

A MOZGÓÁGYAS BIOFILM-REAKTOR (MBBR) ALKALMAZÁSA A BIOLÓGIAI SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBAN

OLÁH JÓZSEF
NYUGDÍJAS

RASA GÁBOR
FŐVÁROSI CSATORNÁZÁSI MŰVEK ZRT.

A tanulmány a mozgóágyas biofilm-reaktor (Moving bed biofilm reactor: MBBR) leírását tartalmazza, és bemutatja a azokat a szennyvízkezelési folyamatokat, amelyeknél ezt a reaktor típus alkalmazható. Az MBBR reaktorokat elterjedten használják kommunális és ipari eredetű szennyvizek oldott szennyeződéseinek (BOI/KOI) eltávolításához, valamint nitrifikációhoz és denitrifikációhoz egyaránt. Bebizonyosodott, hogy másodlagos kezelésnél az MBBR reaktorokat alkalmazó technológia rendkívül kompakt nagysebességű eljárás (1 óra HRT). A legtöbb európai szennyvíztelepnél követelmény a P-eltávolítás, és ezt az MBBR és a kémiai foszfor kicsapatás kombinált technológia jól kielégíti. Hideg klimatikus viszonyok (Norvégia) között 11 °C hőmérsékleten a nitrifikálási sebesség eléri 1,2 gNH₄-N/m²d-értéket. Ilyen sebesség mellett teljes nitrifikációval számolhatunk és a denitrifikációs sebesség eléri a 3,5 g NO₃-N/m²d értéket. Az MBBR reaktorokban a nitrogén eltávolítás tartózkodási ideje (HRT) 3 és 5 óra között van.

Kulcsszavak: MBBR rendszer felépítése; KOI/BOD eltávolítás; nitrifikálás; denitrifikáció; MBBR és eleveniszapos rendszerek terhelési értékei; üzemelési tapasztalatok;

BEVEZETÉS

Az egész világon a városok keresik a fejlett, kompakt szennyvíztisztítási megoldásokat, mivel a szennyvíztisztítás minőségi előírásai egyre szigorúbbak, és a szennyvíztisztító telepek számára rendelkezésre álló földterület egyre kisebb.

A kommunális szennyvízben szennyező anyagok jelentős része oldott állapotban, lebegőanyag és kolloid anyagként jelenik meg. Az elő-koagulációs lecsapatással és ülepítéssel a lebegő és kolloid anyagok jelentős része eltávolítható. Ha az oldott fázis további kezelésénél a lebegő és kolloid anyagok jelentős részét eltávolítottuk, akkor az oxidációs

folyamatban ezen anyagok oxidálására nem kell, vagy minimális energiát kell fordítani. Ez jelentős megtakarítást eredményez különösen akkor, ha az oldott szennyező anyagok eltávolítására biofilm-eljárást (MBBR) alkalmazzuk. Erre a célra egy új mozgóágyas biofilm eljárást (moving bed biofilm reactor: MBBR) fejlesztettek ki. Az eljárást Kaldnes Miljøteknologi norvég cég fejlesztett ki és a technológiát ma ez a cég forgalmazza. Több mint 700 MBBR rendszerű szennyvíztisztító telep (kommunális és ipari) üzemel több mint 50 országban. Az MBBR rendszer értékelését a nemzetközi szakirodalomban megjelent fontosabb cikkek alapján végeztük.

A BIOFILM ÉS AZ ELEVENISZAPOS BIOLÓGIAI RENDSZER KAPCSOLATA

A nyers, kezeletlen szennyvíz összetétele

Számos tényezőt kell figyelembe venni a szennyvízkezelés különböző kezelési módszereinek értékelésekor, például a (1) a kezelés hatékonysága, (2) költség, (3) területigény, (4) iszaptermelés és (5) fenntarthatóság (például energiafelhasználás) játszik szerepet. Tapasztalatok szerint a kommunális szennyvizek biológiailag nehezen lebontható vagy inert oldható KOI értéke 30–40 mg/L. Szennyvízben a szerves anyag kb. 15% -át 0,08–1,0 μm és kb. 25% -át 1–100 μm méretű kolloid anyag, kb. 35% -át ülepedő (> 100 μm) részecskék képezik és szennyvíz 40 %-át oldott szerves-anyag alkotja.

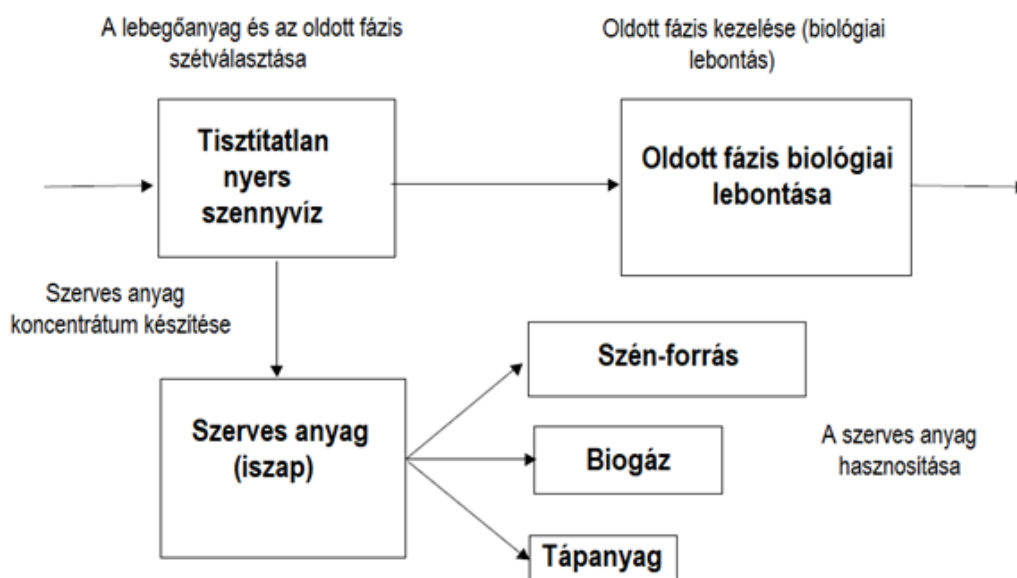
A skandináv szennyvíz telepek adatainak értékelésekor Ødegaard et al.(1994) beszámolt arról, hogy a nyersvíz mintákban a lebegőanyag

