

Az összegző paraméterek szerepe a szennyvizek minőségi jellemzésében

Oláh József* – Öllös Géza**

*Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. – **professzor emeritus

1. Bevezetés

A Föld népességének, az ipari termelésnek, az emberi fogyasztásnak nagyfokú növekedése és fogyasztó társadalmak környezeti rablógazdálkodása a XX. század végére nagyon komoly környezeti (talaj, víz, levegő) szennyezéseket idézett elő.

A környezet állapotának nyomon követése sürgető feladat és az alábbi főbb célokat szolgálja:

- A környezeti változások okainak ismerete,
- A környezet terhelésének nyomon követése,
- A környezetvédelmi intézkedések időbeni meghozatala,
- Környezetvédelmi vagy minőségi előírások meghozatala,
- A hozott környezetvédelmi intézkedések eredményeinek kontrolálása.

A környezeti állapot egyik meghatározó eleme az édesvizek és az óceánok vízminősége. A felszíni vizek, befogadók minőségét alapvetően az emberi létfenntartásból és gazdasági tevékenységből származó szennyvizek határozzák meg. A szennyvizek minőségi jellemzése a szennyvíztisztító telepek üzemeltetése, tervezése és a befogadók terhelési viszonyainak nyomon követése miatt nagyjelentőséggel bír. A szennyvizek minőségi jellemzésére általában az ún. összegző paramétereket használják.

2. Fogalom meghatározás és az összegző paraméterek csoportosítása

A szennyvizek szervesanyag és más jellemző vegyületeinek száma - még azonos eredet esetén is - időről-időre nagymértékben változik. A szennyvizekben lévő vegyületek nagy számát a tetemes analitikai munka és ezzel járó nagy költségek miatt képtelenség lenne meghatározni. A fenti analitikai nehézség megoldására az ún. összegző vagy csoport paramétereket vezették be. Dolgozatunkban mi az összegző kifejezést alkalmazzuk. Az összegző paraméterekkel a szennyező anyagokat az egyes anyagcsoportokat jól jellemző reakciók (pl. színreakciók, NH_4^+ , PO_4^{3-} meghatározás) és az azonos kémiai kötéseket (pl. C-H kötés: TOC meghatározás) tartalmazó elemek meghatározása révén lehet jellemezni. Az összegző paraméterek másik csoportjának mérési elve azon alapszik, hogy bizonyos reagensek meghatározott anyagcsoportokkal (pl. O_2 mérés oxidációval: KOI, BOI_5) azonos módon reagálnak, továbbá egyes anyagok bizonyos élőlényekre (toxicitás vizsgálat: baktériumok, algák stb.) azonos hatást fejtenek ki.

Az összegző paramétereket nem csak a szennyvizek, hanem felszíni és ivóvizek jellemzésére is használják: pl. az UV abszorpcióval jól lehet jellemezni a felszíni vizek szerves szén és összes triklórmetán tartalmát (*Edzwald és m. társai*, 1985). A speciális szennyező anyagok (pl. klórfenolok) jelenlétére az összegző paraméterekből nem tudunk következtetni, tehát ezen anyagok kimutatása és meghatározása változatlanul nagyon fontos analitikai feladat. Az összegző paraméterek viszont alkalmasak arra, hogy az üzemeltetés gyors, költségkímélő és megbízható ellenőrző (monitoring) rendszert építsen ki (*Mr Carty és Aieta*, 1984.) Az összegző paraméterek ugyan alkalmasak, mind a felszíni és az ivóvizek, mind a szennyvizek jellemzésére, de dolgozatunkban csak a szennyvizek összegző paraméterekkel történő jellemzésével foglalkozunk.

Az összegző paramétereket a közös meghatározási elv és reakció mechanizmus alapján *Heffer* (1995) az alábbiak szerint csoportosítja:

- a, Közvetlenül elválasztható és meghatározható anyagok, pl. ülepedő, szűrhető, nehezen illó lipofil anyagok. A meghatározás elve visszavehető ülepitésre, szűrésre, vagy extrakcióra
- b, Azonos kémiai elemeket tartalmazó anyagok. Egy adott az elemnek meghatározásával azonos kémiai kötést tartalmazó anyagok csoportja jellemezhető pl. TOC, szerves N, NH_4^+ , NO_3^- , összes foszfor, foszfáttal jellemezhető foszfor vegyületek, szerves halogéneket jellemző AOX stb.

- c, Amikor egy reagens azonos módon reagál a víz meghatározott anyagcsoportjaival, pl. sav-bázis kapacitás, amint a H^+ és OH^- ionok okoznak, a $KMnO_4$, KOI és BOI_5 paraméterekkel oxidáció hatására O_2 fogyasztást mérünk.
- d, Összegző paraméterek bizonyos csoportja, amely egy fizikai mérő rendszerben egyes anyagcsoportokra jól jellemző mérési jelet szolgáltat, pl. szín, zavarosság, vezetőképesség, redox potenciál.
- e, Egyes anyagok bizonyos élőlényekre azonos hatást fejtenek ki, mégpedig olyan formában, hogy élettevékenységük a behatás következtében csökken, pl. hal, kis-rák, baktérium, alga, növényi tesztek.

