egyéb más elrendezésben is megvalósítható, pl. többcsatornás (arányosan több felületi levegőztető alkalmazásával) kialakításban. Ez utóbbira mutat példát a 9. ábra.



9. ábra: Többcsatornás Carrousel-rendszer

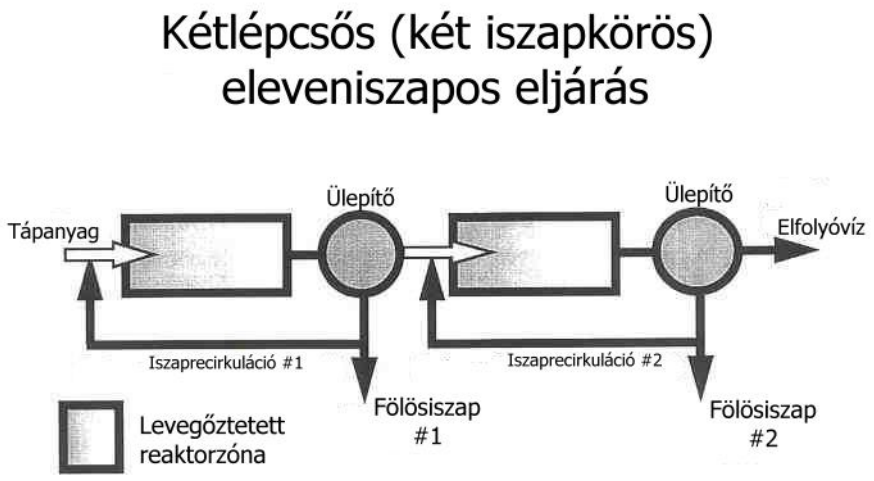
2.4 Nagy iszapterhelésű rendszerek

Az ilyen típusú rendszereket jellemzően nem kommunális, hanem döntően ipari (azon belül is a lassabban bontható élelmiszer- és tejipari) szennyvizek kezelésére építették ki, főként olyankor, amikor nem volt szükség nitrifikációra szennyvíz kedvező összetétele eredményeként. Rendszerint nagy iszapkoncentrációval levegőztetnek (ld. 1. táblázat), melyből következik, hogy a hagyományos tisztítóknál nagyobb MLSS-koncentráció állandó értéken tartása, hatékony levegőztető-berendezések és a rendkívül rövid HRT alapvető az ilyen megoldásoknál. Az iszaphozam nagy, ugyanakkor a keletkező iszap gyakran nagyon nehezen ülepíthető (még akkor is, ha a koagulációt előzetes vegyszeradagolással elősegítjük). Ilyen rendszerekben a teljes nitrifikáció csak nagyon ritkán valósítható meg. Ez a probléma jelentkezik a már bemutatott kontakt stabilizáció esetén is, de ezeknél a megoldásoknál az elfolyó víz minőségére (előtisztítás) többnyire nem kell akkora figyelmet fordítani.

Ilyen megoldással működnek a Németországban kifejlesztett úgynevezett AB eljárással működő rendszerek első lépcsői, ahol a jobb hatékonyság érdekében a nagy terhelésű első lépcsőt egy második, kisebb terhelésű követi.

2.5 Többlépcsős szennyvíztisztító rendszerek

A toxikus vagy inhibíciós hatás kivédése, s az ahhoz való alkalmazkodás képessége a biomassza adottságainak egyike, mely hatással lehet a nitrifikációra is. Ha azonban ammóniában szegény elfolyó víz produkálása a cél egy ilyen vegyületeket esetlegesen tartalmazó szennyvíznél, a nitrifikációra toxikus komponensek eltávolítása egy megfelelően kialakított első iszapkör közbeiktatásával is megoldható. Ez az ammónium döntő részének az eltávolítása előtt mintegy előkezeli az ilyen szennyvizet (10. ábra). A megoldás egyetlen nagy hátránya a kétszeres ülepítés kiépítési és üzemeltetési költsége. Léteznek a módszernek olyan továbbfejlesztett változatai is, amelyeknél – különböző okokból – az eleveniszapos lépcső után rögzített filmes reaktort alkalmaznak, így lehetővé téve a teljes nitrifikációt olyan terhelésű tisztítók esetében is, ahol az egyébként nem lenne lehetséges.



10. ábra: Kétlépcsős eleveniszapos eljárás

2.6 Nitrogén eltávolítására alkalmas eleveniszapos eljárások

Az eleveniszapos rendszerekben a biológiailag lebontható nitrogénvegyületek egy része az iszappal mindig eltávolításra kerül a szennyvízkezelés során. Nagyobb városok tisztítói esetében (kedvezőtlen TKN/KOI arány) ez azonban a bejövő nitrogénmennyiségnek csak a kisebb részét jelenti. Azon telepeken, ahol a levegőztető medence mellett külön anoxikus reaktor is kiépítésre került, egy rendszerben megvalósítható a nitrifikáció és a denitrifikáció, azaz a nitrogénformák jobb hatásfokú eltávolítása. A denitrifikáció végbemeneteléhez szükséges körülmények a következők:

- a nitrát jelenléte a denitrifikálóba (anoxikus medence) kerülő szennyvízben (mivel a városi kommunális szennyvizek nitrát-tartalma általában kicsi, s a nitrát-tartalom ennek megfelelően a nitrifikáció végbemenetelét jelzi);
- oxigénhiányos környezet az anoxikus medencében, ami a denitrifikációért felelős heterotróf mikroorganizmusokat a nitrát nitrogénjének elektron-akceptorként történő hasznosítására kényszeríti;
- denitrifikációra képes biomassza, ill. megfelelő elektron-donor (szerves tápanyag) a folyamatok végbemeneteléhez.

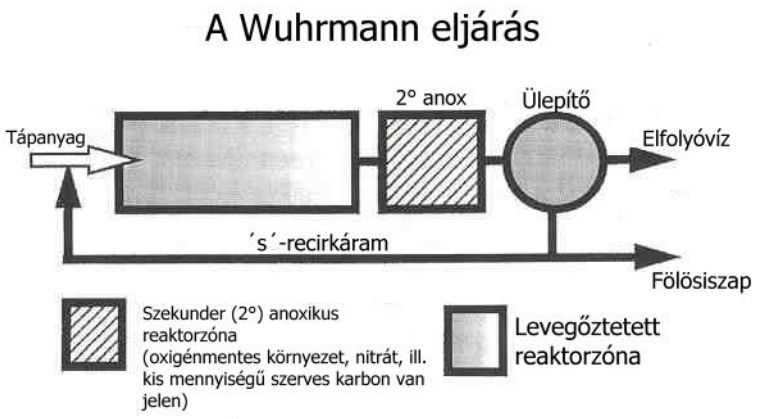
A denitrifikációra képes mikroorganizmusok részaránya a heterotrófok között kellően nagy. Ugyanakkor a folyamathoz szükséges körülményeket viszont csak olyan anoxikus környezetben lehet biztosítani, melyben a fakultatív anaerob baktériumok a nitrátot hasznosítják (oxigénhiány). Ha ugyanis oxigén is jelen van, a heterotróf mikroorganizmusok annak felvételét preferálják. Több különféle szerves tápanyagot vizsgáltak meg, mint a denitrifikációnál szóba jöhető tápanyagot. Közül kezdetben a metanolt találták alkalmasnak arra, hogy az aerob nitrifikáció végbemenetele után azt szubsztrátként beadagolva a denitrifikáció kellő sebességgel és hatásfokkal

végrehajtható legyen. Miután ennek felhasználása a metanol drága volta miatt gazdaságtalan, olyan rendszereket kezdtek tervezni, ahol a denitrifikáció szerves tápanyag igényét a biomasszában már jelen levő szerves anyagból igyekeztek fedezni. Az alábbiakban néhányat ilyen megoldás kerül ismertetésre.