frakció (1 μm -es szűrő) jellemzően az összes KOI és az összes BOI 60–80% -át képviseli.

A kolloid frakciót (0,1–1 μm), amely általában a KOI 10–15% -át képviseli, becsülhető, hogy a teljes szerves anyag-tartalomnak csak a 15–20% -a van oldatban. A skandináv felmérések alapján meghatározták az oldott KOI biológiailag bontható hányadát ez ~125 + 70 mg-KOI/L értéknek adódott. Ha a szerves anyagot szénforrásként kell használni egy kompakt biofilm-folyamatban, ennek biológiailag könnyen lebonthatónak kell lennie, mivel a tartózkodási idő általában túl rövid a lebegő szerves anyag hidrolíziséhez. Ezért jobb lehet, ha a gazdag szerves koncentrátumot (iszap) primer kezeléssel előüleptítéssel kivesszük (lásd az 1. ábrát), és ezt hidrolízissel, vagy egyéb technológiával (komposztálás) feldolgozzuk.

Az eleveniszapos technológia hagyományosan az ülepedésen alapuló elsődleges kezelési lépést követi. Számos országban (Dánia, Hollandia stb.) az előkezelés nélküli rendkívül alacsony terhelésű rendszereket részesítették előnyben, részben annak következtében, hogy az reaktoron belüli aerob stabilizálás révén minimalizálni lehet az iszaptermelést. Sokszor alkalmazzák a teljes-oxidációs rendszert, ahol az iszap-stabilizálást is az eleveniszapos egységben végézik el. Kérdéses, hogy az alacsony terhelésű eleveniszapos rendszerek fenntarthatóak-e? Az eljárásnak nagy a reaktor térfogat igénye a nagy tartálytérfogatok miatt költséges az építés.

Az alapvető szennyvíztisztítási filozófia vázlatát az 1.ábra szemlélteti.



1. ábra – A szennyvíztisztítás alapelvére

E filozófia szerint előbb el kell távolítani a lebegőanyag nagy részét, amennyire ez gazdaságilag lehetséges (fokozott primer kezelés, például elő-koaguláció útján), majd utána egy kompakt bioreaktorban (például biofilm-reaktorban) kell kezelni az oldott anyagot. A szerves koncentrátumot (iszap) energia (biogáz formájában) előállítására kell felhasználni.

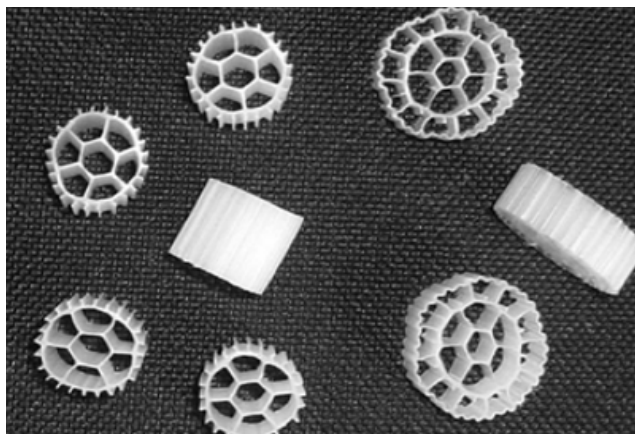
Az 50 μm -nél kisebb részecskék gravitációs ülepetéssel eltávolíthatók. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a szuszpendált szilárd anyagok körülbelül 50% -át és a szerves anyag 30% -át elsődleges leülepedéssel eltávolítható. A legelterjedtebb és leggyakrabban alkalmazott módszer a lebegőanyag elválasztásának fokozására az elsődleges kezelés során koagulánsok és/vagy flokkulánsok hozzáadása. Az elsődleges koaguláció során általában egy fémsót adnak a nyers szennyvízhez, ami a kolloidok destabilizálódását eredményezi.

A koagulánsként általában alumínium vagy vas sókat alkalmaznak, ezek adagolása a foszfát kicsapódását és a kolloidok koagulációját eredményezi. A vegyszeres kicsapattal a KOI-terhelés több mint 75% -kal csökkenthető. Ha fémsót használunk koagulánsként, akkor a foszfát eltávolítása is megtörténik. A lebegő szerves anyag eltávolítás hatásfoka a fém só és anionaktív polimer kombináció adagolásával javítható.