2.1. Az összegző paraméterek alkalmazásának előnyei

A szennyvíz jellemzésében az összegző paraméterek alkalmazása az egyes vegyület komponensekkel szemben a következő előnyökkel jár:

- a, Szennyvíztelep méretezésénél, működésének felülvizsgálatánál az összegző paraméterek komplexebb képet adnak, mint az egyes vegyület komponensek (pl. fenolok, ecetsav stb.)
- b, Az egyes anyagfélések kémiai összetételét a gyártók a piaci helyzetnek megfelelően gyorsan változtatják, tehát az egyes komponensek (pl. tenzidok, peszticid termékek, stb.) meghatározását analitikai módszerek fejlesztésével nagyon nehéz nyomon követni. Ezzel szemben a megfelelő összegző paraméter a kérdéses anyagcsoportra jellemző reakció alapján valamennyi szennyező anyagot együtt méri.
- c, A szintetikus ipar által a szennyvízbe bocsátott termékeket az egyedi reakciók nagy száma miatt azonosítani ma már szinte lehetetlen, ezért az egyes termék csoportok jellemzésére csak az összegző paraméterek alkalmazhatók.
- d, Az összegző paraméterek (pl. AOX, KOI) meghatározása mellett számos esetben ökotoxikológiai vizsgálatok elvégzése is szükséges, abból a célból, hogy megmérjük az egyes anyagféléseknek, vagy anyagcsoportoknak a környezetre gyakorolt hatását.

3. A szerves anyagok jellemzése összegző paraméterekkel

A szennyvíztisztításban egy analitikai paraméternek optimálisan az alábbi feltételeket kell kielégítenie:

- gyors adatszolgáltatást biztosítson,
- könnyen kivitelezhető,
- a módszer elegendő pontosságú és reprodukálható,
- jellemző és gazdaságos legyen.

A szerves anyagok jellemzésére használatos összegző paraméterek mérése alapulhat:

- fizikai, fizikai-kémiai elven, pl. abszorpció, maradék szerves anyag meghatározás UV szondával
- biokémiai elven, pl. a biokémiai oxigénigény (BOI_5) mérés
- kémiai elven, pl. a KOI és TOC mérés

A szerves szennyező anyagokat jellemző összegző paraméterek összefoglaló értékelését *Moser és Kreuzinger* (1995) tanulmánya és saját mérési tapasztalataink alapján végeztük el.

3.1. A kémiai oxigénigény (KOI) meghatározás kritikai elemzése

A kálium-dikromátos oxigén-fogyasztással az összes szervesanyaggal egyenértékű oxigén mennyiséget határozzuk meg. A gyakorlatban a szennyvíz telepeken biológiai úton a KOI-nak csak egy részét (60-93%) tudjuk lebontani. A maradék KOI-nak a befogadóokban történő lebontása

feltételezhetően hosszú időszak (2-3 év) alatt megy végbe. A kérdés igen bonyolult részletes tárgyalására itt nem térünk ki.

3.1.1. A meghatározási előírás rövid áttekintése

A KOI meghatározás elve azon alapszik, hogy a szerves anyagokat tömény kénsavban ezüst katalizátor mellett kálium dikromát oldattal forrás közben ($148\pm 3^\circ\text{C}$) oxidáljuk és a főlegben alkalmazott dikromát oldatot vas (II) ammónium-szulfát oldattal visszamérjük. A KOI meghatározást az idők folyamán tökéletesítették. A klorid tartalom ($> 1000 \text{ mg/l}$) zavaró hatásának kiküszöbölése céljából higany (II) szulfátot kell a mintához adni.

A KOI meghatározást receptszerűen az MSZ ISO 6060 számú - 1993. januárjában hatályba lépő - magyar szabvány ismerteti. Ez a szabvány teljesen megegyezik az ISO 6060: 1989-es nemzetközi szabvánnyal.

3.1.2. A KOI meghatározás hibaforrásai

A KOI meghatározásánál számos hibaforrás lehet:

- Az oxidáció bizonyos vegyület csoportok (piridin, négyértékű nitrogén vegyületek, kation-aktív tenzidek) esetében nem teljes. Az oxidáció hatékonyságát Ag^+ ionok hozzáadásával lehet javítani.
- Bizonyos hidrofób anyagok a reakció beindítása során hőfok emelkedés miatt gőz formájában elpárolognak így a meghatározandó minta KOI értéke csökken (negatív hiba).
- Szervetlen redoxreakciók - pl. Fe(II), szulfid, szulfid, nitrit vegyületek - bikromátot fogyasztanak és így a szervesanyag oxidációjára fordított KOI értéket a redoxreakciók meghamisítják (pozitív hiba).
- Kicsiny a módszer érzékenysége, ez különösen 30 mg/L KOI értékek alatt jelenthet gondot. Éppen ezért ivóvizek felszíni vizek, sőt tisztított szennyvizek szervesanyag tartalmának jellemzése ma már sok helyen az érzékenyebb TOC mérést alkalmazzák.
- A KOI mérés a króm és higany vegyületek (katalizátorok) alkalmazása miatt környezet szennyező analitikai eljárás.

3.1.3. A KOI meghatározás általános előírásai

A KOI meghatározásnál az alábbi előírásokat kell betartani:

- Mintalevétel, előkészítés, szállítás és konzerválás előírásait.
- El kell végezni a minta homogenizálását. Homogenizálásra nagyfordulatszámú laboratóriumi berendezéseket célszerű alkalmazni

Gondos analitikai meghatározást a laboratóriumi munkában elősegíti:

- a laboratórium akkreditálása,
- vegyszerek megbízható tisztasága,
- a meghatározás hőmérsékletének pontos betartása (pl.: roncsoló blokk használata),
- automata vegyszeradagolás alkalmazása,
- mérőoldatok, azonos hőfokon történő tárolása,
- a titrálásnál potenciometrikus végpontjelzés.

