

Az eleveniszapos biológiai rendszerek műszeres ellenőrzése

Oláh József¹ – Öllös Géza² – Palkó György¹ – Szilágyi Mihály¹ - Rása Gábor¹

1. Fővárosi Csatornázási Művek Rt. – 2. Professzor Emeritus BME

Kulcsszavak: Biológiai bonthatóság, toxicitás, légzési sebesség, lebontási sebesség, endogén- és szubsztrát légzés, teljes biológiai lebontás

1. Bevezetés

Az új és a felújított szennyvíztisztító telepek üzemeltetésének színvonala sokszor elmarad a telep technikai és technológiai lehetőségeitől, sőt számos telep annak ellenére, hogy alulterhelt a vízgyűjtő területre vonatkozó határérték kategóriát sem tudja kielégíteni.

Az üzemeltető számos esetben a telep korszerűsítését, rekonstrukcióját szorgalmazza arra gondolván, hogy a telep tisztítási hatásfoka kizárólag új gépészet, és új technológia beállításával tartható vagy javítható. Az üzemeltetőben sokszor fel sem merül az üzemeltetés színvonalának emelése, amely magában foglalja a megfelelő szakértelmet és a telep üzemi állapotának ellenőrzését.

Az új és a már üzemelő szennyvíztelepek üzemeltetésénél alapvetően fontos, hogy a telep adottságainak, műszaki színvonalának megfelelően az üzemeltetés olyan színvonalú legyen, hogy a telep a területi kategóriának megfelelő határértékeket - optimális üzem költség felhasználás mellett - mindenkor teljesítse. Ennek az elvárásnak a teljesítése mindenképpen csak megfelelő üzemellenőrzési paraméterek alkalmazása mellett lehetséges.

Az alábbiakban az eleveniszapos szennyvíztisztítók biológia egységének ellenőrzésével foglalkozunk. Az ellenőrzés célját az alábbiakban határozhatjuk meg (*Pulai – Kárpáti, 2003*):

- Elegendő információ biztosítása az üzemeltetés során a helyes döntésekhez
- Az elfolyó, tisztított szennyvíz minőségi előírásainak betartása
- A tisztítás költségeinek optimalizálása

A következőkben az üzemeltetési gyakorlatban alkalmazható fontosabb műszeres ellenőrzési módszereket és azoknak üzemeltetési gyakorlatban történő felhasználását ismertetjük.

Az ismertetésre kerülő valamennyi mérési módszert nyilvánvalóan egyidejűleg még a legnagyobb szennyvíztelepeken sem szükséges alkalmazni, viszont számos esetben mérések nélkül a telep üzeme ellenőrizhetetlenné válik. A mérési módszerek tárgyalása során telepek nagyságrendjének megfelelően a szóba jöhető vagy ajánlott mérési módszereket csoportosítani fogjuk. A jövő arra kell törekednünk, hogy a szennyvíztelepeken egyszerű műszeres mérésekkel a telep üzemi állapotát nyomon kövessük és az esetleges üzemelési hibákat azonnal kijavítsuk

2. Szennyvíz-telepek üzemellenőrzése

Az ellenőrző vizsgálatok alapján számszerűsíthetjük a biológiai rendszernek a toxikus anyagokra, a változó terhelési lökésekre adott válaszát és megmérhetjük az eleveniszapos biológiai rendszer lebontási sebességét (aktivitását). Szennyvíztelepek üzemének ellenőrzésére szolgáló módszereknek csak az elvét ismertetjük. A mérési módszerek részletes leírása a hivatkozott szabványban vagy leírásban megtalálhatók.

A biológiai szennyvíz telepek üzemeltetését segítő méréseket a *1. táblázatban* foglaltuk össze.

1. táblázat Biológiai szennyvíz telepek üzemének ellenőrzésére szolgáló mérési módszerek összefoglalása

A mérési módszer megnevezése	A mért érték	A mérési módszer (hivatkozás)
Toxicitás: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Eleveniszap oxigénfogyasztás – gátlás mérése alapján (toxicitás)</i> • <i>Toxicitás mérés lebontási-sebesség mérése alapján</i> • <i>Légzési sebesség mérése</i> • <i>Folyamatos toxicitás-ellenőrzés</i> • <i>Nitrifikáció gátlásának mérése</i> 	EC 50 DOC vagy KOI mg/l mgO ₂ /l óra EC 50 EC 50	MSZ EN ISO 8192 MSZ EN ISO 8192 MSZ EN ISO 8192 STIPTOX MSZ EN ISO 9509
A tisztítási technológia lebontási folyamatának ellenőrzése: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Szerves vegyületek lebonthatósági vizsgálata (SCAS)</i> • <i>Maradék DOC vagy KOI meghatározása</i> • <i>Rosszul oldódó szerves vegyületek lebonthatóságának vizsgálata</i> • <i>Nitrifikációs légzési sebesség</i> • <i>Biológiai lebontási aktivitás vagy lebontási-sebesség mérése</i> • <i>Biológiailag könnyen-bontható RBOI frakció meghatározása</i> • <i>RBOI/KOI arány</i> 	%-os DOC vagy KOI csökkenés DOC vagy KOI mg/l mgNH ₄ /g iszapóra mgO ₂ /g iszapóra mgO ₂ /g iszapóra mg/l -	MSZ EN ISO 9 887 MSZ EN ISO 9 887 MSZ EN ISO 10634 MSZ EN ISO 9509 „Egységes Vízvizsgálati Módszerek” „Egységes Vízvizsgálati Módszerek” és <i>Awt. Abwassertechnik. Heft 5, 32 – 37.</i> <i>Számított paraméter</i>
„Teljes” biológiai lebontás vizsgálata: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Szerves vegyületek teljes lebonthatósága széndioxid mérés alapján</i> • <i>Szerves vegyületek teljes lebonthatósága oxigénfogyasztás (respirométer) mérés alapján</i> • <i>Szerves vegyületek teljes lebonthatósága biológiai oxigénigény mérése alapján</i> • <i>Szerves vegyületek teljes lebonthatósági vizsgálata Zhan-Wellens teszt alapján</i> 	Bomlási % %-os DOC csökkenés Bomlási % %-os DOC vagy KOI csökkenés	MSZ EN 29 439 MSZ EN 29 408 MSZ EN ISO 10 707 EN ISO 9888

Az 1. táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy az üzemellenőrzés céljára számos paraméter áll rendelkezésre. Az ellenőrző paraméterek egy része toxicitás és technológiai viszonyok közötti biológiai lebontás, míg a másik része a teljes biológiai lebontás meghatározására szolgál. A fenti beosztás kissé önkényes, mert a lebontási módszerek jó része alkalmas toxicitás mérésére is. Természetesen egy szennyvíztelep ellenőrzése céljából nem kell a fenti táblázatban feltüntetett valamennyi paraméter mérését elvégezni. Az alkalmazandó mérési módszert megválaszthatjuk a olyan módon is, hogy egyetlen lebontás mérési módszerrel

ellenőrizhetjük a befolyó szennyvíz toxicitását, biológiai bonthatóságát és az eleveniszap lebontási sebességét (aktivitását).

A táblázatban feltüntetett „teljes” biológiai bonthatósági vizsgálatok igénye egy szennyvíztelepen ritkán fordul elő. Erre mérésre igény lehet például abban az esetben, ha a szennyvíztelepre egy nehezen bontható ipari szennyvizet szándékoznak bevezetni és az üzemeltető szeretné tudni, hogy a bevezetés hatására a telepről elfolyó szennyvíz maradék KOI-ja milyen mértékben fog növekedni. Miután a „teljes” biológiai bonthatósági vizsgálatok igénye ritkán fordul elő, ezért ennek tárgyalására csak röviden fogunk kitérni.

2.1 Szennyvizek toxicitásának meghatározása

Az eleveniszapos biológia rendszer üzemének (mérgezés, inhibíció, szennyvíz biológiai bonthatósága stb.) ellenőrzésére a hazai üzemeltetési gyakorlatban nem sok figyelmet fordítanak. Az eddigi rossz tapasztalatok azt mutatják, hogy ezen a területen az üzemeltetőknek feltétlenül előbbre kell lépni.

A környezetvédelmi gyakorlatban a toxicitás mérési módszereknek se szeri, se száma. A szennyvíztisztítás gyakorlatában, azonban a toxicitás mérés céljára az u.n. öko-toxicológiai módszerek (Daphnia, hal, alga, világító baktériumok, Ames-teszt stb.) nem jöhetnek számításba. A gyakorlatban elsősorban gyors, egyszerű és nem költséges műszeres vagy egyéb biokémiai módszerek alkalmazása jöhet szóba. Ismeretes, hogy az eleveniszap oxigénfogyasztási sebessége arányos a szubsztrát lebontási sebességgel. Az ISO szabványok által javasolt mérési módszerek a fenti elvnek megfelelően az oxigén légzési görbék értékelésén alapulnak. Ma már ezen a területen alkalmazott ISO szabványokat hazánk is átvette, ezért a jövőben a biológiai egység ellenőrzésére ezeket az MSZ ISO szabványokat kell alkalmazni. Az alábbiakban ezeket a szabványos mérési módokat és ezek alkalmazását az üzemeltetési gyakorlat szempontjából értékeljük.

A szennyvíztelepek biológiai tisztítási hatásfoka bizonyos ipari eredetű anyagok hatására jelentősen lecsökkenhet. Az ipari szennyvizek az eleveniszap légzését, azaz biológiai aktivitást részlegesen vagy teljes mértékben gátolhatják. Ez a tény indokolja, hogy olyan mérési módszert alkalmazzunk, amellyel az eleveniszapos rendszer biológia aktivitását mérni és az ipari eredetű szennyvizek anyagok toxikus hatását, számszerűsíteni tudjuk. A toxicitás mérés kiterjedhet:

- A szerves-anyagok (szén-vegyületek) lebontását gátló hatás meghatározására
- A nitrifikáció és a denitrifikáció gátlásának meghatározására.