MBBR rendszer elvi felépítése

Az MBBR rendszer egy levegőztető tartályból áll (hasonlóan az eleveniszapos reaktorhoz) speciális műanyag hordozókkal van feltöltve, amelyek olyan felületet biztosítanak, amelyen a biofilm kifejlődhet. A hordozók műanyag sűrűsége megközelíti a víz sűrűségét (1 g/cm³). Példa erre a nagy sűrűségű polietilén, amelynek sűrűsége megközelítőleg 0,95 g/cm³. A kis hengerek kb.10

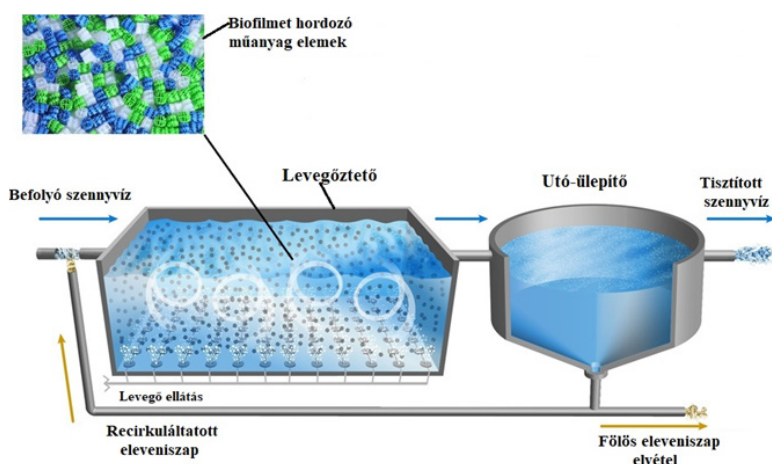
mm átmérőjű, 7 mm magas, keresztben a henger belsejében és hosszirányban kívülről uszonyokkal van ellátva. A biofilm hordozó elemeket a kifolyó nyílás előtt egy perforált lemez (5 x 25 mm-es rések) tartja vissza a reaktorban. Légkeverőket vagy keverőket úgy helyezik el, hogy azok a hordozó elemeket folyamatosan keringtessék. A hordozó elemek a tartály térfogatának 25 – 40 %-át, esetleg 50% -át teszik ki. Az ömlesztett hordozó elemek fajlagos felülete kb. 500 m²/m³ érték. Az MBBR rendszer jellegzetes hordozó anyagának kialakítását a 2.ábra (internet 1.) szemlélteti.



2. ábra – MBBR rendszer jellegzetes hordozó anyaga

A hordozóanyag mozgását a légbefúvás biztosítja a tartályban, így jó a kapcsolat alakul ki a befolyó szennyvíz és a hordozón megtelepült biomassza között. Annak megakadályozására, hogy a műanyag hordozó elemek a tisztított szennyvízzel a reaktorból eltávozzanak a kifolyó nyílásnál ezt szűrő akadályozza meg. A biomassza nagyobb koncentrációjának elérése érdekében a bioreaktoroknál a hibrid MBBR rendszereket is alkalmazták, ahol a szuszpendált és a hordozón kötött biomassza egy reaktorban

együtt van jelen. Az MBBR rendszert gyakran a meglévő eleveniszapos reaktorokba építik be, a meglévő rendszer kapacitásának növelése érdekében. Az MBBR rendszer kialakításának elvi vázlatát a 3.ábra (internet 1.) szemlélteti.



3. ábra – MBBR rendszer elvi vázlata

MBBR ÉS AZ ELEVENISZAPOS RENDSZER ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A reaktor hordozóanyaggal való feltöltése beállítható kezdetben például 40% -ra, később pedig 70% -ra is növelhető. Az MBBR rendszer építése egy települési szennyvíztisztító telephelyen felmerülhet a városi lakosság számának növekedése vagy egy ipari üzem szennyvíz termelésének megnövekedése miatt. Az eleveniszapos rendszert hatékonyságban, gazdaságosságban messze felülmúlja. Az első MBBR létesítmény 1990-ben kezdte meg működését a norvég Lardal-ban. Az MBBR technológia azóta jelentős szerepet játszik az európai szennyvíztisztításban. Az MBBR és az eleveniszapos rendszer összehasonlítása alapján megállapítható, hogy az MBBR rendszernél

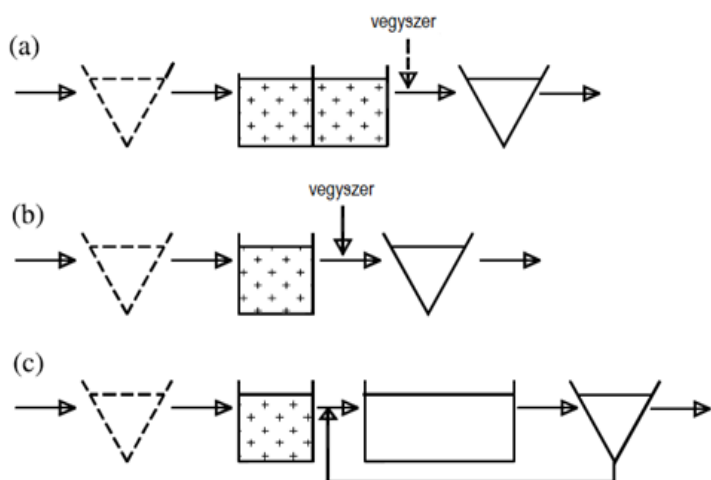
- a működési költségek általában alacsonyabbak, mint az eleveniszapos megoldásnál,
- a hordozón kötött biomassza egyre specializáltabbá válik (a releváns organizmusoknak nagyobb a koncentrációja), az ipari szennyvizek tisztításánál ez egyértelműen előnyös,
- nagyobb a biomassza tartózkodási ideje (SRT), amely kedvező a nitrifikációhoz,
- a terhelés ingadozására kevésbé érzékeny,
- kisebb az iszaptermelés,
- kisebb a helyszükséglet, mint az eleveniszapos rendszer esetében,
- rugalmas a toxikus sokkal szemben,
- az MBBR rendszernél nem jelentkezik az eleveniszapos tisztítást gyakran kísérő iszap-felúszás (bulking).