3.2. A biológiai oxigénigény (BoI) meghatározás értékelése

3.2. 1. A BOI meghatározás elve

A biokémiai oxigén igény (BOI) fogalma alatt azt az oxigén mennyiséget értjük, amit a szennyvízben lévő, vagy külön hozzáadott mikroorganizmusok a szennyvíz biológiailag bontható szerves vegyületeinek biokémiai oxidációjára (a nitrifikáció nélkül) - meghatározott idő alatt - elfogyasztanak.

A BOI mérést az MSZ 260/19-74, számú magyar szabvány ismerteti.

Általában 5 napos inkubációhoz tartozó értéket mérjük (BOI_5). Ezenkívül bármekkora "t" időtartalmú inkubáció alatt mérhető a biokémiai oxigénigény (BOI_t). A gyakorlatban használják az 1 napos (BOI_1), kétnapos (BOI_2), ötnapos (BOI_5) és 20 napos (BOI_{20}) BOI értékeket.

A hagyományos BOI vizsgálatok mellett használják még az ún. rövididejű vagy gyors BOI (RBOI) meghatározást is. A gyors BOI értékét a koncentrált eleveniszap mintához adott szennyvíz minta szubsztrát légzés görbéje alapján számított oxigén fogyasztás adja meg.

A hagyományos BOI mérésnél a nitrifikáció visszaszorítására a nitrifikációt gátló anyagokat szoktak adagolni pl.: allil-tiokarbamidot vagy 2klór-6-(triklór-mentil)-piridint.

3.2.2. A BOI meghatározás bizonytalanságai

Az azonos meghatározási körülmények (hígítóvíz, oltóiszap, mérgező anyag koncentráció, stb.) a BOI meghatározásánál nehezen biztosíthatók. A meghatározásnak rossz a reprodukálhatósága. Ez abból adódik, hogy a meghatározást a hőmérséklet, oltó mikroorganizmusok, gátlómérgező anyagok, egyéb kísérő ionok koncentrációja jelentősen befolyásolja. A különböző eredetű szennyvizeknél a fenti kísérő anyagok koncentrációja más és más, tehát a mért BOI értékek azonos szervesanyag koncentráció (KOI, vagy TOC) mellett is különbözni fognak. Az oltó iszap eredetének az ipari szennyvizek BOI meghatározásánál nagy jelentősége van, mert az oltóiszap minősége befolyásolja a BOI meghatározás alapját képező biológiai lebontás határfokát, tehát BOI érték nagyságát. Az ipari szennyvizekben lévő gátló, mérgező anyagok természetesen csökkentik a várható BOI₅ értékét. A fentiek alapján látható, hogy a BOI₅ meghatározás az ipari szennyvizeknél nagy bizonytalanságokkal jár.

A mérési idő viszonylagosan hosszú 5 nap. Az 5 napos és a 20 napos BOI értékeket a rövid idejű vagy az RBOI értékekből extrapolálással nem lehet meghatározni.

A BOI mérés a biológiailag részben vagy nehezebben bontható vegyületek kvantitatív jellemzésére nem teljesen alkalmas. Ismeretes, hogy a biológiai tisztító telepen lényegesen több szerves vegyület bomlik le, mint amit BOI mérések alapján számolhatunk. Ez a tény elsősorban abból ered, hogy a szennyvíztisztító telepeken a szerves lebegő anyagok hidrolízise folytán jelentős biológiai lebontás megy végbe. A különböző lebegő anyagok hidrolízis sebességének állandói ma még jórészt ismeretlenek. A fentiek alapján megállapítható, hogy egy szennyvíztelep anyagmérlegének elkészítésére a BOI nem a legmegfelelőbb paraméter.

Az ipari szennyvizek a biológiai bonthatóság szempontjából lehetnek:

- biológiailag jól bonthatók. Ebben az esetben a klasszikus Monod összefüggés érvényesül a szubsztrát koncentráció és a lebontási sebesség között.
- biológiailag bonthatók, de egy határ koncentráció után mérgezőek. A szubsztrátkoncentráció és a lebontási sebesség összefüggését egy maximum görbe írja le.
- biológiailag bonthatatlanok (az eleveniszapos biológia tartózkodási idő tartományában).

A fentiek alapján az ipari eredetű szennyvizek BOI₅ értékei nagymértékben függenek az alkalmazott oltóiszap minőségétől.

Az I. táblázatban különböző ipari eredetű szennyvizek BOI₅ értékeit foglaltuk össze.

1. táblázat. Ipari eredetű szennyvizek BOI₅ értékei különböző oltóiszapok alkalmazása mellett
(Oláh: 1988. VITUKI, 1995. FCsM Rt.)