Nitrogéneltávolító eljárások különböző konfigurációi

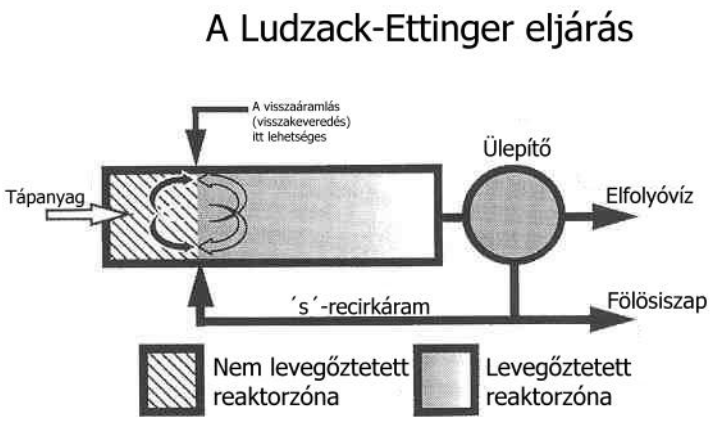
A legtöbb nitrogén eltávolításra tervezett eleveniszapos rendszer egy iszapkörös, ahol ugyanaz a mikroorganizmus tenyészet felelős mind a nitrifikációért, mind a denitrifikációért. Két anoxikus medencét tartalmazó megoldás különböztethető meg a szeparált medencés denitrifikációnál a tápanyag-ellátás különbözőségének megfelelően. Wuhrmann (1957) előbb olyan telepet tervezett, ahol az aerob reaktor megelőzi az anoxikus zónát (11. ábra).

Mivel ilyen kiépítésnél a közvetlenül felvehető tápanyagok legnagyobb része az aerob medencében hasznosul, a denitrifikáció energiaigényét főként a biomassza endogén sejtlízise révén felszabaduló tápanyag fedezi. Amint e folyamat végbemenetele, úgy a denitrifikáció folyamata is lassú, de metanol beadagolásával meggyorsítható. Az utóbbi szükségszerűen a levegőztetett medencét követő anoxikus zónában történik.



11. ábra: A Wuhrmann-féle nitrogéneltávolító eljárás (1957)

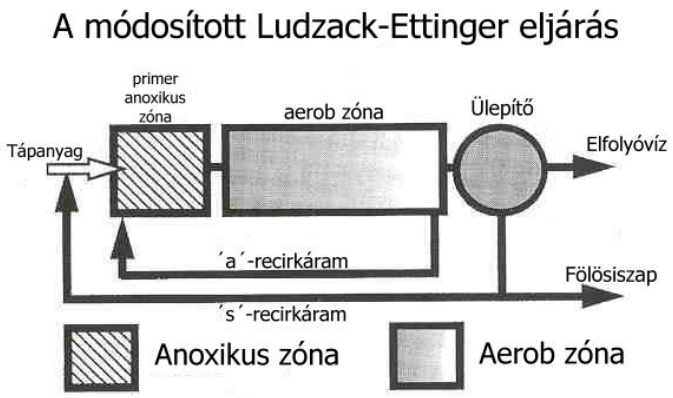
Ludzack és Ettinger úgy változtatta meg ezt az elrendezést, hogy az anoxikus reaktort a levegőztető medence elé, azzal részben összeköttetésbe helyezte (12. ábra). Ezt a megoldást primer anoxikus zónáknak, vagy elődenitrifikálónak nevezik.



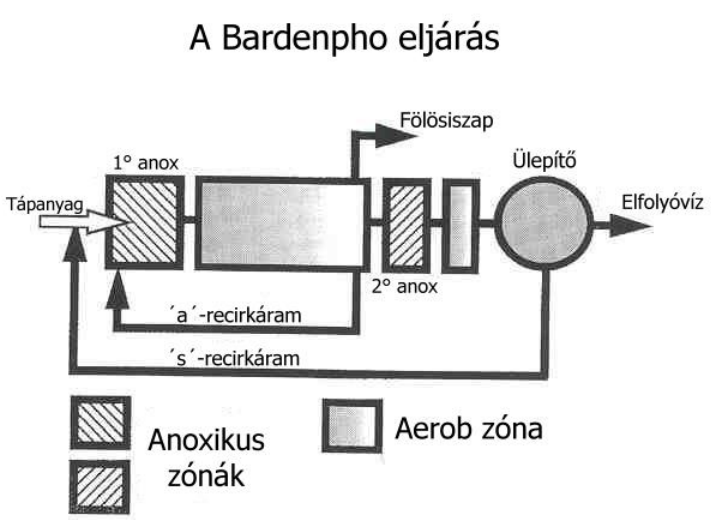
12. ábra: A Ludzack-Ettinger eljárás (1962)

Miután ilyenkor a könnyen hasznosítható szerves tápanyag-tartalom nagyobb része az anoxikus zónában beépítésre, korlátozott a levegőztető medencében a heterotrófok túlszaporodása az autotrófok rovására. Ez segíti a jobb hatásfokú nitrifikációt létrejöttét. Az anoxikus és az aerob zóna vizének elkeverését magukkal a levegőztető berendezésekkel is biztosíthatják, megteremtve azzal a denitrifikáció lehetőségét. Az ellenőrizetlen „átkeverés” ugyanakkor kiszámíthatatlan hatással lehet a telep működésére. Az anoxikus és az aerob zónák különválasztása ezt a problémát is megoldotta. Az így kialakított konfiguráció recirkuláció a módosított Ludzack-Ettinger néven ismeretes (13. ábra).

Az egy rendszerben kiépített elő és utódenitrifikáció (Barnard, 1976) tovább növelte a nitrogéneltávolítás során elérhető hatásfokot, szélesítette az eleveniszapos rendszer alkalmazási terét (14. ábra). Sikerült ezzel növelni a rendszer denitrifikációs kapacitását, és szinte teljesen nitrátmentes elfolyó vizet biztosítani. A második anoxikus zóna után egy újabb levegőztető medencét szükséges, mely kettős funkcióval bír: egyrészt a pótlevegőztetéssel kiűzhető a rendszerből a felgyülemlett nitrogéngáz (így az nem okoz problémát az utóülepítőben), másrészt a második anoxikus reaktorban esetlegesen képződő NH_3 nitrifikációját is sikerül így biztosítani. Ezt a konfiguráció (amely megnövelt biológiai foszforeltávolításra is képesnek bizonyult) a modern tápanyag-eltávolító eleveniszapos rendszerek előhírnökének tekinthető.