KOI/BOD eltávolítás

A KOI/BOD eltávolítás esetében rendszerint 4–5 kg BOI/m³d terhelést és 67% hordozóanyag töltést (335 m²/m³) alkalmaztak. Ez körülbelül 15 g BOI/m²d fajlagos terhelésnek felel meg. Általában az alkalmazott terhelési érték 7–10 g BOI /m²d.

A BOI/KOI eltávolítást, a P-eltávolítással kombinálva (4/1. a. – c. ábra: Ødegaard, 2006) szemlélteti. A folyamat kompaktsága miatt a mozgóágyas reaktorokban a tartózkodási idő a széntartalmú anyagok eltávolításánál a szerves anyagtól függően meglehetősen alacsony (15–90 perc). Ez a terhelés és a szennyvíz KOI koncentrációjának függvénye. Biológiailag lebontható, oldott szerves anyag gyorsan lebontódik. A reaktoron történő áthaladás során a szerves lebegő-anyagnál kissé mértékű a hidrolízis, vagyis változatlanul halad keresztül a reaktoron. Az oldott KOI maximális

BOI/KOI eltávolítás



(a) A biofilmes (MBBR) technológiát kémiai kondicionálószer adagolása követi, mely a biomassza és P leválasztást segíti

(b) A nagy sebességű biofilm (MBBR) fokozat után a biomassza leválasztása flokkulációval történik

(c) Az eleveniszapos rendszer előtt biofilmes (MBBR) előtisztítást alkalmaznak és ilyen módon az üzemelő eleveniszapos telep hatásfoka jelentősen növelhető

4/1. ábra – KOI/BOD eltávolítás kiegészítve P-eltávolítással (Jelmagyarázat: MBBR – mozgóágyas biofilm-reaktor)

eltávolítási sebessége 30 gKOI/m²d körül volt. A legtöbb európai országban a foszfát eltávolítását kémiai kicsapattal végzik, ezért BOI/KOI és P-eltávolítás céljára általánosan, a 4/1. ábra a – b eljárását alkalmazzák Flokkuláció céljából alumíniumot, vas-kloridot vagy előpolimerizált alumínium-kloridot használnak. A 4/1.(a) ábra sorba kötött két-lépcsős MBBR reaktort szemléltet, majd az utóülepítő előtti vegyszer-adagolással a foszfor eltávolítás történik. A 4/1.(b) ábra alapján a szennyvíztisztítás egy lépcsős MBBR reaktorról történik, majd ezt követi foszfát-eltávolítás céljából az utóülepítő előtti vegyszer-adagolás. A 4/1.(c) ábrán bemutatott technológia szerint az első tisztítási lépcső MBBR reaktor, majd ezt követi a klasszikus eleveniszapos megoldás.

Az a tény, hogy a biofilm elsősorban a biológiai könnyen lebontható oldott anyagok biológiai lebontására alkalmas. A szerves lebegő anyag kezelésére két megoldás alkalmazható:

- A lebegő anyagot hagyjuk belépni a mozgóágy reaktorba, ami többé-kevésbé változatlanul halad át rajta, és ezt eltávolítják egy későbbi koagulációs lépésben, amelyet közvetlenül az MBBR után célszerű elhelyezni.
- A lebegő anyagot koagulációval az MBBR előtt eltávolítják, és ezáltal csökken a szerves-anyag terhelés.

Nitrifikálás

Az MBBR reaktorok nitrifikálásra történő alkalmazását a 4/2.(d) – (f) ábrák (Ødegaard, 2006) mutatják be. A 4/2.(d) ábra olyan megoldást mutat

be, amikor szerves anyag zömét eltávolították (pl. rész-tisztítás eleveniszapos biológiával) és az előkezeléstől függően MBBR reaktorokat kötnek sorba. A sorba kötött reaktorok első tagjában még heterotróf baktériumok dominálnak, de a folyamat végén (az utolsó reaktor) már a nitrifikálók a meghatározóak. Ez lehetővé teszi az egyes folyamatok optimalizálását, egymástól függetlenül. Néhány skandináv szennyvíztelepen a P-eltávolítást és a jelentős BOI-eltávolítást a kémiai kezeléssel érik el. Ez által csökkenthető a nitrifikációhoz szükséges bioreaktor térfogat. Ebben az esetben a nitrifikáló reaktorok lebegő anyag terhelése csökken, ami nagyobb nitrifikációs sebességet eredményez, mint az elő-koaguláció nélküli esetben. A nitrifikációs sebességet három tényező, mint a szerves anyag, az ammónium-N és az oxigén koncentráció határozza meg. Ha a szerves terhelés 4 g BOI/m²d érték föl emelkedik akkor 6 mgO₂/L oxigénkoncentráció szükséges ahhoz, hogy a nitrifikáció egyáltalán lejártsódjon. A mérések szerint lineáris kapcsolat van a nitrifikációs sebesség és az oxigénkoncentráció között. A 3 mg NH₄-N/L ammónia koncentráció felett a nitrifikációs sebességet az oxigénkoncentráció és a szerves terhelés szabályozza (Butler – Boltz, 2014).