A szennyvíz eredete	KOI	BOI ₅ értéke a különböző oltóiszapok alkalmazása mellett			RBOI	
	mg/l	Kommunális	Ipari-kommunális	Adaptált iszap	Kommunális	Adaptált
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	eleveniszappal
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Gyógyszergyári I.	6 350	1 050	2 310	2 860	1 860	2 610
Gyógyszergyári II.	4 320	840	1 460	1 980	1 380	1 910
Gyógyszergyári fermentációs üzem	3 150	1 810	1 920	2 250	2 010	2 030
Festékipari + olefin üzem	1 960	230	640	810	540	680
Szintetikus vegyipari	2 260	310	530	860	630	790
Tejipari	1 980	1 120	-	1 380	1 205	1 440

Az 1. táblázat adataiból látható, hogy az ipari szennyvizek BOI₅ értékét az oltóiszap eredete jelentősen befolyásolja. A kommunális eleveniszappal történő beoltás mellett mérjük a legkisebb BOI₅ értéket, a legnagyobbat pedig adaptált (szoktatott) eleveniszappal. Az RBOI mérésekből megállapítható, hogy kommunális eleveniszap alkalmazása esetén az RBOI értéke lényegesen nagyobb, mint a hagyományos BOI meghatározásnál mért érték. Ez azzal magyarázható, hogy az RBOI mérésnél nagy tömegű heterotróf baktérium tömeg áll rendelkezésre, amely a biológiai lebontást - még adaptáció nélkül is - könnyebben el tudja végezni, mint BOI meghatározásnál a kis sejtkoncentrációjú oltóvíz. Természetesen az adaptációnak az RBOI mérésnél is van jelentősége, mert az adaptált iszap a szubsztrátnak nagyobb hányadát bontja le, mint az adaptálatlan.

Az ipari szennyvizeknél a különböző eredetű oltóiszapok esetében mért BOI₅ érték különbözőségét a következőképpen magyarázhatjuk:

- a kommunális eredetű eleveniszapoknál a heterotróf baktérium kultúrában viszonylag kevés az a baktérium faj, ami az ipari szennyvizet közvetlenül bontani tudja.
- a vizsgált ipari szennyvíz tisztítását végző ipari-kommunális eleveniszap rendelkezik azokkal a szelektálódott baktérium fajokkal, amelyek az adott ipari szennyvizet jó hatásfokkal bontani képesek, tehát ezzel az oltóval végzett meghatározás a BOI₅ értéke is nagyobb lesz, mint a tisztán kommunális oltóval végzett mérése.
- Az ipari szennyvízhez adaptált oltóiszappal történő bontás után kapjuk a legnagyobb BOI₅ értéket. Ez a BOI₅ érték nagyobb, mint az ipari-kommunális eleveniszappal történt beoltásnál mért érték. Ez azt mutatja, hogy a közvetlen adaptáció esetén nagyobb az ipari szennyvizet bontó szelektált baktérium hányad, mint az ipari-kommunális eleveniszapnál. Tehát a szennyvíztelepen lejátszódó szelekció rosszabb hatásfokú, mint amely a laborban végzett adaptáció során végbemegy. Ha a gyakorlati és a laboratóriumi körülményeket figyelembe vesszük, akkor a fentiekben leírtak teljesen érthetőek.

Összegezve megállapítható, hogy egy ipari szennyvíz BOI₅ értéke alapvetően attól függ, hogy az oltást milyen eredetű kultúrával végeztük el. A kommunális eredetű szennyvizeknél ilyen gond sohasem merül fel, mert ezek a szennyvizek mindig és mindenütt rendelkeznek azzal a kevert baktérium kultúrával, amely a szennyvízminta bontásához szükséges és ebben az esetben az oltóiszapnak nincs különösebb jelentősége.

3.2.3. A zavaró hatások és azok kiküszöbölése

A zavaró hatásokat a következő intézkedésekkel küszöbölhetjük ki:

- A minta előkészítését (homogenizálás, ülepítés, szűrés) a mintalevétel után közvetlenül el kell végezni.
- A minta szállítását légmentesen és buborékmentesen lezárt edényben kell végezni.
- A BOI meghatározás előtt a minta konzerválását hűtéssel (2-5°C között) lehet biztosítani. Az oltó baktériumokat is tartalmazó szennyvízmintánál a mélyhűtés (-15 és -20°C között) hatására a mikroorganizmusok aktivitás csökkenése folytán a BOI₅ értéke kb. 10%-kal kisebb lesz.
- A minta előkészítésénél különösen fontos, hogy a minta és a hígítóvíz hőmérséklete azonos legyen.
- A pH-értékét 6,0 - 9,0 között kell tartani, mert toxikus anyagok (szabad klór, nehézfém ionok) sokszor pH eltolódást okoznak és ezáltal a biológiai oxigén fogyasztás (BOI) értéke csökken.
- A nitrifikáció megakadályozására 2 mg/L alliltiokarbamidot kell adagolni
- A meghatározáshoz szükséges bemérést széles tartományban kell megválasztani, mert maximális beméréssel a meghatározási folyamat oxigén függőségét idézzük elő. A kicsiny minta bemérésnél pedig a minta és vak érték oxigén fogyasztása alig különbözik egymástól. Mindkét esetben a BOI meghatározás pontatlan, sőt sokszor értékelhetetlen.
- A reakció-feltételeket, mint pl. azonos tárolási hőmérséklet és a minták sötétben történő tárolását biztosítani kell.
- A mintáknál fellépő esetleges kémiai oxidációt kerülni kell, mert ez az oxigénfogyasztás a BOI értéket hamisítja (pozitív hiba)
- A BOI meghatározáshoz szükséges ásványi nyomelemeket és az oltó baktériumokat a hígítóvízzel kell biztosítani. A hígító-vízhez csak annyi oltóbaktériumot kell adagolni, hogy az oltóbaktériumok endogén légzése mérhető legyen.