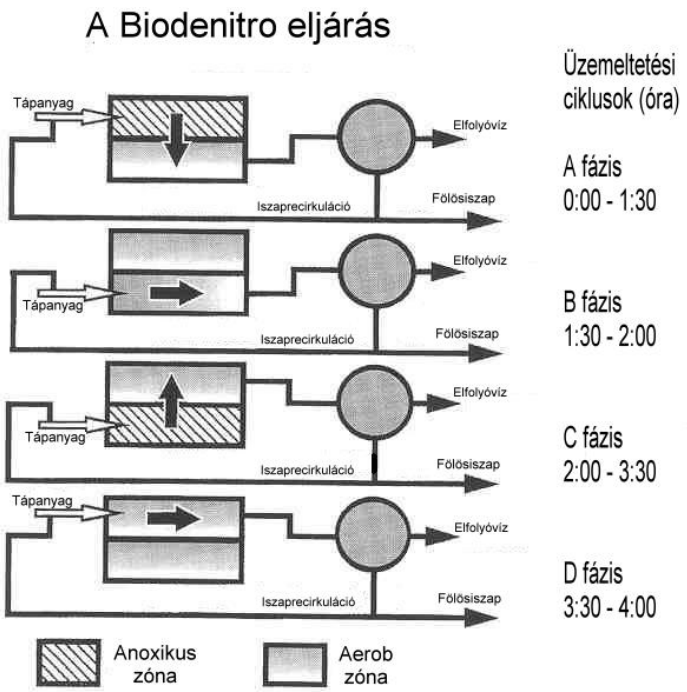


13. ábra: A módosított Ludzack-Ettinger eljárás



14. ábra: A négy reaktoros Bardenpho eljárás kialakítása

A Dániában kifejlesztett, és azóta több európai országban is megépített Biodenitro eljárás (15. ábra) is a fent említett elvekre épít, lévén ez is egy folyamatos betáplálású eljárás, oxidációs kádakkal, s mégis alternáló tápanyag-ellátással, nitrifikációs / denitrifikációs zónákkal és komplex üzemeltetési protokollal. Az egyes, szeparált vonalakra (kettős Carrousel) érkező vízmennyiség kicsi a nem levegőztetett folyadék átkeveréséhez, így az anoxikus zónában a biomassza szuszpendált állapotban való fenntartásához külön keverő berendezésre van szükség.



15. ábra: A BIODENITRO eleveniszapos eljárás

2.7 Együttes nitrogén- és foszforeltávolítás eleveniszapos rendszerben

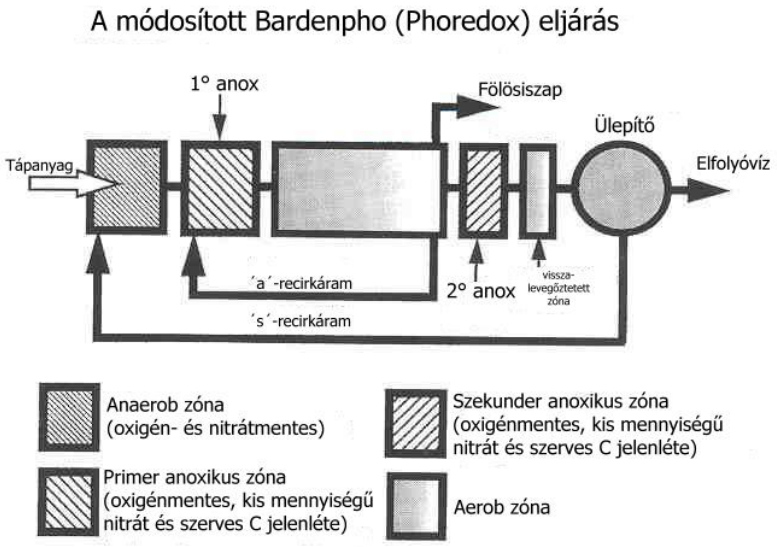
Az utóbbi 20 évben végrehajtott konstrukciós fejlesztéseknek köszönhetően az eleveniszapos rendszerek képessé váltak nemcsak a szerves komponensek és a nitrogénformák, hanem a foszfor eltávolítására is. A foszforeltávolítás gyakran egyszerre folyik a fő- és a mellékáramban is (PHOSTRIR), itt azonban csak az előbbit mutatom be. A módszer eddig feltárt mikrobiológiai alapjait már a megelőző kötetben bemutatott anyag részletezte. Most röviden csak annyit arról, hogy a biológiai többletfoszfor eltávolításért (EBPR) felelős heterotróf mikroorganizmusok természetes lebontóképességükön túl képesek magukban a foszfort polifoszfát (poly-P) formájában felhalmozni, de szaporodásuk speciális környezeti igényt is jelent. A foszfor a szerves szén egy részéhez hasonlóan az iszapban lokalizálva távozik fölösiszapként. Annak ellenére, hogy a folyamat minden részletében máig sem tisztázott, a hatékony foszforeltávolításhoz szükséges körülmények jól ismertek:

- a többletfoszfor akkumuláló (poly-P, vagy PAH) heterotrófok szelektív elszaporításához szükség van egy anaerob zóna beiktatására, illetőleg abban könnyen bontható szerves tápanyagra, acetátra;
- az anaerob reaktorba jutó szennyvíz nitrát-tartalmát ellenőrizni kell, mivel a denitrifikáló baktériumok azt felhasználhatják az acetát felvételére, csökkentve

így a poly-P-baktériumok számára felhasználható tápanyagmennyiséget (ezért a foszforeltávolító rendszerek a nitrogén nagy részét is eltávolítják);
- rendkívül fontos az anaerob környezet szigorú fenntartása az aerob respiráció megakadályozására, ezért vigyázni kell, nehogy a keverésnél fellépő turbulenciával zavaró oxigénmennyiség kerüljön a folyadékfázisba;
- alternáló anaerob / aerob zónák a speciálisan szükséges mikroorganizmus együttes fenntartására.

Habár ezen követelmények döntő részét az üzemi gyakorlat során ismerték fel, a ma működő EBPR rendszerek mind ezeken az elveken alapulnak. A felsorolt igényeket a következő rendszerkialakítással, konfigurációval sikerült a gyakorlatban biztosítani.

Barnard döntő érdemeket szerzett az EBPR rendszer működési követelményeinek meghatározásában, így születhetett meg a 14. ábrán látható Bardenpho-rendszer módosított, ötlépcsős változata, mely Phoredox néven vált ismertté (16. ábra). Felismerte ugyanis, hogy ha a rendszer elejére beiktatnak egy anaerob medencét, a foszfor teljes eltávolítása is nagy biztonsággal lehetséges a tisztításnál.