A lineáris kapcsolat előnye, hogy ez az összefüggés nagyon kedvező a folyamatvezérlés szempontjából. Magas oxigénkoncentráció csak a nitrifikációhoz szükséges. A széntartalmú eltávolításhoz a 2–3 mg O₂/L elegendőnek bizonyult a gyakorlatban.

A 4/2.(e) ábrán bemutatott technológiai megoldás esetében az eleveniszapos (AS) rendszert egy

nitrifikáló-szűrő követi. Ennek a megoldásnak a hátránya, hogy a szűrőről leszakadó baktériumok a vízminőséget rontják, miután a szűrőt követően nincs fázis-szétválasztás (utóülepítő).

A 4/2.(f) ábrán bemutatott eljárást hibrid nitrifikációs folyamatnak hívják, Európában széles körben nem használják, de népszerűvé vált az Egyesült Államokban. Ebben a folyamatban az eleveniszapos levegőztető tartályának utolsó részét MBBR reaktorral alakítják át. Így módon megnő a rendszer nitrifikációt végző biomassa mennyisége.

A technológia bizonyította, hogy az <1 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$ elfolyó szennyvíz koncentrációig és $0,35$ g $\text{NH}_4\text{-N/m}^3\text{d}$ ($1,17$ g $\text{NH}_4\text{-N/m}^2\text{d}$) terhelési értékig alkalmazható.

Nitrogén eltávolítás (denitrifikáció)

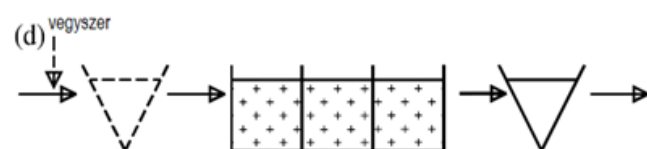
Szennyvíztelepeken a nitrogén eltávolításra (denitrifikáció) az MBBR és az eleveniszapos rendszer számos kombinációja áll rendelkezésre (Ødegaard, 2006; Bengtson, 2017). Például MBBR reaktorok sorba kapcsolásával (4/3. (g) ábra) elő-denitrifikációs és utó-denitrifikációs (4/3.(h) ábra), vagy ezek összekapcsolásából kombinált denitrifikációs (4/3.(i) ábra) technológia alakítható ki. Az MBBR reaktor alkalmazható az eleveniszapos rendszerben is (4/3.(j) ábra) utó-denitrifikációs célra. Ez utóbbi szokatlan Európában, de általános alkalmazzák az USA-ban. A denitrifikáció sebességét korlátozhatja a nitrát koncentráció, szerves anyag koncentráció, vagy az oxigénkoncentráció. Körülbelül 3 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$ koncentráció felett

a denitrifikáció eltávolítási sebességét teljes egészében a biológiailag könnyen lebontható anyag típusa, a szénforrás szabályozza.

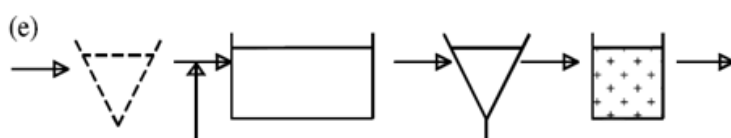
Ha a reaktorba a belépő vagy a keringető vízzel oxigént juttatunk a rendszerbe, akkor a biológiailag lebontható szerves anyag fogyasztja oxigént, és a biológiai lebontás (légzés) révén csökken a denitrifikációhoz rendelkezésre álló szerves anyag mennyisége. Az elő-denitrifikációs folyamat korlátozása (4/3.(g) ábra) abból fakad, hogy a nitrifikációs lépésből származó oxigénben gazdag vizet vissza kell vinni az elő-ditrifikációs lépcsőbe. A nyers víz szénforrása gyakran nem elegendő a denitrifikáció lefutásához. Az elő- denitrifikációs rendszerekben a sebességet általában a szénforrás rendelkezésre állása korlátozza és ennek következtében alacsony a denitrifikációs hatások.

Az utó-denitrifikációs rendszerekben (4/3.(h) és (j) ábra) egy biológiailag könnyen lebontható szénforrást adnak a rendszerbe és ezzel nagy denitrifikációs sebességet érnek el.

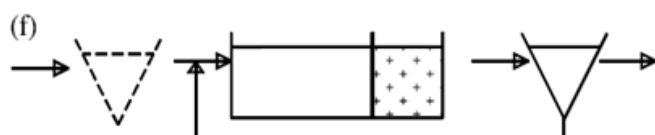
Az utó-denitrifikációnak számos előnye van az elő-denitrifikációval szemben: jelentősen kisebb a reaktor térfogat igény ($40\text{--}50\%$), és sokkal egyszerűbb folyamatirányítás. A legnagyobb hátrány, hogy az utó-denitrifikációnál a szénforrás hozzáadásának a szükségessége. A szénforrás felhasználásának minimalizálása érdekében a 4/3.(i) ábra ábrán látható kombinált denitrifikációs rendszert is alkalmazhatjuk. A kombinációs rendszer nagyobb rugalmasságot kínál az üzemeltetése szempontjából.