3.2.4. A különböző BOI meghatározási módszerek összehasonlítása

A hagyományos BOI meghatározásnál, ahol mintákat az inkubációs (5 nap) ideje alatt nem keverjük, a minta szerves lebegő anyag tartalma - a hidrolízis folyamatok miatt - a meghatározást bizonytalanná teszi. A monometrikus BOI hányad az oldott rész BOI hányadával együtt viszonylag jól meghatározható.

A BOI₅ meghatározás egyszerűsítése és a mérés pontosságának javítása céljából az utóbbi időszakban korszerű mérési módszerek terjedtek el. A hagyományos higanyos BOI₅ mérőket átalakították és a manométert az üvegre rácsavarható fejbe beépített nyomásmérő szenzor váltotta fel. Ennek a berendezésnek előnye, hogy a mérőfej memóriájából a napi BOI érték mindig előhívható. Tehát a laborban a BOI elrakást nem kell úgy programozni, hogy az 5. napos BOI meghatározás munkanapra essék.

A hagyományos (hígítós) és a manometriás BOI₅ meghatározás között eltérés mutatkozhat: - A manometrikus módszernél az állandó keverés eredményeképpen a lebegő anyag tartalmú mintáknál a meghatározás pontosabb lesz, mint a hígítós módszernél.

- Az egyenletes keverés következtében a mintában jelenlévő esetleges gátló anyagok hatása a manometrikus meghatározásnál kevésbé érvényesül, mint a hígítós módszernél.
- A BOI₅ meghatározás folyamán a manometrikus módszereknél enyhe pH növekedés tapasztalható - képződött CO₂ megkötése következtében - , ez bizonyos esetekben gátló hatást fejthet ki, azaz a BOI csökkenést eredményezhet.

2. táblázat. A különböző BOI₅ és RBOI mérések átlageredményeinek összefoglalása
(Szutrély, 1996. FCsM Rt.)

Sor- szám	KOI _{sz} (szűrt)	BOI ₅ meghatározás		RBOI meghatározás	
		Hígítási módszerrel (MSZ-260/197-74)	Oxi-TOP (manometrikus módszer)	Respirométerrel (zárt rendszer)	Oxi-3000 készülékkel (nyílt rendszer)
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
1	2	3	4	5	6
1.	741	318	330	321 (140)	228 (153)
2.	350	150	170	162	180
3.	2 312	1 466	1 742	1 620	1 837

Megjegyzés: az 5-6. Oszlopban () eredményeket más eredetű iszappal mértük.

A 2. táblázatban különböző BOI₅ meghatározási módszerek átlag eredményeit foglaltuk össze. Az Oxi-Top típusú manometrikus módszerrel 4-18%-kal nagyobb értéket mértünk, mint a hígítási módszerrel. Ez a pozitív hiba rendszeresen jelentkezett. Ez a növekedés feltehetően a folyamatos keverés hatására bekövetkező hőmérséklet, oxigén és gátló anyagok egyenletes eloszlásával magyarázható. A manometrikus módszernél a CO₂ megkötése eredményeként jelentkező jelentős pH emelkedést nem tapasztaltunk.

A zárt rendszerű respirométerben mért RBOI értékek a manometrikus módszer eredményeivel viszonylag jól egyeznek (3-7%-kal kisebbek), a hígítási módszer eredményeivel kevésbé. A respirometrikus RBOI értékek a hígítási BOI₅ mérési adataihoz képest pozitív, a manometrikus BOI₅ adatokhoz képest negatív eltérést mutattak.

Relatív hiba a manometrikus BOI₅ meghatározásnál $\pm 8\%$, a hígítási BOI₅ meghatározásnál pedig $\pm 12\%$. A méréseink egyértelműen igazolták, hogy a manometrikus BOI₅ meghatározás pontosabb és a kivitelezése - hígítóvíz, tápsók kiküszöbölése következtében - lényegesen egyszerűbb.

A nyílt rendszerű RBOI mérés (Oxi-3000) eredményei a hígítási módszer eredményeihez képes pozitív és negatív eltérést egyaránt mutattak. Az RBOI mérésnél az eleveniszap megválasztásainak nagy jelentősége van, mert ugyanazon szennyvíznél, ha az iszap nem eléggé aktív, akkor lényegesen kisebb RBOI értékeket (kb. a felét) mérhetünk, mint a tényleges BOI értékek (lásd 2. táblázat 5. és 6. oszlop). Az RBOI mérés tájékoztató jelleggel jól alkalmazható a RBOI/KOI bonthatósági arány meghatározására.

3.3. Az összes szerves szén (TOC) meghatározás

A TOC fogalma alatt a vizsgált vízminta összes szerves vegyületének C-ben kifejezett koncentrációját {mg C/L} értjük.

A szennyvíz analitikában a TOC mellett még meg szokták különböztetni:

- TC-összes szénvegyületeket (szerves + szervetlen)
- TIC - összes szervetlen szénvegyületeket (karbonátok, CO₂),
- DOC - oldott szerves szénvegyületeket (membránnal leszűrt minta)

Természetesen az alap paraméter a TOC, de a fenti paraméterek is könnyen meghatározhatók, ha TOC mérő készülék rendelkezésre áll.