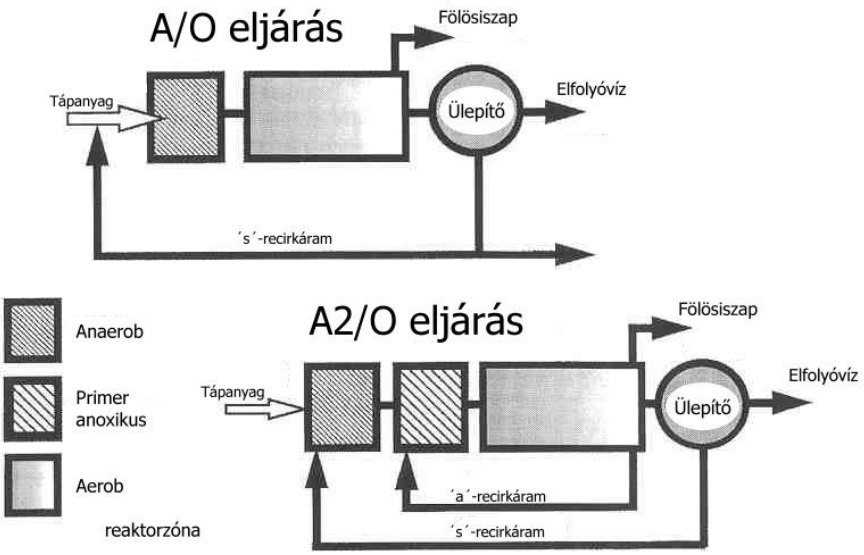


16. ábra: A módosított (ötlépcsős) Bardenpho-eljárás (PHOREDOX)

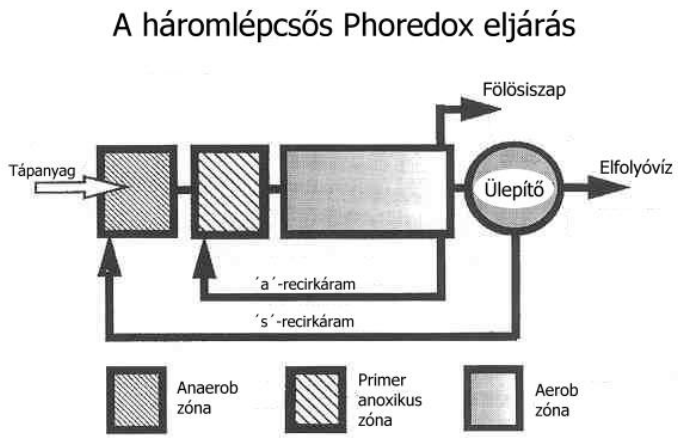
Barnard és munkatársai 1982-ben azt is felismerték, hogy az iszappal a rendszer elejére recirkuláltatott nitrát mennyiségét is minimalizálni kell, hogy elkerüljék a denitrifikációt az anaerob zónában. Gondoskodni kell viszont illékony savak (pl. acetát) bőséges jelenlétéről, melyet a poly-P fajok hasznosítani, PHB vagy PHA (poli-β-hidroxi-alkanoátok) formájában tárolni képesek. Az acetát vagy már eleve jelen van a befolyó szennyvízben, vagy pedig in situ termelődik a biomassza lebontó reakcióinak fermentációs termékeként. A PAH mikroorganizmusokban a PHA szintetizálásához szükséges energiaigényt azok polifoszfát depolimerizációja szolgáltatja, s ekkor a

foszfor ortofoszfát formájában a folyadék fázisba jut. Aerob környezetben ezt a foszfát átalakítást az erre alkalmas mikroorganizmusok pontosan fordított irányban végzik, amikor a PHA lebomlása, oxidációja biztosítja a foszforfelvétel és a polifoszfát szintézis energiaszükségletét.

Sajnos az egyes eljárások szabadalmi tulajdonjoga mögött meghúzódó kereskedelmi érdekek a világ egyes országaiban gyakran gördítettek akadályt az EBPR-rendszerek bevezetése elé, illetőleg késleltették azt – egyszersmind korlátozták annak lehetőségét is, hogy az eljárást eltérő körülmények közt tesztelhessék. Sikeres kísérleteket végzett az Air Products cég az Egyesült Államokban szabadalmaztatott nagy terhelésű Phoredox és a háromlépcsős Bardenpho rendszerekkel (ezeket az eljárásokat a cég A/O és A2/O néven vezette be). A 17. és a 18. ábrán látható folyamatábrák egyértelműen megmutatják a hasonlóságukat a fent említett rendszerekkel, és ez még akkor is igaz, ha az eredeti Bardenpho-eljárás hosszú iszapkot tervezett, míg az A/O rendszerek rövidebb iszapkorral üzemelnek.



17. ábra: Az A/O és az A_2/O eleveniszapos rendszerek

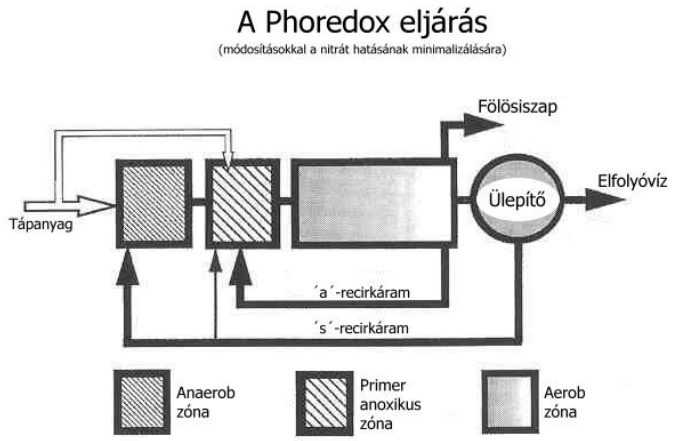


18. ábra: A háromlépcsős Phoredox eljárás

A 18. ábrán látható, ún. háromlépcsős Phoredox eljárás tulajdonképpen az eredeti rendszer leegyszerűsített változata, melynél megnövelték a primer anoxikus reaktor térfogatát, s ebből adódóan megnőtt a rendszer denitrifikációs hatékonysága. Egyúttal kiiktathatóvá vált a szekunder anoxikus és aerob zóna, a denitrifikációs kapacitás megnövelése pedig nitrátban szegényebb recirkulációs áramot (ezáltal fokozott biológiai többletfoszfor-eltávolítást) eredményezett.

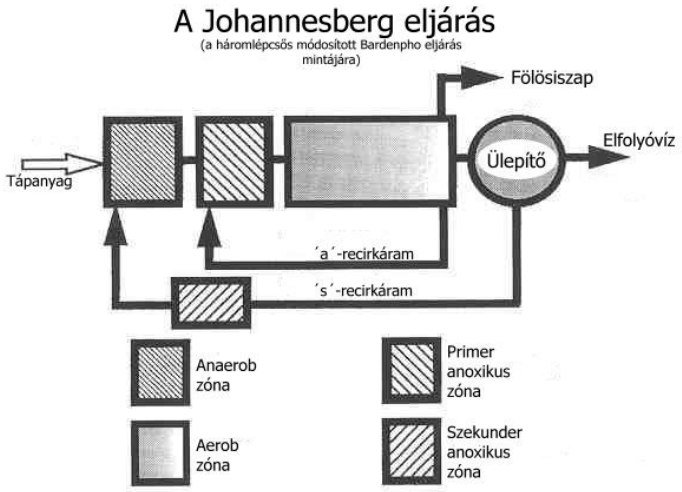
A nagy könnyen felvehető tápanyag-koncentrációval (RBCOD) rendelkező szennyvizeket tisztító rendszereknél a tapasztalatok szerint kevésbé jelentkezett a nitrát-hatása az anaerob zónában a nagyobb denitrifikációs kapacitásuk miatt. Éppen ezért a mai üzemek a biológiai szennyvízkezelés megkezdése előtt előfermentálást hajtanak végre (melynek eredményeként a szennyvíz feldúsul kis molekulatömegű, foszforcserében jól hasznosítható szerves savakban), ezáltal is elősegítve a foszforeltávolítást.