2.1.1 Toxicitás vizsgálat az eleveniszap oxigénfogyasztás – gátlás mérése alapján

Az eleveniszap megfelelő, könnyen lebontható anyag (műszennyvíz, kommunális szennyvíz) jelenlétében gyorsan fogyasztja az oxigént, ekkor az oxigénfogyasztás gyakorlatilag a mikroorganizmusok számától függ. A vizsgált mintának mérgező koncentrációban az eleveniszap szuszpenzióhoz történő hozzáadása után a vonatkoztatási szubsztrát (műszennyvíz vagy kommunális szennyvíz) mellett mért légzési sebesség (mg/l óra) csökken. Az oxigénfogyasztást oxigénelektróddal mérjük és ezt a változást, regisztráljuk. A toxicitást, azaz az oxigénfogyasztás (lebontási sebesség) gátlásának %-os mértékét a vizsgált anyag koncentrációjában adjuk meg.

A szennyvizeknek az eleveniszapos biológiai rendszerre kifejtett toxicitását az eleveniszap oxigénfogyasztás – gátlásának mérése alapján határozzuk meg (MSZ EN ISO 8192). Ez a szabvány módszert ír le az anyagok, anyagkeverékek vagy szennyvizek eleveniszappal szembeni potenciális mérgező- hatásának értékelésére. Az eleveniszap megfelelő, könnyen lebontható anyag (műszennyvíz, kommunális szennyvíz) jelenlétében gyorsan fogyasztja az oxigént, ekkor az oxigénfogyasztás gyakorlatilag a mikroorganizmusok számától függ. A vizsgált mintának mérgező koncentrációban - az eleveniszap szuszpenzióhoz - történő

hozzáadása után a vonatkozási szubsztrát (műszennyvíz vagy kommunális szennyvíz) lebontási sebessége csökken. A mért oxigénfogyasztási sebesség (mg/l óra) értékekből számíthatjuk, az ún. oxigén-fogyasztási gátlást (I), amit % -ban fejeznek ki. A toxicitást, vagyis az oxigénfogyasztás (lebontási sebesség) gátlásának % -os mértékét a vizsgált anyag koncentrációjában adjuk meg. Számítást az alábbi összefüggés alapján lehet elvégezni:

$$I = \frac{R_B - (R_T - R_{PC})}{R_B} \times 100 \quad (1)$$

ahol:

- R_T a vizsgálati keverék (eleveniszap + vonatkozási szubsztrát + tesztanyag) oxigén-fogyasztási sebessége (mg/l óra)
- R_B a vakpróba keverék (eleveniszap + vonatkozási szubsztrát) oxigén-fogyasztási sebessége (mg/l óra)
- R_{PC} az ellenőrző keverék (alkalmazott vegyszerek) oxigén-fogyasztási sebessége (mg/l óra)

Általában a toxicitás vizsgálatok hatásmechanizmusa az anyag (ágens) és a biológiai rendszer (receptor) közötti egymásra hatáson alapszik. A vizsgálandó anyag károsító hatása a biológiai érzékelő (receptor) rendszerrel jelentkezik (vagy nem) és a biológiai rendszer válaszából (mérési jel) következtetünk az anyag toxikus hatására. Az EC 50 érték alatt a vizsgálandó anyagnak azt, koncentrációját értjük, amelynél a szubsztrát lebontási sebessége a vakpróba értéknek 50 %-a.

2.1.2 Toxicitás mérés lebontási-sebesség mérése alapján

Az **MSZ EN ISO 8192** szabvány alapján felvett légzésgörbéből a biológiai lebontási sebesség vagy aktivitás értékét is meghatározhatjuk. Az eleveniszap lebontási sebességének mérésével nyomon követhetjük az eleveniszap aktivitását, azaz 1 kg eleveniszap időegység alatt mennyi szennyvíz KOI-t képes lebontani (lebontott kgKOI/kg_{iszap} óra). Ennek alapján meghatározhatjuk a biológiai egység KOI lebontó kapacitását vagy teljesítő képességét. A szennyvíztelepeken az egyes biológiai tisztítósorokban a biológiai aktivitás változik ennek oka, lehet, pl. a különböző terhelés, különböző oxigén koncentráció, állandóan változó koncentrációban érkező ipari szennyvizek inhibíciós hatása. Ez a tény jelzi, hogy a tisztító sorok aktivitás változását az üzemeltetőnek ajánlatos nyomon követni. A rendszeres aktivitás mérések birtokában az üzemeltető el tudja dönteni, hogy milyen aktivitási érték tartományában biztosítható a zavartalan üzemelés.

A lebontási sebesség mérésével a szennyvizek biológiai bonthatóságára és egyúttal azok toxikus hatására is következtethetünk. A két mérési módszer elve nem különbözik egymástól, csak az értékelés módjában van eltérés.

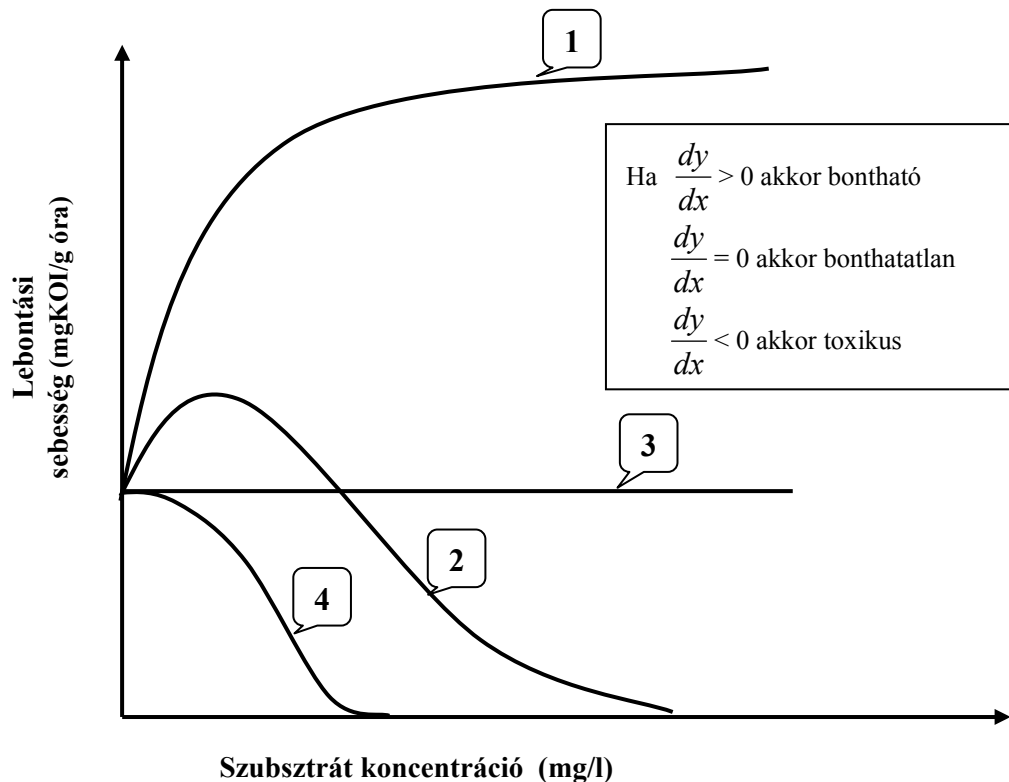
Az **MSZ EN ISO 8192** szabvány alapján felvett légzésgörbéből a biológiai lebontási sebesség értékét is meghatározhatjuk. Az aktivitás-mérésnél a vizsgálandó eleveniszap mintához ismert mennyiségű és minőségű szubsztrátot (Na-acetát, műszennyvíz, kommunális szennyvíz) adunk, ennek következtében a légzésgörbe - a szubsztrátlégzés miatt - először esik, majd amikor a baktériumok a szubsztrátot lebontották, egy hirtelen töréssel emelkedni kezd. A légzésgörbe töréséig eltelt időből, a beadagolt szubsztrát mennyiségéből és az eleveniszap koncentrációjából a fajlagos lebontási aktivitás értékét (mgKOIg⁻¹óra⁻¹) számíthatjuk.

A lebontási sebesség és a szubsztrát koncentráció közötti elvi összefüggést *1. ábra* mutatja be. Az 1. jelű görbe alapján a kicsiny tápanyagkínálat esetén a lebontási sebesség a tápanyag koncentrációval arányos (első-rendű reakció), ha pedig nagy a tápanyag koncentráció, akkor a

lebontási sebesség a tápanyag koncentrációtól független (zérus-rendű reakció). A bontható, de mérgező hatású szubsztrátok esetében a lebontás egy maximum görbét mutat, ami azt jelenti, hogy egy bizonyos koncentráció érték elérése után a mérgezés olyan mértékűvé válik, amely a további lebontást akadályozza (2. görbe). Biológiailag bonthatatlan szubsztrátoknál a lebontási sebesség a szubsztrát koncentráció növelésének hatására nem változik (3. görbe). Az erősen mérgező anyagok esetében a lebontási sebesség gyorsan csökken, majd a koncentráció növelésével a sebesség nullára csökken (4. görbe).