3.3.1. A TOC meghatározás elve

A TOC meghatározás elve, hogy a szerves szénhidrogéneket CO₂-á és vízzé oxidálják (nedves oxidáció). Az oxidációt káliumperoxi-diszulfát, káliumperjodát hozzáadásával és egyidejű UV

besugárzás mellett végzik. A keletkezett széndioxid detektálására több módszert alkalmaznak így pl. infravörös-spektrometriát, coulometriát, konduktometriát, CO₂-szelektív elektródot.

A TOC meghatározás másik lehetséges módja a vízminták bepárlása, majd a száraz maradék katalitikus (680°C) elégetése. A nedves oxidációs módszer csak oldott TOC tartalom meghatározására alkalmas, mert a szerves lebegőanyag kvantitatív oxidációja nem megy végbe. A katalitikus elégetéses módszer jól alkalmazható, mind a lebegőanyag, mind az oldott fázis TOC tartalmának meghatározására.

A minta-előkészítés és a mérési módszerek alkalmazási feltételeit az ISO 8245 (1987) rögzíti. Magyarországon a TOC meghatározására nincs MSZ előírás.

3.3.2. A TOC meghatározás általános kérdései

A TOC a KOI paraméterhez hasonlóan nem alkalmas arra, hogy a szennyvízminták szervesanyag tartalma mellett a mikroorganizmusok anyagcsere termékeit nyomon kövessük, mert a TOC méréssel az eredeti és mikrobiális szerves szénvegyületek között nem lehet különbséget tenni. A mérések kivitelezésénél az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:

Minta-előkészítés

A minta-előkészítés során az alábbiakra kell figyelni:

- a szervesetlen eredetű szén (TIC) savas közegből (pH<3), inert gázzal (N₂) el kell távolítani, hogy a TOC meghatározást ne zavarja. Azokban az esetekben amikor a vízminta illó szerves anyagokat (benzol, benzol) is tartalmaz a TOC eltávolításával (a CO₂ kiűzés) a szervesanyagok egy része is távozik és ez a szervesanyag csökkenés a TOC értéket meghamisítja (negatív hiba)
- A TOC meghatározható az összes szén (TC) és az összes szervesetlen szén (TIC) differencia képzés alapján is: TC-TIC=TOC
- Illó szerves szén (VOC) meghatározása. Az illó szerves szén 150°C-on a mintából inert gázzal kiűzhető. A VOC fogalma nem kellően tisztázott.
- Oldott szerves szén (DOC) meghatározására membrán szűrőn (0,45 µmØ) átszűrt mintát használják fel. Az organikus széntartalom meghatározása az oldott fázis TOC tartalmának mérésével azonos.

TOC meghatározás lebegőanyag tartalmú mintából. Lebegőanyag tartalmú mintákat TOC meghatározás előtt homogenizálni kell és a TOC-t katalitikus elégetéssel kell meghatározni.

A meghatározás alap reakciója a CO₂ felszabadítás

A TOC meghatározásnál a szerves szénvegyületeket CO₂-dá kell átalakítani és a keletkezett CO₂-t valamilyen módszerrel (konduktometria, coulometria stb.) meg kell határozni. A szénvegyületeket CO₂-dá alakíthatjuk:

- összes szervesetlen szén (TIC) felszabadítását erősen savas közegben kell elvégezni és a szabaddá váló CO₂-t az oldatból CO₂ mentes levegővel vagy oxigénnel távolítják el. A savanyításra foszforsavat használnak és a reakcióelegyet 100°C-on tartják. Ezzel a módszerrel a karbonátokból és a hidrokarbonátokból képződött CO₂ tartalmat lehet meghatározni.
- összes szén (TC) meghatározása katalitikus elégetéssel 900-1100°C-on. Az ilyen magas hőmérsékleten platina vagy kobaltoxid katalizátorok alkalmazásával a szervesanyagok gyorsan és biztonságosan a széndioxiddá égethetők el. Az előnyök mellett azonban bizonyos hátrányok is jelentkeznek:
- a nagy hőmérséklet miatt nagy a vízgőzképződés, ezért nagy aktív katalizátor felületre van szükség és a beadagolható minta térfogat kicsiny (0, 1 ml)
- a minta sótartalma a belső csöveket és a katalizátor felületet elszennyezi.
- összes szén (TC) meghatározása katalitikus elégetéssel 680°C-on. A nagy hőmérsékletű elégetéssel ellentétben e módszer alkalmazásánál hosszabb reakcióidőre van szükség. A módszer alkalmazása, az alábbi előnyökkel jár:
- az eredményeket a berendezés kiszolgálása során felmerülő személyes szubjektív hibák alapvetően nem befolyásolják.
- a csúcs felület arányos a beadagolt koncentrációval

- Az alsó koncentráció tartományban a kalibrálás a töményebb standard oldatok kisebb térfogatával is elvégezhető.
- összes szén (TC) meghatározása perszulfátos roncsolással, UV besugárással és szobahőmérsékleten. A módszer hátrányai:
- lebegőanyagok TOC tartalmának meghatározására a módszer nem alkalmazható
- nagy só koncentrációk az UV besugárással hatását csökkentik
- A roncsoló keverék korrozív és az alkatrészeket (csövek, vezetékek, szállító szivattyú) úgy kell megválasztani, hogy a korrozív hatásnak ellenálljanak.