Barnard (1983) további módosítást javasolt a Phoredox rendszerben, hogy az eljárás hatékonysága akkor se romoljon számottevően, ha a szennyvízzel nitrátot recirkuláltatnak a rendszer elejére, ill. ha ehhez más kedvezőtlen hatás is társul. Ezt a módosított konfigurációt mutatja a 19. ábra. Megjegyzendő azonban, hogy az ilyen rendszerek üzemvitele csak nehézkesen kontrollálható.



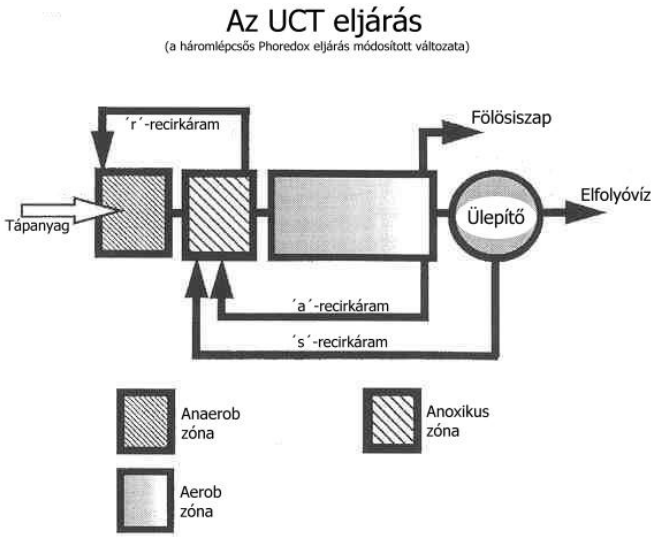
19. ábra: A nitrát-hatás kivédésére kifejlesztett módosított Phoredox-eljárás

Az ún. Johannesberg eljárás (20. ábra) is a Phoredox rendszer alapján került kifejlesztésre, ahol is az volt a tervezők célja, hogy egy, az iszaprecirkuláció vonalán kialakított (eleveniszapos) denitrifikációs reaktorban reagáltassák el a nitrátot. A medencében fenntartott nagy biomassza-koncentráció is azt a célt szolgálja, hogy a denitrifikáció kellő mértékben végbemenjen. Ezzel viszont a nem levegőztetett zónában olyan mértékű biomassza-szaporulatot sikerült elérni, hogy le lehetett csökkenteni az aerob vagy az anaerob zóna térfogatát. Annak ellenére, hogy ezeket a rendszereket rendben üzembe helyezték a világ számos országában, hatékonyságuk változó.



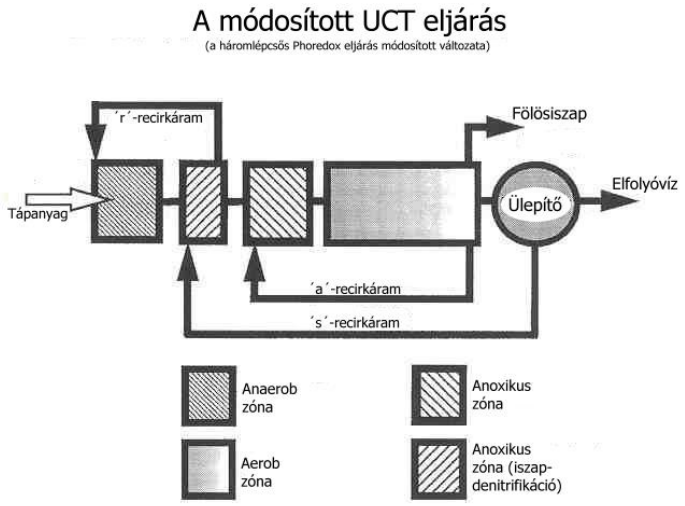
20. ábra: A Johannesberg-eljárás (a háromlépcsős módosított Bardenpho rendszer alapján)

A fent említett céllal került kifejlesztésre a Cape Town-i (Dél-Afrikai Köztársaság) Egyetemen az ún. UCT eljárás is (21. ábra). Ebben a konfigurációban a recirkuláltatott iszap előbb az anoxikus medencébe kerül, majd innen történik egy vegyes fázisú recirkuláció az anaerob zónába (´r´-áram). Ezzel az elrendezéssel azt kívánták elérni, hogy az összes recirkuláltatott nitrát biztosan eltávolításra (denitrifikálásra) kerüljön, nehogy az a fővonalon kedvezőtlen hatással legyen az anaerob reaktorban.



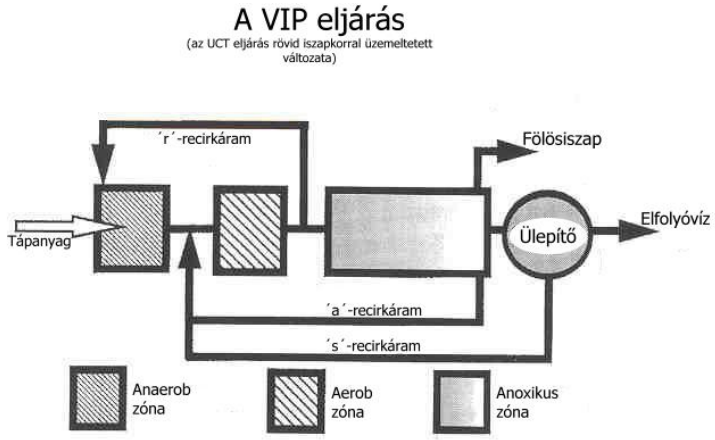
21. ábra: A University of Cape Town- (UCT-) eljárás
(a háromlépcsős módosított Phoredox rendszer alapján)

Az UTC-eljárást később módosították, s az anoxikus zóna kettéosztásával elérték, hogy külön-külön ellenőrizhetővé vált mind a recirkuláltatott iszap (RAS), mind a vegyes fázisú recirkulációs áram (22. ábra). Az ilyen rendszerek az egész világon elterjedtek és sikeresen működnek.