Nitrifikáció

(d) Az MBBR reaktorok száma függ az előkezelés mértékétől és a szennyvíz jellemzőitől

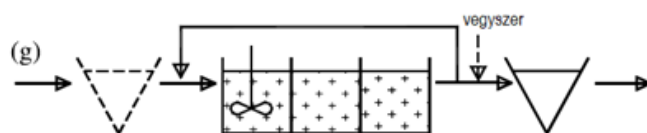


(e) Harmadlagos nitrifikáció. Az MBBR reaktort a konvencionális AS telep után helyezik el. Az AS telepről elfolyó rossz vízminőség esetében az MBBR reaktor helyett nitrifikációs szűrő is alkalmazható

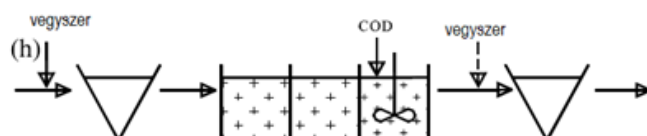


(f) Az AS és az MBBR reaktor kombinációja. Az MBBR reaktort az AS reaktor után helyezik el

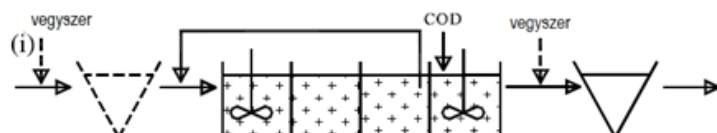
4/2.ábra. – MBBR reaktorok alkalmazása nitrifikálásra (Jelmagyarázat: AS – eleven iszapos szennyvíztisztító; MBBR – mozgóágyas biofilm-reaktor)

Nitrogén (denitrifikáció) eltávolítás

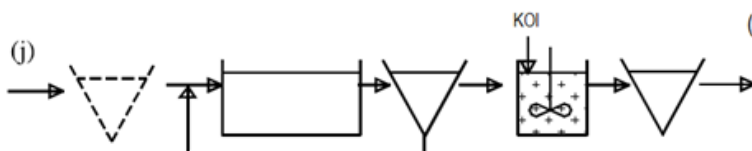
(g) MBBR elő-denitrifikációs eljárás. Vegyszer adagolás és flokkuláció, ha a foszfor eltávolítás miatt szükséges



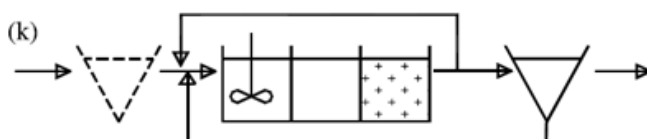
(h) MBBR utó-denitrifikációs eljárás. Vegyszer adagolás és flokkuláció, ha a foszfor eltávolítás miatt szükséges



(i) Kombinált denitrifikációs eljárás. Vegyszer adagolás és flokkuláció, ha a foszfor eltávolítás miatt szükséges



(j) Utó-denitrifikáció céljából az MBBR reaktort a konvencionális AS telep után helyezik el



(k) Az AS és az MBBR reaktor kombinációja. A biofilm reaktor az AS reaktor végéhez kapcsolódik. A biofilm reaktor (MBBR) elfolyó vizének egy részét visszaforgatják a rendszer elejére

4/3.ábra. – MBBR reaktorok alkalmazása nitrogén eltávolításra (Jelmagyarázat: AS – eleven iszapos szennyvíztisztító; MBBR – mozgóágyas biofilm-reaktor)

Tisztítási folyamat megnevezése	Ajánlott terhelési érték	Hivatkozás (irodalom)
Eleveniszaposkontakt stabilizáció (rész-tisztítás: Elf. BOI = 20 – 40 mg/L)	1,5 – 3,0 kg BOI/m ³ d 1,0 – 1,3 kg BOI/m ³ d 1,5 – 3,5 kg BOI/m ³ d	Henze et al. (2002) Metcalf & Eddy (2003) Gray (1990)
MBBR technológia BOI ₅ eltávolítás + rész nitrifikáció (93 %)	4 kg BOI/m ³ d	Mendoza-Espinoza, L., és Stephenson, T. (1999)
MBBR technológia BOI ₅ eltávolítás	4–5 kg BOI/m ³ d 3 – 5 kg BOI/m ³ d 3 – 6 kg BOI/m ³ d	Ødegaard, H. (2006) Mérnyei, J. (2010) McQuarrie, J.P., Boltz, J.P. (2011)
Eleveniszapos technológia: BOI ₅ eltávolítás	3,5 – 4,5 kg BOI/m ³ d 0,78 kg BOI/m ³ d 1,0 kg BOI/m ³ d 0,6 – 1,5 kg BOI/m ³ d 0,5 – 0,36 kg BOI/m ³ d	Metcalf & Eddy (2003) Metcalf & Eddy (2003) Benedek (1982) Henze et al. (2002) Gray (1990)
Eleveniszapos technológia BOI ₅ eltávolítás és nitrifikáció (Elf. BOI < 10 mg/L; TKN < 10 mg/L; HRT = 2 – 3 óra)	1,21 – 4,59 kg KOI/m ³ d	Magdum, S., Kalyanram, V. (2019)
MBBR technológia KOI eltávolítás	5 – 8 kg KOI/m ³ d 1,4 – 5,0 kg KOI/m ³ d	Mérnyei, J. (2010) Schmid-Schmieder, V. (2002)
MBBR technológia BOI ₅ eltávolítás + nitrifikáció (nitrifikáció. sebessége 0,18 – 0,48 kgNH ₄ - N/m ³ d)	2,0 – 2,75 kg BOI/m ³ d 0,6 – 1,2 kg BOI/m ³ d	Metcalf & Eddy (2003) McQuarrie, J.P., Boltz, J.P. (2011)
Eleveniszapos technológia: BOI ₅ eltávolítás + nitrifikáció	0,37 kg BOI/m ³ d 0,50 kg BOI/m ³ d 0,60 kg BOI/m ³ d	Metcalf & Eddy (2003) Benedek et al., (1982) Henze et al. (2002)
Eleveniszapos technológia: BOI ₅ eltávolítás + nitrifikáció	0,1 – 0,3 kg BOI/m ³ d 0,25 kg BOI/m ³ d 0,2 kg BOI/m ³ d	Metcalf & Eddy (2003) Benedek et al., (1982) Henze et al. (2002)
Eleveniszapos technológia: BOI ₅ eltávolítás + nitrifikáció + iszapstabilizáció	0,24 – 0,36 kg BOI/m ³ d	Gray (1990)
MBBR technológia: ammónia eltávolítás (nitrifikáció) HRT = 1 óra; 92 – 96 %	0,4 – 0,8 kg NH ₄ -N/ m ³ d 0,045 – 0,106 NH ₄ -N kg/m ³ d 1,2 – 1,5 kg N/m ³ d 0,35 g NH ₄ -N/m ³ d (1,17 g NH ₄ -N/m ² d) 0,15 – 0,46 kg NH ₄ -N/ m ³ d	Mérnyei, J. (2010) Schmid-Schmieder, V. (2002) Metcalf & Eddy (2003) Ødegaard, H. (2006) Mendoza-Espinoza, L., és Stephenson, T. (1999)
MBBR technológiade-nitrifikáció Eltávolítási sebesség: 0,6 kgNO _x - N/m ³ d	0,7 – 1,2 kg NO ₃ /m ³ d 0,13 kg NO ₃ /m ³ d 1,2 kg NO ₃ /m ³ d	Mérnyei, J. (2010) Schmid-Schmieder, V. (2002) Magdum, S., Kalyanram, V. (2019)