Összes szén (TC) meghatározás perszulfátos roncsolással 100°C-on. A módszert tengervíz TOC tartalmának meghatározására fejlesztették ki.

A CO₂ detektálása

- Az infra-fotometrikus CO₂ detektálás ma már a TOC mérőknél általános. Ennek a módszernek a hátránya:
- a kalibrálást naponta el kell végezni
- a minták nagy só vagy sav tartalma a mérőcellánál korróziót okozhat
- A CO₂-t metánná redukálják, majd a metán koncentrációt lángionizációs detektorral mérik.
- A CO₂ detektálására egyéb módszerek pl. konduktometria, coulometria is alkalmasak.

3.3.3. A zavaró hatások és azok kiküszöbölése

A meghatározást közvetlenül zavaró tényezők lehetnek:

a, Szennyeződések

Szénmentes vakpróbát szinte lehetetlen előállítani, mert a vegyszerek és a desztillált víz nyomokban mindig tartalmaz szerves szén szennyeződések. A legfontosabb szennyező források:

- Por és korom szemcsék a műszer adagoló berendezésébe is bejuthatnak.
- A környező levegőből szervesanyagok gőzei is hamisíthatják a TOC méréseket.
- Műanyag edényekből kioldódó alacsony polimerizációs fokú termékek.
- Az edényeken visszamaradó mosogatószer.
- Automatikus méréseknél a levegő CO₂ tartalma.

b, A minták tárolása

Mintákat csak hűtve szabad tárolni, hogy a mikrobiológiai lebomlást elkerüljük. .

c, A hígítóvíz minősége.

A desztillált víz C tartalma 0,5-1,0 mg/L érték között változik. Tehát C-mentes kalibráló oldatot előállítani nem lehet.

4. A szervesanyagot jellemző összegző paraméterek kapcsolata

A KOI, BOI₅, és a TOC paramétereket a mérési elv, a mért vegyület csoport és mérési eljárás alapján a 3. táblázat csoportosítja.

A táblázat alapján látható, hogy a KOI és a TOC paraméterek gyakorlatilag ugyanazt a

Megnevezés	KOI	BOI	TOC
Mérési elv	A lebontáshoz felhasznált O ₂ mérése	A lebontáshoz felhasznált O ₂ mérése	A szerves anyagokkal arányos C koncentráció mérése
A meghatározott vegyület-csoport	„majd nem” az összes szén vegyület	„a biológiailag bontható” szén vegyületek	„gyakorlatilag” az összes szén vegyület
Mérési eljárás	Nedves kémiai oxidáció	Mikrobiológiai oxidáció	Égetés/nedves kémiai oxidáció

3. táblázat. A KOI, BOI és a TOC általános mérés technikai elvek alapján történő összehasonlítása
(Moser és Kreuzinger, 1995)

vegyület csoportot - az összes szervesanyagot mérik. A BOI paraméter mérési elvben megegyezik a KOI mérés elvével (felhasznált O₂ mérése), azonban meghatározott vegyület csoportot és mérési eljárást illetően különbözik attól.

4.1. A KOI és a TOC kapcsolata

A vízminőség jellemzésére, a szennyvíz bevezetések ellenőrzésénél és terhelési adatok számításánál a KOI nemzetközileg elfogadott paraméternek számít. Ma már azonban a KOI meghatározás alkalmazásánál egyre több gond merül fel:

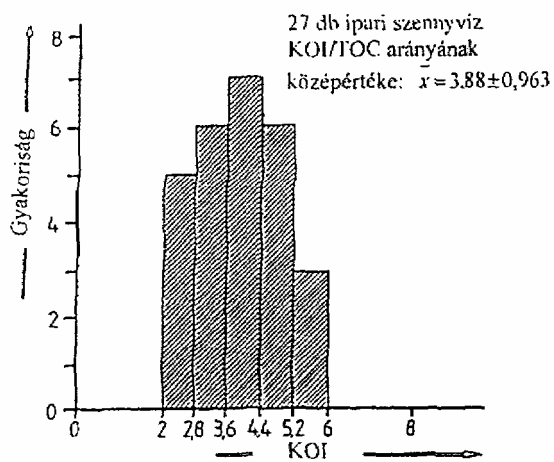
- KOI-val csak az oxidálható szerves és szervesetlen vegyületeket lehet meghatározni.
- 15 mg/L koncentráció alatt a meghatározás pontossága nem megfelelő. Ez elsősorban felszíni vizek minősítésénél okoz gondot.
- A meghatározásnál keletkező szennyvízben (elhasznált oldatok) jelentős a higany, ezüst és a króm-szennyezés. Tehát olyan laboratóriumi módszer, amely jelentős szennyezést okoz. Ezeket a hulladékokat össze kell gyűjteni és a kezelése nagy gondot jelent.

A KOI-val szemben a TOC egyértelműbb paraméter, mert a szerves szennyeződésre jellemző szén (C) méri és a mérésnél nem keletkezik veszélyes hulladék.