22. ábra: A módosított UCT-eljárás

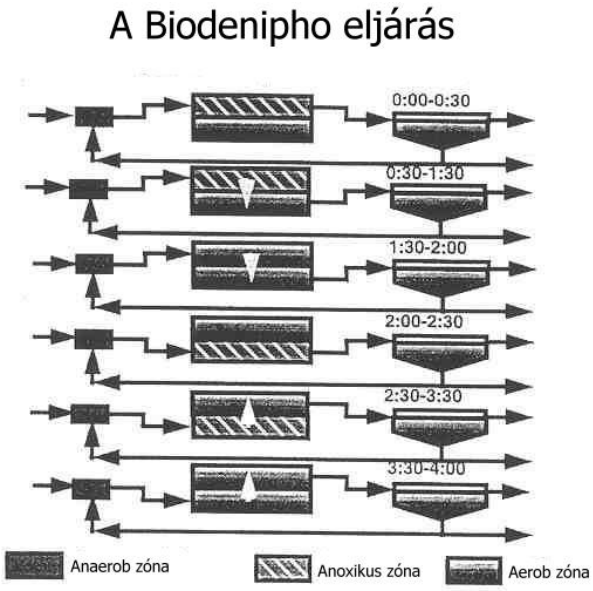
Az eredeti UTC-eljáráshoz hasonlóan általában itt is hosszú iszapkorral (Θ>20 nap) dolgoznak, ezért a fonalasok felszaporodása itt is lehetséges. A módszer továbbfejlesztett, rövid iszapkorral üzemelő változata a Virginia Kísérleti Project (angol rövidítéssel VIP). Ezt a konfigurációt mutatja be a 23. ábra.



23. ábra: A Virginia Kísérleti Project (VIP) eleveniszapos eljárás

Az egyes üzemkonfigurációk közötti átfedések jól mutatják a tervezés folyamatának folyamatos fejlődését. Az újabb fejlesztés mindig már létező alapra épít, mindig csak kis változásokkal a korábbi, sikeresnek bizonyult változathoz képest. Az eleveniszapos rendszerek fejlődési trendje jól érzékelhető a Biodenitroból kifejlesztett Biodenipho rendszernél (24. ábra). Ez egy anaerob egységgel kibővített Biodenitro, ahol

egy anaerob zóna került beiktatásra a rendszer elejére, hogy a többletfoszfor eltávolítását elősegítse.



24. ábra: A Biodenipho rendszer

[Megj.: az ülepítőknél szereplő időintervallumok az ülepítési- és tartózkodási időre utalnak.]

2.8 Az SBR rendszerek

Az SBR rendszereket időben ciklizált (betáplálású és levegőztetésű), szakaszos üzemű instacioner rendszerekként definiálhatjuk és egy vagy több reaktorral kell azokat kiépíteni. Egy időben rendszerint csak egy egységbe történik nyersvíz betáplálás. A reaktorokat valamilyen program szerint feltöltik, keverik, levegőztetik, ülepítik, majd leürítik – hasonlóan a korai eleveniszapos rendszerekhez. Így biztosítottá válik, hogy a biológiai reakció szakasza és az ülepítés után tiszta és megfelelő mértékben kezelt víz legyen elvehető a tisztítóból. Ezen fázisok időtartamával, illetőleg a felsorolt műveletek idejének, sorrendjének változtatásával optimalizálva a mikroorganizmusoknak szükséges körülményeket optimalizálható a tisztítás hatásfoka is. A laboratóriumi körülményektől kezdve egészen a nagy volumenű, városokat kiszolgálni képes üzemméretig az alkalmazások teljes skálájában működtethető ennél a változatnál is.

2.9 Az eleveniszapos rendszerek jövője

Az eleveniszapos rendszerek jövőbeni fejlődési iránya csak nagy bizonytalansággal becsülhető meg, ugyanakkor a fejlődés minden szinten biztosra vehető – a folyamat sebességét megnövelő / befolyásoló adalékanyagok alkalmazásától kezdve egészen az üzemvitel teljes on-line ellenőrzésének, monitoringjának, automatizálásának a megvalósításáig. Ahogy az eleveniszapos technológia mikrobiológiai és kémiai alapjai egyre több területen válnak tisztázottá, úgy lesznek ezek a rendszerek egyre jobban ellenőrizhetők, az új eljárások kifejlesztése során pedig nem kell majd csakis az üzemi tapasztalatokra hagyatkozni.

A fejlődés jelenlegi trendje abba az irányba mutat, hogy az egyetlen meghatározott feladatra alkalmazható, speciálisan kialakított tenyészetet igénylő, egy üzemegységben megvalósított eljárások egyre inkább elterjednek a világon. Az alkalmazhatósági spektrum kiszélesítésére módot találni ugyanis sokkal olcsóbb, mint új telepeket építeni, amelyek esetleg még nem biztosítják az eltérő / változó körülmények által megkövetelt rugalmasságot sem (a nehezen bontható, toxikus anyagokat tartalmazó ipari szennyvizek kezelésénél is ez a meghatározó probléma).

Várható új organizmusok megjelenése is, ahogy az azokkal végzett élettani kutatások új információkkal segítik a tervezők munkáját. Ez a filozófia vezette a kutatókat a még ma sem teljesen tisztázott Anammox eljárás kifejlesztésében, amelyben az anaerob nitrifikáció és denitrifikáció együtt megvalósítható (ez egy ma még csak potenciális lehetőség arra, hogy a drága levegőztető berendezések alkalmazása nélkül valósítsunk meg teljes nitrogén-eltávolítást). A membrán-technológiában rejlő lehetőségek kiaknázása (a szilárd fázis elválasztása, ill. a biológiai kezelésen már átesett elfolyóvíz utókezelése terén) szintén új utakat nyithat meg. Természetesen ezek a változtatások tovább növelik az üzemek létesítésének és üzemeltetésének költségeit, s a kezelőszemélyzettel szemben támasztott igényeket a mikrobiológiai, kémiai és mérnök-technológusi ismereteket illetően.

A „fejlődő” kategóriába sorolt, de gyorsan iparosodó országokban (ahol a leginkább kétségbe vonják ezen rendszerek létjogosultságát és ahol ennek ellenére a legnagyobb szükség mutatkozik rájuk) ezek a követelmények valószínűsíthetően komoly akadályozó tényezői lesznek az eleveniszapos technológia elterjedésének a szennyvíztisztításban.

Teljes biológiai tápanyag-eltávolítást biztosító eleveniszapos rendszerek néhány újabban észlelt sajátossága

G. A. Ekema és M. C. Wentzel

1.3. 1. Bevezető

A nitrogén és foszfor tápanyagok (N és P) biológiai eltávolítása (BNR) egy iszapkörös eleveniszapos rendszerekben nitrifikáció és denitrifikáció (ND), valamint többletfoszfor eltávolítás (BEPR) révén az elmúlt évtizedekben jelentős sikereket ért el a befogadók eutrofizáció elleni védelmében. A vegyszeres foszfor eltávolítás mellőzése csökkentette egyben a befogadók sóterhelését, és gazdaságosabbá vált a tisztítók üzemeltetése is. Az ilyen rendszerek azonban csak akkor érhetnek el igazán jelentős költségmegtakarítást, ha az igen gyakran felmerülő üzemeltetési kellemetlenséget, az iszap duzzadását előidéző fonalasok visszaszorítását biztosítani tudják.