Az 1. ábra alapján az alábbi alap-eseteket különböztethetjük meg:

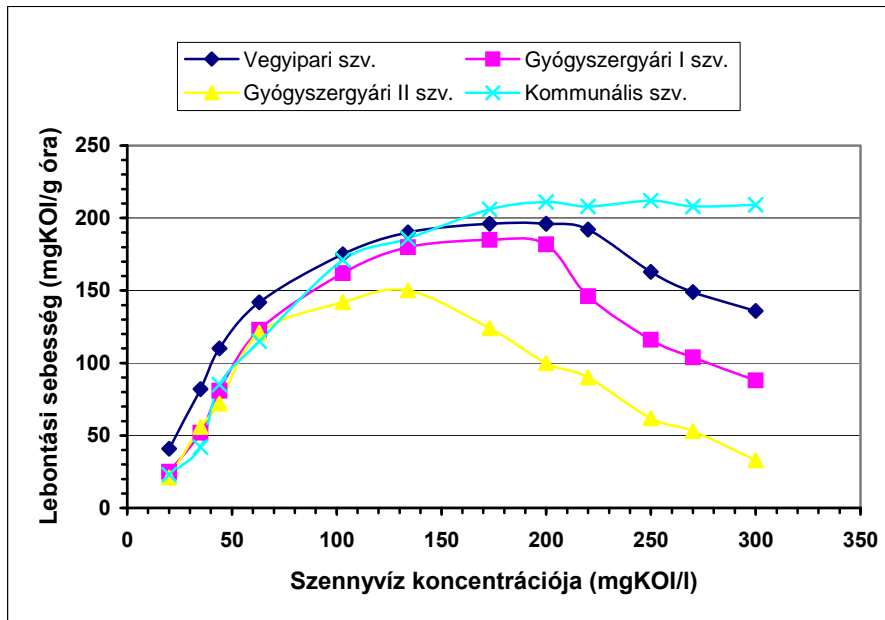
1. Kicsiny szubsztrát koncentráció értékeknél nincs gátlás, nagyobb koncentrációnál lehetséges a gátlás. Ez az összefüggés érvényes minden biológiailag jól bontható anyagra.
2. Kicsiny koncentrációnál nincs gátlás. A lebontás egy maximum görbét ír le, ami azt jelenti, hogy koncentráció elérése után a mérgezés olyan mértékűvé válik, mely a további lebontást megakadályozza.
3. A szubsztrát bonthatatlan.
4. Kicsiny koncentrációban indifferens (bonthatatlan) anyag, nagyobb koncentrációban pedig toxikus.



1. ábra A lebontási sebesség és a szubsztrát koncentráció elvi összefüggése

Az FCSM Rt szennyvíz vizsgáló laboratóriumában az ipari szennyvizek biológiai bonthatóság vizsgálatánál ezt a módszert alkalmazzuk. A 2. ábrán néhány ipari eredetű szennyvíz toxicitási görbéjét mutatjuk be. A kommunális szennyvíz esetében a lebontási sebesség és tápanyag koncentráció kapcsolata követi a klasszikus Monod összefüggést. Ez azt jelenti, hogy kisebb szennyvíz koncentráció (<180 mgKOI/l) esetében a lebontási sebesség arányos a koncentrációval, majd a tápanyag koncentráció (> 200 mgKOI/l) növelésével a lebontási

sebesség eléri a maximális értéket (~ 205 mgKOI/g óra) és ezt követően a szubsztrát koncentráció további növelésével a lebontási sebesség már nem növekszik.

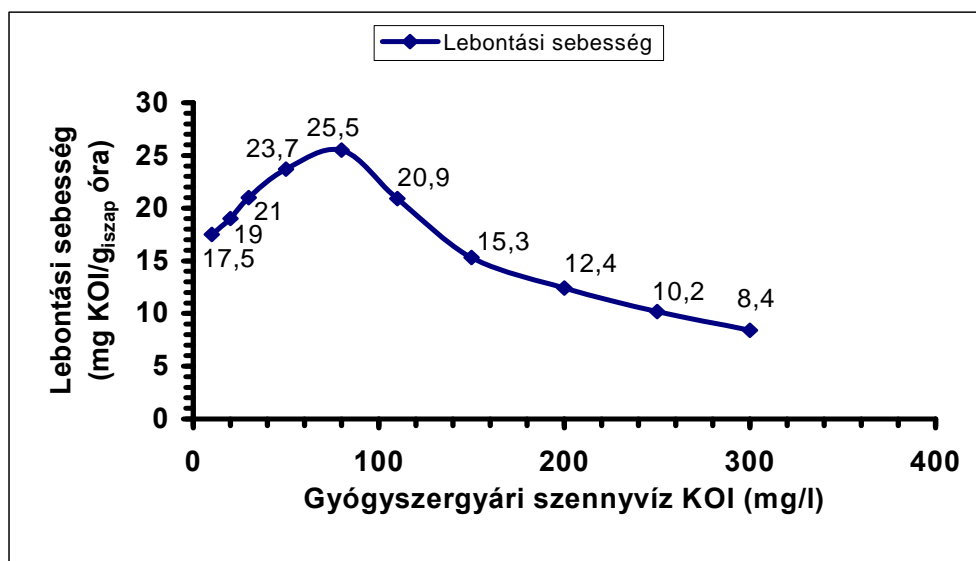


2. ábra Néhány ipari eredetű szennyvíz toxicitási görbéje (Oláh; Szutrély; FCSMRt., 1996)

A gyógyszerügyi I-II és vegyipari szennyvizek görbéi 200, 140 és 220 mg KOI/l koncentrációknál maximumot mutatnak, vagyis ezeknél a koncentráció értékeknél a lebontási sebesség eléri a maximumot és a szennyvíz koncentráció további növekedésével a lebontási sebesség, már csökken (ellentétben a kommunális szennyvízzel). Az eleveniszapos rendszerben a görbe maximumához tartozó koncentrációnál jelentkezik a szennyvíz toxikus hatása.

A 3. ábra az oxigénmérővel történő toxicitás vizsgálat eredményét mutatja be. A lebontási sebességet a kommunális szennyvízhez adagolt gyógyszerügyi szennyvíz KOI-jának függvényében ábrázoltuk. A vizsgált kommunális szennyvíz eleveniszap keverék iszap koncentrációja 3,2 g/l, KOI értéke pedig 480 mg/l volt. Az ábra alapján megállapíthatjuk, hogy kb. 80 mg KOI /l gyógyszerügyi szennyvíz beadagolásig a lebontási sebesség nő, majd ezt követően csökken. A gyógyszerügyi szennyvíz beadagolását tovább növelve a lebontási sebesség csökken. Megállapítható, hogy ha a kommunális szennyvíz és gyógyszerügyi szennyvíz-keverékben (480 + 80 mg/l KOI) a gyógyszerügyi szennyvíz mennyisége 80 mg/l KOI érték fölé nő úgy a szennyvíz-keverék biológiai bonthatósága jelentősen romlik. Meg kell említeni, hogy a gyógyszerügyi szennyvíz toxikus hatása nemcsak a beadagolt szennyvíz mennyiségnek, hanem a rendszerben fenntartott iszap koncentrációnak is függvénye. A

fentiek alapján látható, hogy a vizsgált gyógyszergyári szennyvíz erősen toxikus hatású és az eleveniszap lebontási aktivitását jelentősen csökkenti.



3. ábra Kommunális szennyvíz lebontási sebességének változása gyógyszergyári szennyvíz adagolása esetében (Oláh; Rása; FCSMRt., 1998)

2.1.3 Légzési sebesség mérése

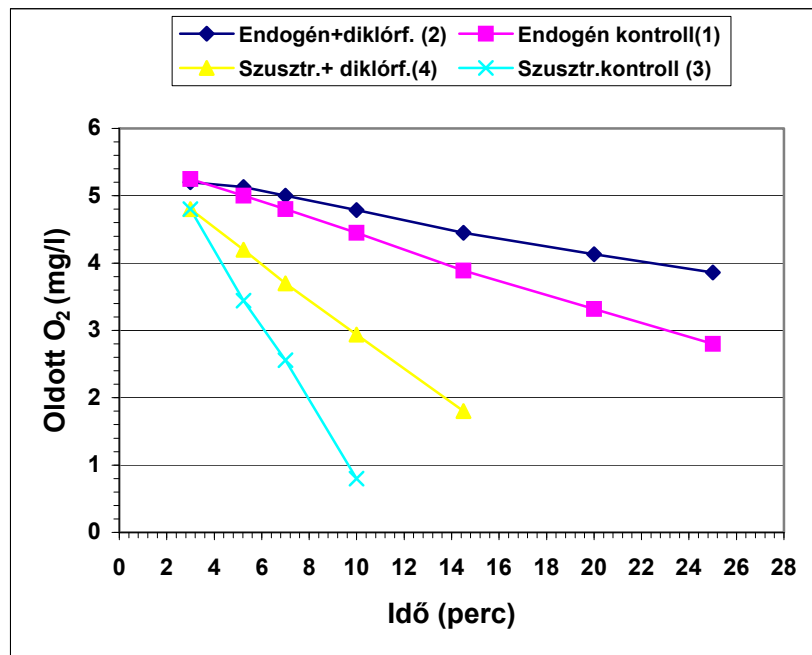
Az eleveniszap légzése az endogén (saját) és a szubsztrát (tápanyag) légzésből adódik össze. A szubsztrát légzést a külső szubsztrát jelenlétében mért összes légzésből és a szubsztrát távollétében mért endogén légzés különbségeként határozzák meg. Légzésmérést a szennyvizes gyakorlatban már nagyon régóta alkalmaznak. *Sekulov, I. – Bardtke, D. (1970)* vizsgálatai szerint az endogén légzés arányos a biológiai aktivitással. *Pagga (1981)* vizsgálatai szerint a légzés aktivitás arányos a biológiai aktivitással és a légzés-változással nyomon követhető a toxikus anyagoknak az eleveniszap kifejtett hatása. *Huang és Meng-dawn Cheng (1984)* kapcsolatot talált az oxigén felvételi sebesség, a biológiai aktivitás és az elfolyó víz oldott KOI koncentrációja között. A méréseik szerint a tranziens viszonyok között a légzési sebesség ismeretében az elfolyó víz oldott KOI értékét előre lehetett jelezni. *Huang és m.társai (1985)* megállapították, hogy az oxigén felvételi sebesség (légzés) arányos az eleveniszap biológiai aktivitásával. *Farkas (1981)* légzésmérésen alapuló aktivitás és gyors BOI mérési módszert fejlesztett ki, melyet eredményesen használt az eleveniszapos rendszerek ellenőrzésére. A légzésmérés szennyvizes gyakorlati alkalmazását *Roš, (1993)* részletesen tárgyalja. *Suescun és m.társai (1998)* fél-üzemi modellben az oldott oxigén mérésével egy időben a légzési sebességet és K_{La} értékét is mérték. Az adatokat matematikai modell segítségével, számítógéppel értékelték, és ennek alapján szabályozták a levegőztetést. *Schmid (2000)* szerint a kevert eleveniszapos kultúráknál a légzés értéke a biológiai aktivitással arányos. A légzésmérési görbék értékelése alapján a szerves-anyagoknak a lebontásra gyakorolt inhibíciós hatása jól jellemezhető.