9. táblázat. – Az MBBR biofilm és eleveniszapos rendszerek terhelési értékeinek összefoglalása

Olyan üzemelési szakaszban, amikor a szerves-anyag terhelés nagy, vagy a víz nagyon hideg, a szerves anyag mennyiségét elő-koagulációval csökkenthetjük. Az előkezelt szennyvízben a szerves anyag zömét kismolekula súlyú biológiailag könnyen lebontható szerves anyag alkotja, amely egy bizonyos nitrátmennyiség kezelésére elegendő, viszonylag kis recirkulációs arány mellett (0,25–0,5 x Q). A kismértékű recikláció mellett ez által minimalizálni lehet az oxigén keringését. A fennmaradó nitrátot utó-denitrifikációval távolítják el, ahol a mért szennyvíz-nitrát koncentráció szabályozza a beadagolandó szén-forrás (pl. metanol) mennyiségét.

Az AS és a MBBR rektor kombinációjából kialakított elő-denitrifikációs eljárásnál az eleveniszapos denitrifikációs lépcsőt eleveniszapos tisztítás, majd bioszűrős (MBBR) tisztítás követi (4/3.(k) ábra). Az MBBR reaktorból elfolyó víz egy részét az utóülepítőbe történő befolyás előtt a denitrifikációs lépcső elé recirkuláltatják. Az utóülepítőből a szokásos eleveniszap recirkulációt a denitrifikációs medence elé vezetik.

Az MBBR és az eleveniszapos rendszerek terhelési értékeinek összevetése

A különböző tisztítási céloknak megfelelően a MBBR biofilm és az eleveniszapos rendszerek terhelési értékeit a 1.táblázatban foglaltuk össze. A táblázat néhány szerző ajánlott értékeit tünteti fel. A BOI5 eltávolítást és a nitrifikációt illetően az egyes szerzők ajánlott értékei között elég nagy eltérések mutatkoznak. A méréseik szerint a nitrifikáció esetében az ajánlható terhelési érték 0,1 – 0,4 kg NH₄-N/m³d érték közé esik.

ÖSSZEFOGLALÁS

A mozgóágyas biofilm eljárásban (moving bed biofilm reactor: MBBR) a biológiai lebontást a reaktorba helyezett műanyag elemekre (hordozó anyag) telepített biomassza végzi. A lebegőanyag leválasztás eljárásból a mozgóágyas biofilm eljárás kombinálható elő-és utó koagulációval. A mozgóágyas biofilm-reaktorok és a koaguláció kombinációján alapuló technológiák nagyon kompakt tisztítóberendezéseket eredményeznek. A technológiai megoldások a célnak megfelelően a következők:

- Ha csak a KOI/BOI-eltávolítás cél akkor koagulációs lépést, a nagy terhelésű mozgóágyas reaktorok követik. Vegyszerként a kationaktív polimert használnak és a lebegőanyag elválasztás nagyon hatékony. Ha a KOI/BOI eltávolítással egy időben foszfát eltávolítás is cél, akkor az utóülepítő előtt fém koagulátort kell használni.
- Ha a nitrifikáció a cél, az elő-koagulációt egy MBBR biofilm-reaktor követi. Az eleveniszapos rendszer után beépített MBBR reaktor alkalmazásával is hatékony nitrifikáció érhető el.
- Ha a nitrogéneltávolítás (denitrifikáció) a céljából az MBBR reaktorok megfelelő kapcsolásával elő, utó és kombinált denitrifikációs technológia könnyen kialakítható. Az eleveniszapos rendszer (AS) és MBBR reaktorok kombinációjával is kialakítható elő és utó denitrifikációs rendszer. A rendszer kompakt és könnyen irányítható.
- Az eleveniszapos rendszer (AS) levegőztetője könnyen átalakítható MBBR reaktorrá és az MBBR reaktor szintén könnyen

kapcsolható az AS rendszerhez. Az MBBR rendszer az eleveniszapos rendszert hatékonyságban, gazdaságosságban messze felülmúlja.