Két további, de kisebb jelentőségű probléma jelentkezik még az ilyen rendszereknél. A tisztítandó szennyvíz kiindulási összetétele, elsődlegesen könnyen bontható KOI frakciója (RBCOD) és a TKN/KOI és P/KOI arány limitálja a nitrogén és foszfor eltávolítás hatékonyságát. Az utóbbi időszakban ezt a primer iszap fermentációjával majd könnyen bontható tápanyagként történő hasznosításával igyekeznek kompenzálni. A másik gond a nagy foszfortartalmú szekunder iszapok megfelelő kezelése, hasznosítása.

2. Iszapduzzadás ellenőrzése kis relatív iszapterhelésnél.

Az ilyen iszapoknál néhány Spherotilus Natans faj és a Microthrix parvicella dominanciájának ellenőrzése különös jelentőségű, mivel a teljes biológiai tápanyag-eltávolítást (BNR) végző rendszereknél napjainkban gyakorlatilag ezek okozzák az iszapduzzadást. A kis relatív tápanyag-ellátottság (F/M) tartományát azonban nehéz pontosítani.

A nagy iszapkorú (kis relatív iszapterhelésű, tápanyag ellátottságú), teljes biológiai N és P eltávolításra alkalmas rendszerek esetében igen sokféle technológiai kialakítás és üzemeltetési változat lehetséges, melyek a különböző fonalasok dominanciájának kialakulását igen eltérő mértékben teszik lehetővé. Az ilyen rendszereknél a régebbi, teljesen reaktor-térfogatukban levegőztetett tisztítókétól ma már nagyon különböző környezeti feltételek alakulnak ki, ugyanakkor a fonalasok klasszikus kategorizálása a 80-as évek közepén a korábbi típusú rendszerekre készült. A teljes biológiai tápanyag-eltávolítást (BNR) biztosító rendszereknél olyan tényezők, mint a nem levegőztetett iszaphányad, az oxigén-ellátottság, az anoxikus és oxikus körülmények váltogatásának gyakorisága, illetőleg az utóbbiaknál a nitrát és nitrit koncentráció az anoxikus aerob ciklusváltás határán fontos, iszapduzzadást befolyásoló tényezők lehetnek.

A döntően aerob, kis relatív tápanyag-ellátottsággal (F/M) üzemelő ilyen rendszereknél alkalmazott gyógymód, nevezetesen a ciklikus iszapéheztetés, melyet (i) a levegőztető reaktor kaszkádszerű kialakításával, (ii) a lökésszerű, vagy ciklikus tápanyagellátással és (iii) kis méretű (aerob vagy anoxikus) szelektor beiktatásával sikerült biztosítani, a teljes tápanyag-

eltávolítást biztosító rendszerekben nem különösebben eredményes a fonalasodás visszaszorítására. A szelektornál a könnyen felvehető tápanyagok nagy kezdeti oxigén, vagy nitrát hasznosítási sebességet biztosítanak a tápanyaggal gyengébben ellátott zónákéhoz képest, ami úgynevezett kinetikai szelekciót eredményez az iszap mikroorganizmus-együttesének kialakulásában. Ekema és munkatársai kis relatív iszapterhelésű, teljes biológia tápanyag-eltávolítást biztosító eleveniszapos rendszerek iszapjával végzett kísérleteinél meglepő módon úgy találták, hogy azok duzzadó iszapját teljes levegőztetéssel üzemeltetve az iszapindex ugrásszerűen csökkent, és az iszapduzzadás megszűnt. Hasonló kísérletek során ugyanígy a ciklikus levegőztetésről (IAND) folyamatos levegőztetésre történő átállás is megszüntette az iszapduzzadást. Úgy tűnik tehát, hogy a levegőztetési mód sokkal nagyobb hatással van a kis iszapterhelésű rendszereknél a fonalasok elszaporodására mint a szelektor, ami megkérdőjelezi az ilyen rendszerekben a kinetikai szelekció hatékonyságát.

A fenti megfigyelés más oldalról magyarázza azt a tényt, hogy az esetenként mégis sikeresen üzemelő aerob és anoxikus szelektorokkal szemben miért nem hatásos az anaerob szelekció a kis iszapterhelésű, teljes tápanyag eltávolítást biztosító eleveniszapos rendszereknél. Elvileg az anaerob reaktortér hasonló feladatot láthatna el, mint az aerob vagy anoxikus szelektor. A könnyen felvehető tápanyagok flokkulátumképző mikroorganizmusokkal történő eltávolítását segíthetné elő. Az utóbbiak az ilyen rendszerekben a korábbi ismeretek szerint a foszforakkumuláló heterotróf mikroorganizmusok (PAO). A velük kialakuló szelekciót metabolikus szelekciónak nevezték. Legtöbb üzemnél azonban sem a kinetikus, sem a metabolikus szelekció nem bizonyult megfelelőnek az ilyen kis iszapterhelésű rendszerekben az iszapduzzadás szabályozására. Esetükben ugyanis a nagy iszakornál a szimultán denitrifikáció a sok esetben elégtelen (alulszabályozott) levegőztetés, vagy keverés esetén az oxikus reaktorban is bekövetkezik. Igen sok így működő üzemnél a fonalasok dominenciáját tapasztalták. Egyértelmű tehát, hogy kis relatív iszap-tápanyagellátottság esetén a klasszikus, teljesen levegőztetett rendszerektől eltérően, a nitrifikációs-denitrifikációs ciklusok a fonalasok elszaporodására vezethetnek.

Casey kísérletei alapján bizonyítottnak tűnik, hogy a fonalasok elszaporodását az anoxikus oxikus átmenetek körülményei befolyásolják, amikor is a mikroorganizmusoknak váltani kell az oxigénforrás felhasználásában. Vizsgálataik alapján feltételezik, hogy olyan esetben, ha a denitrifikáció nem teljes az anoxikus szakaszban (nem fogy el a teljes nitrát és nitrit a vizes fázisból), a flokkulátumképző mikroorganizmusok, melyek a nitrátot nitrogéngázzá redukálják nitriten és nitrogénoxidon keresztül, a következő levegőztetett szakaszban a denitrifikáció közbülső termékének (nitrit) maradéka miatt nem képesek megfelelő sebességű aerob tápanyagfelvételre. Ez a gátló hatás eredményezi azután, hogy az oxikus szakaszban a fonalasok bizonyos előnyre tesznek szert velük szemben. Azok tevékenységét ugyanis bizonyítottan nem zavarja a nitrit. A nitrátot azok is nitritté redukálják, de abból nem redukálják tovább nitrogénné, miközben így a nitrithez megfelelően hozzászokhattak. Ez a feltételezés, melyet anoxikus-oxikus vagy AA iszapduzzadásnak neveztek el, további vizsgálatokat és egyértelmű bizonyítást igényel, azonban sok egyéb felismerés is alátámasztja valószínűségét:

1. /MUCT típusú rendszereknél bizonyították, hogy ha az aerob zónába érkező iszapkeverék nitrát, illetőleg nitrit koncentrációi 0,5 ill. 0,2 mg/l fölött van, AA típusú iszapduzzadás, fonalas mikroorganizmusok dominanciája érvényesül. Kisebb nitrát és nitrit koncentrációknál ugyanakkor nagyon jól ülepedő iszap keletkezett.