A légzésre (R) felírható az alábbi egyszerű összefüggés:

$$R = R_s + R_e \quad (2)$$

ahol R_e az endogén-légzés, R_s pedig a szubsztrát-légzés.

A légzés értékeket vonatkoztathatjuk az eleveniszap egységnyi lebegőanyag vagy szerves lebegőanyag tömegére ($\text{mgO}_2/\text{g}_{\text{szervesa.óra}}$) is. Ekkor a fajlagos légzés értékeket kapjuk meg, melyek jellemzőek az eleveniszap aktivitására, oxigén fogyasztására és szubsztrát lebontó képességére. Az oxigén mérő kalibrálása után az endogén légzést „átmosott” és fellevegőztetett eleveniszap mintából állandó keverés mellett az oxigén fogyás időbeni rögzítésével végezzük. A légzési görbe egyenes, majd az egyenes tangensének számításával meghatározzuk a térfogat egységre számított légzést ($\text{mgO}_2/\text{l óra}$). A fajlagos légzést a mérésnél felhasznált iszap minta lebegőanyag vagy szerves lebegőanyag koncentrációjára vonatkoztatjuk. A szubsztrát légzést az endogén légzés mérés elvégzése után a fentiekhez hasonlóan szubsztrát hozzáadása mellett végezzük el. Toxikus vagy egyéb tesztanyagok jelenlétében is elvégezhetjük a légzésméréseket. Ha a szubsztrát mellé egyéb teszt anyagot is adagolunk akkor kimérhetjük, hogy a tesztanyag milyen koncentrációban kezdi gátolni az endogén vagy a szubsztrát légzést. A légzés mérések részletes leírását és ismertetését az „Egységes Vívizsgálati Módszerek, VITUKI, Budapest, 1979” tartalmazza. A 2,4-diklórfenol adagolás hatására bekövetkező légzésváltozásokat 4. ábrán mutatjuk be



4. ábra Az endogén és a szubsztrát légzés változása 2,4-diklór-fenol adagolás hatására (Oláh; Rása; FCSMRt., 2002)

A légzés értékeket az ábrán bemutatott egyenesek irány tangensei adják meg. Az É-Pesti szennyvíztelepről származó 1 g/l koncentrációjú eleveniszaphoz 10 mg/l 2,4-diklór-fenolt adagoltunk és vizsgáltuk az eleveniszapnak az endogén és a saját szennyvizére vonatkozó szubsztrát légzését. A di-klórfenol beadagolását követően a kontroll endogén légzés értéke 6,6 $\text{mgO}_2/\text{g óra}$ értékről 4,3-ra csökkent (35 %-os csökkenés). A di-klórfenol adagolás hatására a szubsztrát légzés 36,4 $\text{mgO}_2/\text{g óra}$ értékről 16,6 értékre csökkent (54 %). A

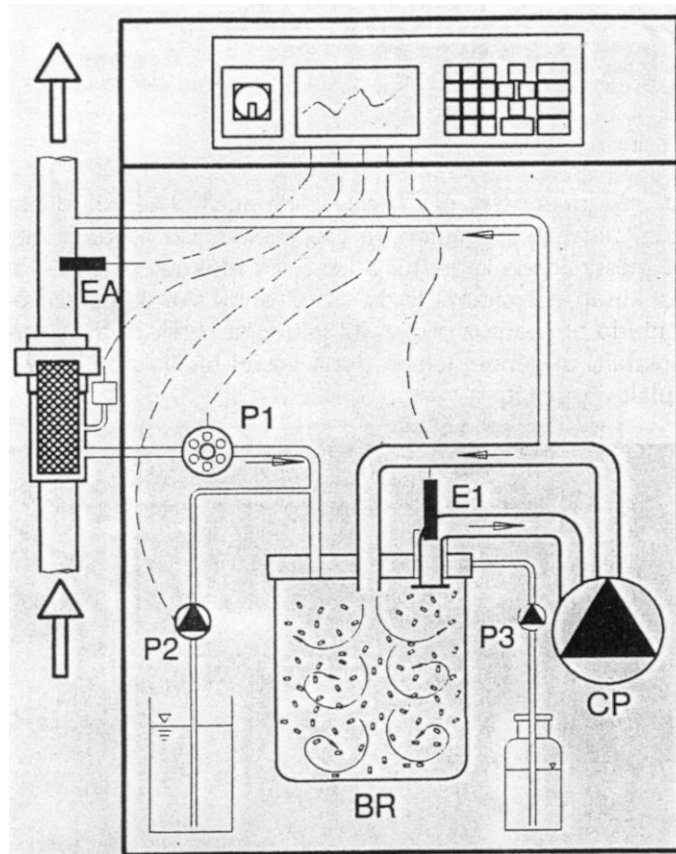
bemutatott példa jól szemlélteti, hogy toxicitás meghatározására a légzésméréseket is jól lehet használni.

2.1.4 Folyamatos toxicitás-ellenőrzés

A toxicitás – mint a víz minőségét jellemző fontos paraméter – folyamatos ellenőrzését általában egy bioreaktorban állandó körülmények között tenyésztett tiszta biokultúra életfunkcióinak folyamatos mérésével oldják meg. Az egyik módszer szerint a reaktorban tenyésztett kultúra biolumineszcenciáját, míg a másik eljárás során a baktérium kultúra oxigénfogyasztását mérik. Az első esetben általában a *Phtob. Phosphoreum*, míg a másodikban *Pseudomonas putida* törzset tenyésztik. A „STIPTOX-norm” típusú készülék tipikus képviselője a folyamatos toxicitás mérő műszereknek. A műszer a bioreaktorban állandó körülmények között tenyésztett immobilizált biomassza oxigénfogyasztását méri.

A vizsgált vízminta oxigénnel telített tiszta vízzel hígítva lép a bioreaktorba. A vízminta toxicitása a biomassza életfunkcióit gátolja, így az oxigénfogyasztást csökkenti. Amennyiben erősen toxikus minta esetében az oxigénfogyasztás egy előre beállított határérték alá csökken, a számítógép - állandó értéken tartva az összes betáplált vízmennyiséget – a hígító-víz arányát növeli, a toxikus minta arányát csökkenti, ezzel védve a reaktorban lévő kultúrát. A készülék a toxicitás csökkenésével automatikusan az eredetileg beállított kezdő hígításra áll vissza.

A műszer elvi felépítését az **5. ábra** mutatja be.



5. ábra STIPTOX – norm típusú toxicitás-mérő műszer elvi felépítése

A vizsgált vízminta folyamatosan áramlik a készülék oldalán lévő megkerülő vezetéken keresztül. Ebből a víz-áramból a P1 jelzésű perisztaltikus pumpa állandó ellenőrzött térfogatárammal juttatja a vizsgált mintát a BR jelű bioreaktorba. A minta ultraszűrésére nincs szükség, mindössze egy korrózióálló acéلبól készült durva szűrő található a mintavevő csomak

előtt. Ezt a szűrőt egy mágnes-szelepen keresztül a készülék időszakonként automatikusan ellenáramú tisztavízzel öblíti. A P2 jelű fogaskerék-szivattyú termosztált, oxigénnel telített tiszta vízzel hígítja a reaktorba táplált víz mintát. A termosztált bioreaktorban hordozóanyagra telepített baktérium kultúra található. A biomassza oxigénigényét az oxigénnel telített hígítóvíz, míg tápanyagigényét a P3 jelű perisztaltikus pumpával betáplált tápoldat elégíti ki. A bioreaktor tartalmát a CP jelzésű centrifugál szivattyú intenzíven, keveri. Az oldott oxigén koncentrációját az E1 oxigén szonda méri.

Folyamatos toxicitás-ellenőrzésnek csak ott van jelentősége, ahol a befolyó szennyvíz koncentrációja, minősége és mennyisége nagymértékben változik. Az ilyen mértékű változások szélsőséges esetnek számítanak. Az ilyen tranziens terhelési változásokkal a tisztítótelep teljes lemergeződése, bekövetkezhet. Mivel a fentiekben ismertetett eset nagyon ritkán fordulnak elő, ezért a folyamatos toxicitás mérésel szennyvíztelepen csak nagyon ritkán kell számolni (Zsilák–Tóth, 2000).