Abstract:

The study describes the moving bed biofilm reactor (MBBR) and presents applications of the wastewater treatment processes for which this reactor type can be used. The MBBR reactors are widely used for the removal of dissolved contaminants (BOD / COD) from municipal and industrial effluents, as well as for nitrification and denitrification. The technology using MBBR reactors for secondary treatment has been shown to be an extremely compact high-speed process (1 hour HRT). P-removal is a requirement for most European wastewater treatment plants, and this is well met by the combined technology of MBBR and chemical phosphorus precipitation. Under cold climatic conditions (Norway) at a temperature of 11 ° C the nitrification rate reaches 1.2 gNH₄-N / m²d. At this rate, complete nitrification can be expected and the denitrification rate reaches 3.5 g NO₃-N / m²d. Nitrogen removal residence time (HRT) in MBBR reactors is between 3 and 5 hours.

Technologies based on a combination of moving bed biofilm reactors and coagulation result in very compact cleaning equipment. The technological solutions according to the purpose are the following:

- If only COD / BOD removal is a target then a coagulation step is followed by high load moving bed reactors. A cationic polymer is used as the chemical and the separation of the suspended solids is very efficient. If phosphate removal is to be performed at the same time as COD / BOD removal, a metal coagulator should be used before post-sedimentation.
- If nitrification is the goal, pre-coagulation is followed by an MBBR biofilm reactor. Efficient nitrification can also be achieved by using a built-in MBBR reactor after the activated sludge system.
- If the purpose of nitrogen removal (denitrification) is preceded by proper connection of MBBR reactors, post- and combined denitrification technology can be easily developed. A combination of activated sludge system (AS) and MBBR reactors can also be used to create a pre- and post-denitrification system. The system is compact and easy to control.
- The aeration basin of activated aerated sludge system (AS) can be easily converted to an MBBR reactor and the MBBR reactor can also be easily connected to the AS system. The MBBR system far surpasses the activated sludge system in efficiency and economy.

Keywords: MBBR system structure; COD / BOD removal; nitrification; denitrification; load values for MBBR and activated sludge systems; operational experience;

SZERZŐK:



Oláh József 1939-ben született Szankon. A Budapesti Műszaki Egyetemen (BME) 1962-ben vegyészmérnöki oklevelet (okl.szám: 44/1962), majd 1976-ban környezetvédelmi szakmérnöki oklevelet (okl.szám: 3888/1976) szerzett. 1980-ban BME-en műszaki doktori (okl.szám: 2769/1980) címet, majd 1988-ban Magyar Tudományos Akadémián műszaki tudomány kandidátusi címet (12 355) szerzett. 1964-től 1992-ig a VITUKI-ban szennyvíztisztítási és szennyvíziszap kezelési kérdésekkel foglalkozott. 1992 – 2012-ig az Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.-ben műszaki fejlesztési csoport-vezetőként szintén szennyvízes és szennyvíz iszapkezelési témákon dolgozott. 2012 – 2014-ig a MOL Nyrt.-ben biodízel hulladékok anaerob fermentációja témakörben

dolgozott. A szennyvíztisztítás témakörében gyógyszergyári, bőripari, mosodai, boripari eredetű szennyvizek kezelésével, az eleveniszapos rendszerek tápanyag-felvételi és toxicitási kérdéseivel, fix filmes aerob és anaerob szennyvíztisztítási technológiák kialakításával foglalkozott. A hulladék és szennyvíziszap kezelés témakörében komposztálás, aerob és anaerob iszapkezelés összehasonlításával, különböző szerves hulladékok (sertéstrágya, marhatrágya, fehérje hidrolizátum) önálló és ko-szubsztrát rothasztásával, cellulóz tartalmú hulladékok és energia növények rothasztásával foglalkozott. Több mint 150 cikke jelent meg és több szennyvíziszap kezeléssel kapcsolatos könyv társ-szerzője.



Rása Gábor 1971-ben született Budapesten. Az Eötvös Lóránd Tudományegyetemen 1997-ben vegyész oklevelet (okl.szám: 264/1997), majd a Budapesti Műszaki Egyetemen 2004-ben vízépítő, vízellátás-csatornázás-környezetegészségügyi oklevelet (okl.szám: 2835) szerzett. 1995 – 2003-ig az Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.-ben É-Budapesti szennyvíz telepén technológusként dolgozott, majd 2003- a műszaki fejlesztési csoportban szennyvíz iszapkezelési, és szennyvíztisztítási témákon dolgozott. A szennyvíztisztítás témakörében fix filmes aerob szennyvíztisztítási technológiák kialakításával foglalkozott. A hulladék és szennyvíziszap kezelés témakörében komposztálás, aerob és anaerob iszapkezelés, különböző szerves hulladékok (sertéstrágya, marhatrágya, fehérje-hidrolizátum) önálló és ko-szubsztrát rothasztásával, cellulóz tartalmú hulladékok (energia növények) és szennyvíziszap közös rothasztásával foglalkozott.