2./ Üzemi tapasztalatok alapján bizonyított, hogy fordított arányosság áll fenn a fonalasok teljes szálhosszúsága és az összes oxidált nitrogén hányad között a teljes tápanyag eltávolítást végző eleveniszapos tisztítókban. Más oldalról éppen a M. parvicella megjelenése igazolta, hogy nem annyira a tápanyag minősége (szennyvíz összetétele, könnyen felvehető tápanyag hányada) a meghatározó a fonalasok elszaporodásában, hanem jellemzőbben az üzemek kialakítása (konfiguráció) és azok üzemeltetése.

3./ Hollandiai üzemek utóbbi 10 éves tapasztalatai alapján hasonlóan bizonyított, hogy döntően az M. parvicella okozza a fenti iszapduzzadást, s elsődlegesen tavasszal és kora ősszel. A jelenség sokkal gyakoribb a Carroussel típusú rendszerekben, s egyidejűleg a szelektor hatása a relatív iszapterhelés csökkenésével tendenciózusan csökken. A hagyományos rendszerekről történő átépítést követően az ilyen üzemeknél az iszapindex mintegy 60 %-kal nőtt, s az M.parvicella az esetek 87 %-ában volt az iszapduzzadás fő okozója. A jelenlegi üzemekben az ilyen iszapduzzadás szelektorokkal gyakorlatilag szabályozhatatlan, bár Hollandiában 80 üzemben építettek ki szelektor egységet.

3. Denitrifikáció és biológiai többletfoszfor eltávolítás a három, vagy több iszapterű eleveniszapos rendszerekben.

A csupán anoxikus és aerob iszapterekkel üzemelő rendszerekben (ND) a heterotrof mikroorganizmusok (OHO) felelősek a denitrifikációért. A denitrifikáció ilyenkor a nyers víz könnyen bontható tápanyag frakciója (RBCOD), valamint a lassan bontható frakció (SBCOD) hidrolízise termékeinek hasznosításával történik. A rendszer biológiai többletfoszfor eltávolítással történő kiegészítésekor (BEPR) a nitrifikáló / denitrifikáló / többletfoszfor eltávolító (NDBEPR) rendszereknél a foszforakkumuláló heterotrofok (PAO) is jelen vannak az iszapban. Wentzel és munkatársai az elmúlt évben beszámoltak arról, hogy az utóbbi rendszerekben a többletfoszfor eltávolítás két eltérő formája is kialakulhat.

Az első változatnál a többletfoszfor felvétele kizárólagosan az aerob reaktorban, míg a másodiknál mind az anoxikus, mind az aerob reaktorban is bekövetkezik. Az első esetben az anoxikus reaktorban minimális foszforakkumuláló (PAO) aktivitás jelentkezik, ugyanakkor a denitrifikációt döntően a foszfort nem akkumuláló heterotróf mikrooganizmusok (OHO) végzik. A foszfor akkumuláló mikroorganizmusok anoxikus reaktorban mutatott inaktivitását más kutatók már korábban is bizonyították szakaszos betáplálású rendszerek anoxikus ciklusainak vizsgálata során. Ez azt jelenti, hogy ilyen esetben a befolyó szennyvíz könnyen felvehető tápanyaghányada, melyet a foszforakkumulálók az anaerob reaktorban sejtállományukba akkumulálnak, nem vesz részt a denitrifikációban, s a denitrifikáció az anoxikus reaktorban egyértelműen a foszfort nem akkumuláló heterotrófok (OHO) lassan bontható tápanyag felhasználásával történő nitrát redukciójához rendelhető.

Ugyanakkor más szerzők bizonyították számos foszforakkumuláló heterotróf faj (PAO) denitrifikáló képességét is. Ennek ellenére a nitrogéneltávolítást illetően az olyan rendszereknek, amelyeknél a foszfor felvétele döntően az oxikus zónában történt, nem volt számottevően kisebb a denitrifikációs kapacitásuk. Ennek oka feltehetően az, hogy a teljes tápanyag eltávolítású (NDBEPR) rendszerekben a lassan hasznosítható tápanyag

hidrolízisének és felvételének sebessége nagyobb, mint a csak nitrifikációt és denitrifikációt végző (ND) rendszerekben. Eddig tisztázatlan, hogy az utóbbi milyen hatás eredménye, de a jelenség mind laboratóriumi mind üzemi méretekben egyaránt bizonyított.

A 90-es évek elejétől az oxikus mellett az anoxikus foszforfelvétel is egyértelműen bizonyítottá vált. A két eltérő foszforelvétel között azonban jelentős különbség mérhető. Azoknál a teljes tápanyag eltávolítást biztosító rendszereknél, melyeknél csak az oxikus foszforfelvétel a domináns, az anaerob foszfor leadás / teljes foszfor eltávolítás hányad, továbbá a foszfor eltávolítás / befolyó szennyvíz könnyen bontható KOI hányad, és a foszfor eltávolítás / befolyó szennyvíz KOI hányad 3.0, 0,11 és 0,21 körüli érték. Anoxikus és aerob (kettős) foszfor felvétel esetén ezek az arányok 1,5 - 2,0; 0.06-0,08 és 0,012 - 0,015 közötti értékre csökkennek. Ezzel egyidejűleg a biológiai többletfoszfor eltávolítás is az első típusú rendszerekének mintegy 60 %-ára esik vissza. Úgy tűnik, hogy a különböző környezeti feltételek különböző foszfor akkumuláló mikroorganizmusok dominanciájára vezetnek. Ezeknek eltérő a foszfor eltávolító képességük, s a befolyó szennyvíz könnyen felvehető tápanyaghányadát is különböző mértékben tudják hasznosítani. Az utóbbi jelenségek pontosítására még az iszapduzzadás vizsgálatához hasonlóan további kinetikai vizsgálatok szükségesek. Pontosítandó a foszfor- és nitrát-limitáció hatása a különböző mikroorganizmus együttesek kialakulásában.

1.4. 4. Összegzés

A fenti típusú eleveniszapos rendszerek kialakításának tehát láthatóan rendkívül fontos szerepe van az üzemeltetés hatékonyságára, a kialakuló mikroorganizmus együttes fajlagos foszforeltávolító képességére. Érzékelhető ugyan, hogy a jelenségek pontos okai még nem kellően tisztázottak, de néhány durvább ökölszabály már ezek vonatkozásában is körvonalazódik. Kiemelésük azért fontosnak, hogy az üzemeltetők ne lepődjenek meg túlzottan az ilyen üzemek szokatlan viselkedésén, továbbá tervezők a fenti szempontok fontosságát is vegyék figyelembe munkájuk során.

Irodalomjegyzék: Az eredeti közleményben a hivatkozások a megfelelő helyen, valamint a cikk végén a jegyzékben is megtalálhatók.

Kivonat a szerzők 1997 év végi brisbane-i konferencia-előadásáról megjelent közleményből: (Wat. Sci. Tech., **39 (**6) 1-11.)