2.1.5 Nitrifikáció gátlásának meghatározása

Ismeretes, hogy a nitrifikációs folyamat toxikus anyagokra (nehéz fémek, ipari eredetű szerves-anyagok) érzékeny. Az említett anyagok jelenlétében a nitrifikáció nem megy teljesen végbe, holott az üzemi paraméterek (tartózkodási idő, iszapkor, iszap koncentráció, oxigén ellátás) a szokásos nitrifikációs viszonyoknak messzemenően megfelelnek. Ilyen esetekben egyértelmű, hogy a folyamat toxikus gátlásával állunk szemben. Az eleveniszapos tisztítási gyakorlatban megfigyelték, hogy gyakran a szerves vegyületek KOI és BOI csökkenéssel jellemezhető lebontása (szén-vegyületek lebontása) tökéletesen végbemegy, míg a nitrifikáció folyamata azonban gátolt.

A fentiek értelmében, ha az eleveniszapnál légzés gátlást tapasztalunk úgy a nitrifikáció gátlásával is, számolhatunk. Bizonyos esetekben előfordulhat, hogy nincs számottevő légzés gátlás, de a nitrifikáció mégsem megy végbe. Ilyen esetekben a nitrifikációs gátlást kell meghatározni. Egy adott teszt vegyület vagy szennyvíz nitrifikációs gátlását az MSZ EN ISO 9509 szabvány alapján célszerű elvégezni. A meghatározás elve: kommunális szennyvizet tisztító nitrifikációs, szennyvíz telepről származó eleveniszaphoz tápanyagot, tesztanyagot adunk, majd 4 órán keresztül levegőztetjük. A levegőztetés befejezése után mérjük a nitrát-nitrogént. A teszt vizsgálat körülményeivel azonos módon vak-próbát és ismert gátlóanyag (allil-tiokarbamid) felhasználásával készült próbát is el kell végezni. A vizsgálatok alapján a %-ban kifejezett gátlást (I) az alábbi összefüggéssel számítjuk:

$$I = \frac{C_c - C_t}{C_c - C_b} \cdot 100 \quad (3)$$

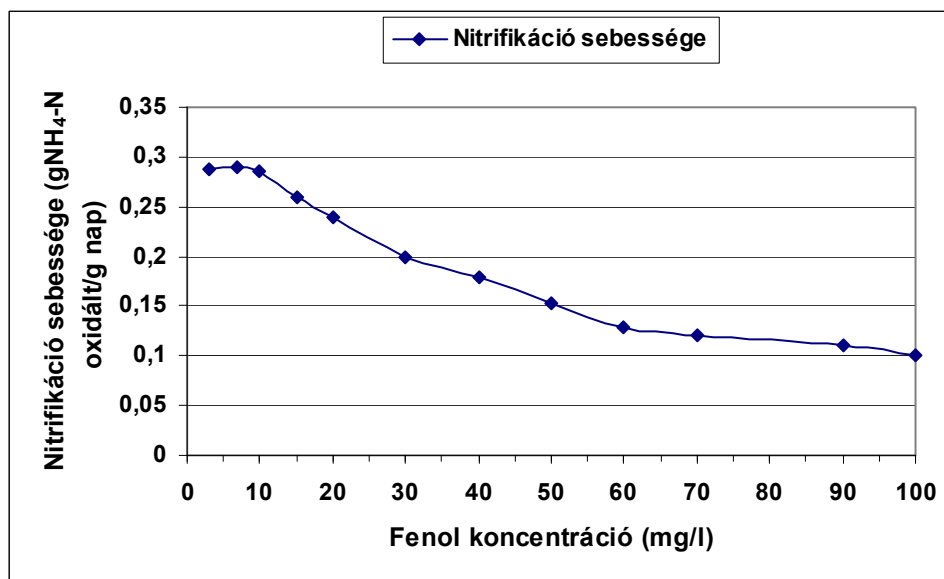
Ahol C_c - az oxidált nitrogénvegyületek (N-ben) a vakpróba-elegyben, inhibitor nélkül, az inkubáció után (mg/l)

C_t - az oxidált nitrogénvegyületek (N-ben) a teszt-elegyben, az inkubáció után (mg/l)

C_b - az oxidált nitrogénvegyületek (N-ben) az inhibitor-tartalmú (allil-tiokarbamid) referencia-elegyben, az inkubáció után (mg/l)

Fenolnak a nitrifikációra kifejtett hatását a 6. ábra mutatja be. A D-Pesti szennyvíztelep nitrifikációs szűrőjéről levett oltó iszaphoz 100 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ ammóniát adagoltunk és mértük az ammónia eltávolítási sebességet, majd ezt követően kezdtük el a fenolt adagolni és a beadagolás után nitrifikációs sebességet mértünk. Az ábra alapján látható, hogy a fenol kb. 30

mg/l koncentráció felett a nitrifikáció sebességét nagymértékben gátolja. Az ábra alapján megállapíthatjuk a kiindulási 0,37 gNH₄-N/g nap nitrifikációs sebesség kb. 40 mg/l fenol koncentráció esetében csökken a felére (EC50).



6. ábra A nitrifikációs sebesség változása a fenol adagolás hatására (Oláh; Szutrély, FCSMRt. 1996)

Az MSZ EN ISO 9509 szabvány felhasználásával viszonylag egyszerű módon az eleveniszap fajlagos nitrifikációs sebessége (N) is meghatározható. A fajlagos nitrifikációs sebességet (NO₃-N-ben kifejezve: mg/g óra) az alábbi összefüggéssel számítjuk:

$$N = \frac{C_t - C_b}{m_s \cdot 4} \quad (4)$$

Ahol C_t az oxidált nitrogén-vegyületek koncentrációja a tesztelegyben, inkubáció után, nitrogénben kifejezve (mg/l)

C_b az oxidált nitrogén-vegyületek koncentrációja az inhibitor tartalmú referenciaelegyben, inkubáció után, nitrogénben kifejezve (mg/l)

m_s az eleveniszap szárazanyag koncentrációja (g/l)

2.2 Biológiai bonthatósági vizsgálat

2.2.1 A tisztítási technológia lebontási folyamatának ellenőrzése

2.2.1.1 Szerves vegyületek biológiai bonthatóságának vizsgálata fél-folyamatos eleveniszapos módszerrel (SCAS módszer)

A módszert részletesen az MSZ EN ISO 9887: 1998 számú szabvány ismerteti. A meghatározás elve: naponta szennyvízzel (műszennyvízzel) és ismert koncentrációjú teszt (vizsgálandó) vegyülettel táplált eleveniszapot tartalmazó, fél-folyamatos szennyvíztisztító berendezés és a kontroll berendezés elfolyó vizének szerves szén (DOC) koncentrációját vagy oxigén fogyasztását (KOI) összehasonlítjuk. A kontroll berendezésbe csak szennyvizet vagy műszennyvizet adagolunk. Az elfolyó szennyvizek DOC vagy KOI koncentrációi közötti

különbséget a maradék teszt anyag (vizsgálandó) veszi fel. A százalékos lebomlást, illetve az eliminációt ebből a különbségből és a teszt anyag koncentrációjából (DOC; KOI) számítjuk ki. Aerob viszonyok (állandó levegőztetés) mellett a nagy mikroorganizmus koncentrációt (a vizsgálat megkezdésekor 1 – 4 g/l eleveniszap) alkalmazzunk. A szennyvíz tartózkodási ideje 36 óra, de a technológiai igényeknek megfelelően kisebb tartózkodási időket is be lehet állítani. A teszt vegyület bonthatóságát (D_d) oldott fázis szerves-szén (DOC) vagy KOI tartalmának százalékos csökkenésében az alábbi összefüggéssel fejezzük ki:

$$D_d = \left(\frac{p_0 - (p_t - p_{Bt})}{p_0} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

D_d a naponta adagolt teszt anyag %-os csökkenése DOC -ben vagy KOI -ban kifejezve

p_0 a teszt vegyület kiindulási DOC vagy KOI koncentrációja (mg/l)

p_t a teszt vegyület DOC vagy KOI koncentrációja a levegőztetési periódus végén(mg/l)

p_{Bt} a teszt vegyület DOC vagy KOI koncentrációja a levegőztetési periódus végén a kontroll edényben (mg/l)

Az *MSZ EN ISO 9887* szabvány a teszt vegyület biológiai bonthatóságának meghatározásával egy időben lehetőséget biztosít a teszt vegyület maradék („bonthatatlan”) DOC vagy KOI értékének meghatározására is. A maradék DOC vagy KOI értékét a $p_t - p_{Bt}$ (4. összefüggés) különbség adja meg.

2.2.1.2 Rosszul oldódó szerves vegyületek biológiai lebonthatóságának vizsgálata

A mérési módszert részletesen az *MSZ EN ISO 10634: 1995* számú szabvány ismerteti. A rosszul oldódó szerves vegyületek biológiai lebonthatóságának vizsgálatára nagyon ritkán van igény. A fenti *MSZ EN ISO 10634: 1995* számú szabvány kizárólag a minta vizsgálatra történő előkészítésével foglalkozik. A lebontási vizsgálatot az általunk választott szabványos módszerrel elvégezhetjük. A lebontási vizsgálat elvégzéséhez – az illékony vegyületek – miatt ajánlott az *MSZ EN 29 408* számú szabvány alkalmazása. Ez a szabvány zárt rendszerben az oxigénfogyasztást méri.

Bármelyik bonthatósági vizsgálat alkalmazása esetében a vízben rosszul oldódó szerves vegyületeket közvetlenül baktérium készítményhez nem lehet adagolni, ezért azokat elő kell készíteni. A bonthatósági teszt vizsgálatához az alábbi előkészítési módszereket alkalmazhatjuk:

- adszorpció inert hordozóanyagon,
- ultrahangos diszperzió készítése,
- diszperzió vagy emulzióképző anyag adagolása

Miután a rosszul oldódó anyagok biológiai bonthatóságával ritkán találkozunk, ezért az előkészítési módszerek részletes leírásától eltekintünk.

2.2.1.3 Biológiailag könnyen-bontható frakció (RBOI) meghatározása

A biológiailag könnyen-bontható frakció nyomon követésével a szennyvíz biológiai bonthatóságára lehet következtetni. Egy szennyvíz könnyen bontható frakcióját az RBOI méréssel lehet legegyszerűbben meghatározni. A szennyvizek biológiai bonthatóságának meghatározására az RBOI mérést régóta alkalmazzák a szennyvíz technológiában (*Riegler, 1984*). A mérés egyszerűsége és viszonylagos jó reprodukciója miatt napjainkban is sok helyen alkalmazzák (*Köhne és Schuhen, 1996; Borneman és Londong, 1999*).

A méréseredmények ismeretében számolható az RBOI/KOI arány. Az RBOI/KOI arány információt szolgáltat a szennyvíz biológiai bonthatóságáról és fonalas baktériumok

elszaporodásának esélyeiről. Az RBOI/KOI arány növekedésével nő a nyers szennyvíz könnyebben bontható frakciója és ezzel egy időben megnő a fonalas baktériumok elszaporodásának az esélye is. A fonalas baktériumok elszaporodása következtében a tisztított szennyvíz minősége ($KOI > 100 \text{ mg/L}$) jelentősen romlik. A jelentős vízminőség romlás azt jelenti, hogy a tisztított szennyvíz minőségét előíró határértéket nem lehet tartani, ennek következtében a szennyvíztelepnek bírsággal kell számolni.

Az RBOI/KOI arány alakulásának nyomon követésével az üzemeltető meghozhatja azokat az intézkedéseket (oxigénszint csökkentés, terhelés növelése stb.) amely segítségével a fonalas baktériumok elszaporodása gátolható vagy megakadályozható. Az RBOI/KOI arány meghatározása lehetőséget ad arra is, hogy a szennyvíz biológiai bonthatóságáról viszonylag gyors információt szerezzünk. Különösen jól alkalmazható a mérési módszer nagyobb szennyezettséggel bíró komplex (sok vegyületet tartalmazó) kommunális és ipari szennyvizek bonthatóságának vizsgálatára.

Amennyiben az RBOI/KOI értéke 0,5 -nél nagyobb, a szennyvíz biológiailag jól bontható, ha 0,05-nél kisebb akkor a szennyvíz gyakorlatilag bonthatatlan. Minél nagyobb ez az arányszám a szennyvíz biológiailag annál jobban bontható. Az arányszám tulajdonképpen azt fejezi ki, hogy a KOI-nak hányadrészét teszi ki az eleveniszapos rendszerben gyorsan lebontható BOI. Közbülső értékeknél a bonthatóság részleges.

A meghatározás elve

Az idő függvényében regisztrált oldott oxigén koncentrációt nevezzük "légzésgörbének" respirogramnak. Az RBOI mérésnél a vizsgálandó eleveniszap mintához ismert mennyiségű és minőségű szubsztrátot (Na-acetát, műszennyvíz, szennyvíz) adunk, ennek következtében a légzésgörbe - a szubsztrátlégzés miatt - először esik, majd amikor a baktériumok a szubsztrátot lebontották, egy hirtelen töréssel emelkedni kezd.

A vizsgált szennyvíz minta RBOI értékét a légzésgörbék alatti területből számíthatjuk ki.

Az RBOI/KOI arányt a felvett oxigén-légzési görbe területéből (RBOI) és a szennyvíz KOI értékéből számítjuk.

Az RBOI respirogram kiértékelése

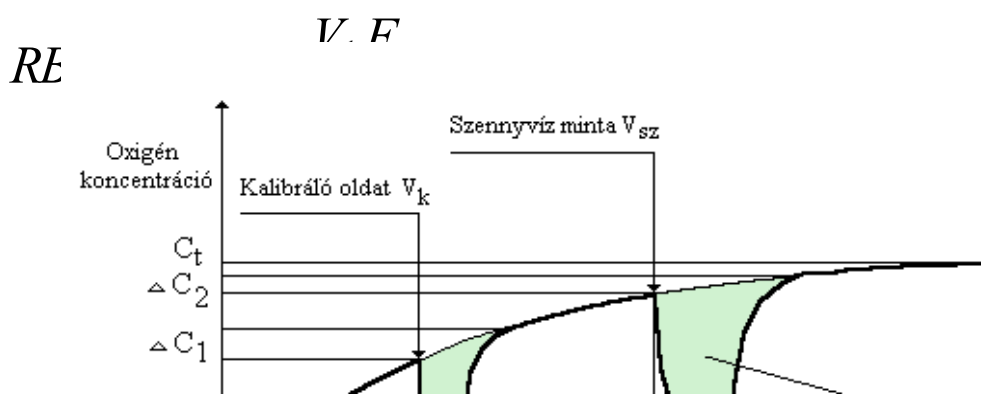
Az **7. ábra** két különböző bonthatóságú anyag légzés-görbét mutatja be.

Az RBOI-t mindig valamilyen szubsztrátra vonatkoztatjuk. Ez a szubsztrát a legtöbb esetben, Na-acetát. Az (1) Na-acetát, mint szubsztrát jól bontható, ezért kis Δt_1 bontási idő és kisebb légzésgörbe terület tartozik hozzá. A nehezebben bontható (2) szubsztráthoz nagyobb Δt_2 bontási idő és nagyobb légzés görbe terület rendelhető.

A vizsgált szennyvíz minta RBOI értékét a légzésgörbék területi viszonyából számíthatjuk ki.

Az RBOI mérésekor - az eleveniszaphoz adott szubsztrát lebontása során - a szubsztrátlégzést kell az idő szerint integrálni. A vizsgálandó anyag RBOI értéke arányos a légzésgörbe alatti területtel. Az RBOI kiszámításához egy ismert $RBOI_k$ kalibráló oldatból (Na-acetát) ismert V_k mennyiséget adunk a reaktorba és az F_k csúcs alatti területet regisztráljuk. Ezután V_{SZ} szennyvíz mennyiséget mérünk be a reaktorba és meghatározzuk a lebontás során kirajzolódó F_{SZ} csúcs alatti területet.

Fentiek alapján az RBOI-t a következő képlettel számítjuk:



7. ábra Az RBOI légzés görbék kiértékelése

Az RBOI/KOI arány meghatározása lehetőséget ad arra, hogy a szennyvíz biológiai bonthatóságáról költséges kísérletek elvégzése nélkül viszonylag gyors információt nyerjünk. A RBOI mérés gyakorlati kivitelezését részletesen tárgyalja az „*Egységes Vízvizsgálati Módszerek*” (1979) és Scheer (1995).

2.2.2 „Teljes” aerob biológiai lebonthatósági vizsgálat

Az u.n. „teljes” aerob biológiai lebonthatósági vizsgálatoknak (MSZ EN ISO 29408; 10707; 29439; ISO 9888) a szennyvizes gyakorlatban nincs akkora jelentősége, mint a reális technológiai viszonyok között végzett bonthatósági vizsgálatoknak. A reális technológiai viszonyok által biztosított lebontási idő (max. 1 - 2 nap) lényegesen kisebb, mint a teljes lebonthatósági módszerek által alkalmazott kezelési idő (28 nap). A teljes biológiai lebontás során a mikroorganizmusok a tesztvegyületet széndioxidra, vízzé bontják le és ezzel egy időben ásványi sók és új mikrobiális sejtalkotók (biomassza) keletkeznek. Ugyanakkor a tisztítási technológiában és az ezt modellező mérési folyamatokban olyan lebontási termékek (metabolit termék) is képződnek, amelyek nem bontódnak le széndioxidra és vízre, mint lehetséges végtermékekre. Ezek a bontási termékek a tisztított szennyvízzel a befogadóba távoznak.

A teljes biológiai lebontásnak más környezetvédelmi (pl. befogadók-öntisztulása és terhelhetősége) feladatok megoldásában van a nagy jelentősége. Ennek ellenére bizonyos esetekben (pl. újabb ipari szennyvizeknek a telepre történő bevezetése) szükséges lehet, hogy teljes vagy azt megközelítő lebonthatóság mértékét ismerjük.

2.2.2.1 Szerves vegyületek „teljes” lebonthatóságának meghatározása zárt respirométerben oxigénfogyasztás mérése alapján (MSZ EN ISO 29408)

A respirométer készülék működése azon alapszik, hogy zárt biológiai rendszerben a vizsgálandó oldaton állandó nyomáson átvezetett oxigén fogyasztásának sebességét mérjük. Az oxigén felhasználásának sebességét a készülék oly módon határozza meg, hogy elektrokémiai módszerrel az elfogyasztott oxigénnel ekvivalens mennyiségű oxigént fejleszt. A biológiai rendszer által felhasznált oxigén mennyiségét a respirométer számítógép egysége az elektrolízishez használt áram erősségéből és az elektrolízis idejéből számítja. A biológiai

lebontás során keletkező széndioxid megkötése a respirométerben nátriumhidroxid oldatban történik. A teszt feladat elvégzésére a legtöbb zártrendszerű respirométer alkalmas.

A lebontást 28 napig, vagy szükség esetében még tovább követjük a oxigénfogyasztás automatikus vagy manuális meghatározásával.

A lebomlást a biokémiai oxigénigénynek az elméleti oxigénigényre (EOI) vagy a kémiai oxigénigényre (KOI) vonatkoztatott hányadosaként határozzák meg:

$$D(\text{EOI})_t = \frac{\text{OI}}{\text{EOI}} \cdot 100 \quad (7)$$

$$D(\text{KOI})_t = \frac{\text{OI}}{\text{KOI}} \cdot 100 \quad (8)$$

ahol

$D(\text{EOI})_t$ az EOI százalékos lebomlási értéke t időpontban

$D(\text{KOI})_t$ a KOI százalékos lebomlási értéke t időpontban

EOI elméleti oxigénigény mg-ban a teszt vegyület 1 mg-jára vonatkoztatva. Ismert vegyületeknél a sztöchiometriai összefüggés alapján lehet számolni. Ismeretlen összetételű szennyvizeknél csak mérés alapján lehet meghatározni

KOI kísérletileg meghatározott kémiai oxigénigény mg-ban a teszt vegyület 1 mg-jára vonatkoztatva
OI oxigénigény mg-ban a teszt vegyület 1 mg-jára vonatkoztatva

Az oldott szerves szén (DOC) meghatározása esetében (esetenként a teszt kezdetén és végén) a tesztvegyület biológiai lebomlását a DOC- eltávolítás százalékában számítjuk ki a következő egyenlet szerint:

$$D_t = \left[1 - \frac{\rho(\text{DOC})_t - \rho(\text{DOC})_{\text{BI},t}}{\rho(\text{DOC})_0 - \rho(\text{DOC})_{\text{BI},0}} \right] \cdot 100 \quad (9)$$

ahol

D_t a lebomlás mértéke az eltávolított DOC százalékában kifejezve (a teszt végén)

$\rho(\text{DOC})_0$ a tesztközeg mért vagy számított kezdeti DOC koncentrációja (mgDOC/l)

$\rho(\text{DOC})_t$ a tesztközeg DOC koncentrációja a teszt végén (mgDOC/l)

$\rho(\text{DOC})_{\text{BI},t}$ a vakpróba DOC koncentrációja a teszt végén (mgDOC/l)

$\rho(\text{DOC})_{\text{BI},0}$ a vakpróba kezdeti DOC koncentrációja (mgDOC/l)

Ha $\rho(\text{DOC})_0$ értékét a törzsoldatból számoljuk ki, akkor $\rho(\text{DOC})_{\text{BI},0}$ értéke elhanyagolható

2.2.2.2 Szerves vegyületek „teljes” lebonthatóságának meghatározása biokémiai oxigénigény mérése alapján (MSZ EN ISO 10707)

A módszer elve, hogy a szerves tesztvegyületet vagy ismeretlen összetételű szennyvizet, mint egyetlen szén-és energiaforrást, ásványi sókat tartalmazó közegben viszonylag kisszámú mikroorganizmussal oltjuk be. Az oltó-anyag kevert populációból származik. A vizsgálandó vegyület oldatát teljesen megtöltött lezárt palackokban, sötét helyen állandó hőmérsékleten (20 – 25 °C - on) inkubáljuk. A biológiai lebomlást az oldott oxigén 28 napon át tartó meghatározásával követjük.

A tesztvegyület által elfogyasztott oxigén mennyiségét (BOI), az oltóanyaggal végzett vakpróbával veszünk figyelembe és a mért oxigén-fogyasztással korrigáljuk, majd az elméleti oxigénigény vagy a KOI százalékában fejezzük ki.

A fentiekben ismertetett leírás az u.n. teljes BOI meghatározással egyenértékű, ez a mérés a szennyvizes gyakorlatból jól ismert.

A százalékos biológiai lebontást kiszámíthatjuk, ha a fajlagos BOI-t elosztjuk az elméleti oxigén igénnyel (TOI). Ha ismeretlen összetételű szennyvizet vizsgálunk TOI nem határozható meg, akkor használjuk a mért KOI értéket.

$$D_t = \frac{(\rho_0 - \rho_{0,t}) - (\rho_{0,b} - \rho_{0,t,b})}{TOI \cdot \rho_c} \quad (10)$$

ahol

D_t a tesztvegyület százalékos biológiai lebontása t időpontban

ρ_0 a tesztpalackok oxigénkoncentrációja 0 időpontban (mg/l)

$\rho_{0,t}$ a tesztpalackok oxigénkoncentrációja t időpontban (mg/l)

$\rho_{0,b}$ a vakpróba palackok átlagos oxigénkoncentrációja 0 időpontban (mg/l)

$\rho_{0,t,b}$ a vakpróba palackok átlagos oxigénkoncentrációja t időpontban (mg/l)

TOI a tesztvegyület elméleti oxigénigénye a tesztvegyületben megadva (mg/mg)

ρ_c a tesztvegyület koncentrációja tesztpalackokban (mg/l)

2.2.2.3 Szerves vegyületek „teljes” lebonthatóságának meghatározása felszabadult széndioxid mérés alapján (MSZ EN 29439)

A módszer elve, hogy a szerves tesztvegyületnek, vagy ismeretlen összetételű szennyvíznek – mint egyetlen szén-és energiaforrás – ásványi sókat tartalmazó közegben készített oldatát viszonylag kisszámú mikroorganizmussal oltjuk be. Az oltó-anyag kevert baktérium populációból származik. A teszt és a kontroll anyagot egy zárt edénybe helyezük, amelyen keresztül az inkubációs időnek (28 nap általában) megfelelően széndioxid mentes levegőt fűvünk át. A vizsgálandó vegyület oldatát zárt edényekben, szórt fényben állandó hőmérsékleten (20 – 25 °C) inkubáljuk. A biológiai lebomlás szintjét indirekt módon, a teszt időtartama alatt felszabaduló széndioxid mérésével határozzuk meg. A biológiai reakció folyamán felszabadult széndioxidot széndioxid-analizátorral vagy lúgban történő felfogás után titrimetrikusan mérjük.

A mg-ban kifejezett elméleti széndioxid mennyiségét (ECO_2) a következő összefüggéssel számítjuk:

$$ECO_2 = C \cdot V \cdot \frac{44}{12} \quad (11)$$

ahol

C a tesztvegyület koncentrációja a tesztoldatban, mérés alapján szerves szénben kifejezve (mg/l)

V a tesztoldat térfogata (l)

Lebontási százalékot (D_t) az alábbi összefüggéssel számíthatjuk:

$$D_t = \frac{(CO_2)_T - (CO_2)_B}{ECO_2} \cdot 100 \quad (12)$$

ahol

$(CO_2)_T$ a teszt edényben a teszt megkezdésétől a t időpontig felszabadult összes széndioxid mennyiségének átlaga (mg)

$(CO_2)_B$ a vakpróba edényben teszt megkezdésétől a t időpontig felszabadult összes széndioxid mennyiségének átlaga (mg)

ECO_2 az elméleti széndioxid mennyisége (mg)

2.2.2.4 Szerves vegyületek „teljes” lebonthatóságának meghatározása Zhan-Wellens teszt alapján (EN ISO 9888)

A módszer elve, hogy a szerves tesztvegyületnek, vagy ismeretlen összetételű szennyvíznek – mint egyetlen szén-és energiaforrás – az oldatát ásványi sókat tartalmazó közegben viszonylag kis koncentrációjú mikroorganizmussal oltjuk be. Az oltó-anyagot eleveniszapos medencéből célszerű venni. A teszt vegyületet vagy a vizsgálandó szennyvizet (KOI: 100 – 1000 mg/l) az eleveniszap szuszpenzióhoz (0,2 g/l) adagoljuk és vizsgálat ideje alatt 20 °C – on termosztáljuk és folyamatosan levegőztetjük. A vizsgálat indításakor 3 liter teszt anyag eleveniszap keverékből célszerű kiindulni. Indítást követően az egyensúly beállítása végett a keveréket 2 – 3 órán keresztül levegőztetjük, majd mintát veszünk és az oldott KOI-t vagy DOC -t megmérjük és ezt tekintjük kiindulási adatnak. Hasonlóan kontrollként az oltóiszappal is elvégezzük a fentiekben ismertetett műveletet. Bizonyos esetekben vonatkozási szubsztráttal (pl. etilén glikol) is elvégzik a vizsgálatot. A vizsgálat ideje 28 nap. A vizsgálati időszakban 1 - 2 naponta vett mintával kísérjük nyomon a biológiai lebontást.

A Zhan-Wellens vizsgálati metodika a szennyvizes kísérleti technikában jól ismert. Tulajdonképpen ugyanezt a módszert alkalmazzuk akkor is, amikor egy szakaszos eleveniszapos levegőztetési kísérletet (eleveniszap + nyers szennyvíz) végzünk, abból a célból, hogy a várható elfolyó szennyvíz minőségét meghatározzuk.

Zhan-Wellens vizsgálat elvégzése után a biológiai bonthatóságot (D_t) az alábbi összefüggéssel számítjuk:

$$D_t = \left(1 - \frac{\rho_{cTt} - \rho_{cBt}}{\rho_{cT1} - \rho_{cB1}} \right) \cdot 100 \quad (13)$$

D_t a tesztvegyület százalékos biológiai lebontása t időpontban

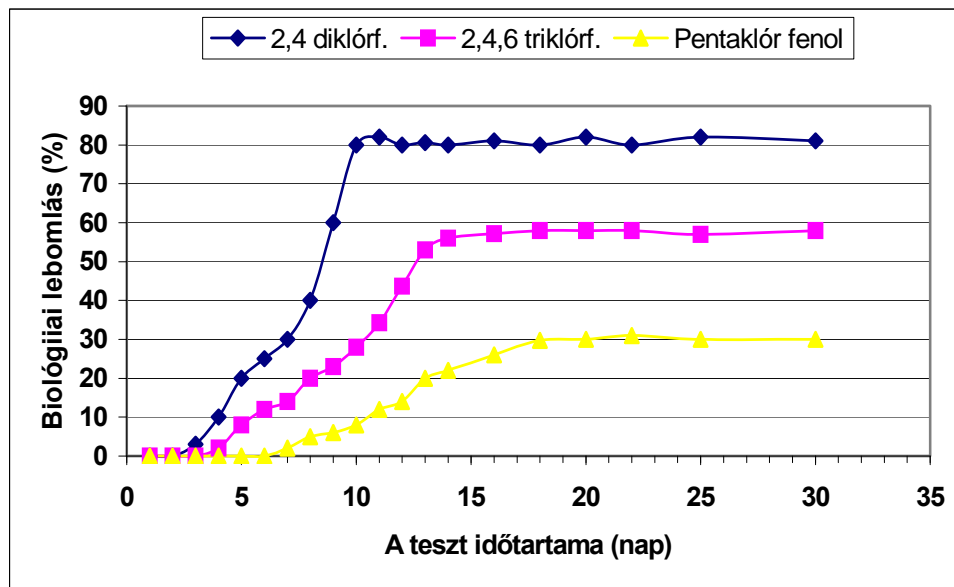
ρ_{cT1} a tesztpalackok DOC koncentrációja t_1 időpontban (mg/l)

ρ_{cB1} a vakpróba DOC koncentrációja t_1 időpontban (mg/l)

ρ_{cTt} a tesztpalackok DOC koncentrációja t időpontban (mg/l)

ρ_{cBt} a vakpróba DOC koncentrációja t időpontban (mg/l)

Néhány fenol-származék Zhan-Wellens teszt alapján végzett biológiai bonthatóságát a **8. ábra** mutatja be. A teszt vizsgálatnál kommunális eleveniszapot használtunk és előzetes adaptáció nem volt. Az ábra szemléletesen mutatja, hogy klór szubsztituensek számának növekedésével a biológiai bonthatóság jelentősen csökken. A penta-klórfenolt 20 napos lebontási idő mellett is, csak 30 %-os mértékben lehetett bontani.



8. ábra Néhány fenol-származék biológiai bonthatósági görbéje (Zhan-Wellens teszt: Oláh; Szutrély; FCSMRt., 1996)

Összefoglalás, javaslatok

A fentiekben ismertetett vizsgálati és mérési módszerek összefüggéseinek ismerete segíti az üzemeltetőt abban, hogy a működő telepek felülvizsgálatát elvégezze és a szennyvíztelep optimális üzemi viszonyait, beállítsa. Az ismertetett MSZ ISO ellenőrző mérési módszereket jelenleg a hazai szennyvíztelepek üzemeltetésénél nagyon ritkán alkalmazzák.

Toxicitás vizsgálatok céljára az oxigén-fogyasztáson vagyis a légzésmérésen alapuló mérési módszert (MSZ EN ISO 8192) javasoljuk. A vizsgálat elvégzésének ideje viszonylag rövid, mindössze 20 – 30 perc. A nitrifikációs telepeken ajánlott mérni a nitrifikáció sebességét és az alkalmanként jelentkező nitrifikációs gátlást (MSZ EN ISO 9509).

A tisztítás technológiai viszonyok között a szennyvizek biológiai bonthatóságának meghatározására az u.n. félfolyamatos eleveniszapos SCAS módszer (MSZ EN ISO 9787) alkalmazását tartjuk legmegfelelőbbnek.

A szennyvíztisztítási gyakorlatban a „teljes” biológiai lebontás mérésének igénye ritkán fordul elő, de bizonyos esetekben (pl. vízbázis terhelhetőségének meghatározása) számolni kell ilyen mérési igénnyel is. A „teljes” biológiai lebontás mérésére illékony komponensek esetében az oxigénfogyasztás mérésén alapuló zárt respirométeres módszer (MSZ EN ISO 29408) tűnik a legmegfelelőbbnek. Abban az esetben amikor a szennyvíz illékony komponenseket nem tartalmaz a viszonylag egyszerű Zahn – Wellens teszt (MSZ EN ISO 9787) is alkalmazható.

A toxicitás és a szennyvizek biológiai bonthatóságát általában nagyobb szennyvíztelepeken, célszerű nyomon követni. Abban az esetben, amikor egy üzemeltető vízmű vállalat több szennyvíztelepet üzemeltet ajánlatos a legnagyobb telepen kialakítani a fentiekben ismertetett mérési rendszert, ahol természetesen a kisebb telepek alkalmi ellenőrzése is elvégezhető.

Jövőben a szennyvíztelepek üzemeltetési színvonalának emelése céljából az ismertetett mérési-módszereket szélesebb körben kell alkalmazni. Az említett mérési-módszerek alkalmasak arra, hogy pl. toxikus üzemzavar esetében számszerűsítsük a biológiai egység hatásfokának csökkenését és ennek ismeretében a rendelkezésre álló eszközökkel

(recirkuláció növelése, iszapelvétele megszüntetése, oxigén bevitel növelése stb.) az üzemeltető meg teheti a szükséges beavatkozásokat. Az eleveniszapos rendszerben a beavatkozások hatására bekövetkező „javulást” mérésrel lehet igazolni és így a biológiai rendszer állapota összehasonlítható az ezt megelőző állapottal.

Az FCSM Rt.-ben az É-Budapesti szennyvíztelep eleveniszapos egységének beüzemelésénél a toxicitás, biológiai aktivitás, maradék KOI és RBOI mérési módszereket eredményesen alkalmaztuk.

Irodalom

Bornemann, C. – Londong, J. (1999): Online-Messung des leicht abbaubaren CSB. wwt. awf. Abwasser, 2, 25 – 28.

Egységes Vízvizsgáló Módszerek V. Technológiai Módszerek. VITUKI, Budapest 1979.

Farkas, P. (1981): The use of respirography in biological treatment plant control. Wat. Sci. Techn., 13, 125 – 131.

Huang, J. Y. C. – Cheng, M-D. – Mueller, J.T. (1985): Oxygen uptake rates for determining microbial activity and application. Water Research, Vol.19, No. 3, 373 - 381.

Huang, J. Y. C. – Cheng, M-D. (1984): Measurement and new application of oxygen uptake rates in activated sludge processes. Journal WPCF, Vol. 56, 3, 259 – 265.

Köhne, M. – Schuhen, M. (1996): On-line-Zehrungs- und aktivitäts-messungen zur Überwachung und Regelung von Kläranlagen. Awt. abwassertechnik, heft 5, 52 – 55.

Pagga, U. (1981): Der Kurzzeitatmungstest – eine einfache Methode zur Bestimmung der Atmungsaktivität von Belebtschlamm. Vom Wasser, 57, 263 – 275.

Pulai, J. – Kárpáti, Á. (2003): A szennyvíztisztítás ellenőrzésének analitikai lehetőségei 1 – 2. rész, LABINFO XI.évf.2003/3, 37 – 39, 35 – 39.

Riegler, G. (1984): Kontinuierliche Kurzzeit-BSB-Messung. Korrespondenz Abwasser. 31. Jahrgang, 5, 369 – 377.

Roš, M. (1993): Respirometry of Activated Sludge. TECHNOMIC. Publishing Co. Inc. Lancaster-Basel. 43 – 49, 85 – 111, 125 –130.

Scheer, H. (1995): Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration an abbaubaren organischen Kohlenstoffverbindungen im Abwasser. Awt. Abwassertechnik. Heft 5, 32 – 37.

Suescun, J. – Irizar, I. – Ostolaza, X. – Ayesa, E. (1998): Dissolved oxygen control and simultaneous estimation of uptake rate in activated-sludge plants. Water Environment Research, Vol.70, 3, 316 – 322.

Sekulov, I. – Bardtke, D. (1970): Untersuchungen zur schnellen Bestimmung der aktivität von Belebtschlämmen. Gwf (Wasser – Abwasser), 111, 1, 18 – 20.

Schmid, A. (2000): Methode zur Bestimmung der mikrobiellen Aktivität auf Basis einer zeitlichen Sauerstoffzehrungsmessung. Gwf (Wasser – Abwasser), 141, 12, 861 – 864.

Zsilák, Z – Tóth, J (2000): Toxicitásmonitoring, LABINFO IX.évf. 200/2, 22 – 24.

MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN ISO 8192 vízminőség. Az eleveniszap oxigénfogyasztás-gátlásának vizsgálata (ISO 8192: 1986), 1 – 14.

MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN ISO 29408 vízminőség. Szerves vegyületek vizes közegben való „teljes” aerob biológiai lebonthatóságának kiértékelése. Az oxigénfogyás meghatározása zárt respirométerben (ISO 9408: 1991)

MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN ISO 9509 Vízminőség. Az eleveniszapban lévő mikroorganizmusok nitrifikációgátlásának meghatározása vegyi anyagokkal és szennyvízzel (ISO 9509: 1989)

MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN ISO 10707 Vízminőség. Szerves vegyületek „teljes” aerob biológiai lebonthatóságának meghatározása vizes közegben. Meghatározás a biokémiai oxigénigény megállapítása alapján (zárt palackos teszt) (ISO 10707: 1994)

MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN 29439 Vízminőség. Szerves vegyületek vizes közegben való „teljes” aerob biológiai lebonthatóságának kiértékelése. A felszabadult széndioxidmérésen alapuló módszer (ISO 9439: 1990)

MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN ISO 9887 Vízminőség. Szerves vegyületek vizes közegben való aerob biológiai lebonthatóságának kiértékelése. Félfolyamatos eleveniszapos módszer (SCAS) (ISO 9887: 1992)

MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN ISO 10634 Vízminőség. Útmutató a vízben rosszul oldódó szerves vegyületek előkészítésére és kezelésére, azok vizes közegben való biológiai lebonthatóságának értékeléséhez (ISO 10634: 1995)

Water quality – Evaluation of ultimate aerobic biodegradability of organic compounds in aqueous medium – Static test (**Zahn – Wellens method**) (**ISO 9888: 1999**)