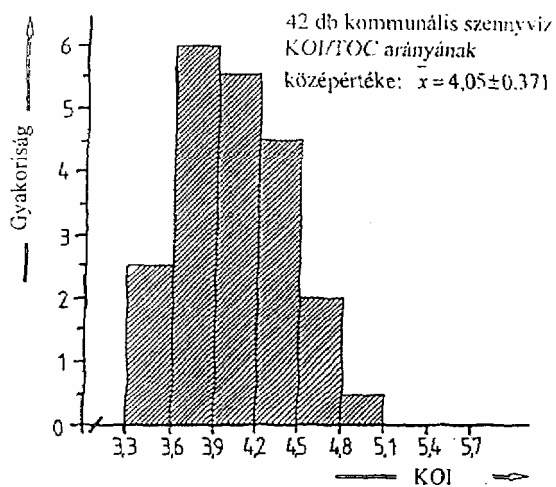
Számos vizsgálatot végeztek a kommunális, ipari és az ipari-kommunális szennyvizekkel, megállapították a KOI/TOC és gyakoriság összefüggését. Egyértelműen meg lehetett állapítani, hogy az egyes szennyvíz típusokat KOI/TOC átlagértékkel jól lehetett jellemezni (Eckenfelder, Grau, 1992)

Az 1. ábra 27 db ipari üzemnél a KOI/TOC arányt a gyakoriság függvényében mutatja be. A KOI/TOC arány középértéke 3,88 volt és a középértéktől való átlagos eltérés ±0,963 érték volt. A 2. ábra 42 db kommunális szennyvíznél KOI/TOC arányt és gyakoriság összefüggését ábrázolja. Kommunális szennyvíznél a középértéktől (KOI/TOC: $x = 4,05$) való átlagos eltérés lényegesen kisebb (±0,371), mint az ipari szennyvizeknél. Ez érthető, hiszen az ipari szennyvizek minősége lényegesen nagyobb változásokat mutat, mint a kommunális szennyvizeké. A kommunális és az ipari szennyvizek KOI/TOC arányának statisztikai értékelését a 4. táblázat mutatja be.

1. ábra.
 Ipari szennyvizek KOI/TOC arányának
 és a gyakoriságának az összefüggése
 (Hein, 1991)



2. ábra
 Kommunális szennyvizek KOI/TOC arányának
 és a gyakoriságának az összefüggése (Hein,
 1991)



4. táblázat. A kommunális, ipari és az ipari-kommunális eredetű szennyvizek KOI/TOC arányértékek statisztikai adatai
(Hein, 1991)

Megnevezés	Kommunális szennyvíz	Ipari szennyvíz	Ipari-kommunális szennyvíz
A vizsgált telepek száma	42	27	69
A mérések száma	258	263	521
KOI/TOC arány középértéke (\bar{x})	4,05	3,88	3,98
A középértéktől való eltérés, szórás (s)	0,371	0,963	0,667
KOI/TOC arány korrelációs tényezője	0,986	0,962	0,967

A 4. táblázat azt mutatja, hogy a különböző eredetű szennyvizeknél a KOI/TOC arány az adott szennyvízre jellemző, annak ellenére, hogy az ipari szennyvizeknél nagyobb minőségi ingadozásokkal kell számolni.

A fentiekben elmondottak alapján *Hein* (1991) javasolja, hogy vezessük be a TOC küszöbértékeket (A_1) melynek definíciója:

$$A_1 = \frac{\text{KOI ellenőrző érték}}{\text{várható KOI/TOC}} \quad (1)$$

Ezzel a módszerrel az üzemellenőrzésben a szükséges KOI meghatározások számát lényegesen le lehetne csökkenteni:

- Az A_1 értékét a határérték vagy más vízminőségi előírás (pl.: 100 mgKOI/L) és az adott szennyvízre jellemző KOI/TOC arány alapján ismerjük

$$A_1 = \frac{100 \text{ mgKOI/L}}{3,88 \text{ KOI/TOC}} = 25,8 \text{ mg TOC/L} \quad (2)$$

(a TOC küszöbérték egyenértékű a 100 mgKOI/L határértékkel)

- A szennyvíznél a TOC-t rendszeresen meghatározzuk (A_2) és összehasonlítjuk az A_1 értékkel
- Az ellenőrző KOI érték akkor felel meg előírásoknak, ha a számított A_2 érték az A_1 értéke alatt marad, ha $A_2 < A_1$
- KOI mérést csak akkor kell végezni, ha $A_2 > A_1$. A fentiekben ismertetett módszer alapján a KOI mérést TOC méréssel helyettesítjük, és csak akkor mérjük a KOI-t (a hivatalos paramétert), ha a mindenkor TOC érték (A_2) a határértéknek tekinthető A_1 -t (TOC küszöbérték) meghaladja.

4.2. A BOI_5 és a TOC kapcsolata

A BOI_5 és a TOC kapcsolatát az 5. táblázatban feltüntetett négy esettel *Offhaus* (1976) nyomán szemléltetjük.

I. eset:

A bevezetett szennyvízben ($BOI_5=300 \text{ mg/l}$) nincs biológiai lebontást gátló anyag. A mért BOI_5 érték megadja a tényleges (igazi) BOI_5 értéket. A BOI_5/TOC arány 1,7. A biológiai és a mechanikai lépcső együttes hatásfoka 95%, tehát az elfolyó szennyvíz BOI_5 értéke 15 mg/L. A TOC lebontás hatásfoka ($S_0=180 \text{ mg/L}$, $S_e=18 \text{ mg/l}$) 90%-os.

A tisztított szennyvíznél a $BOI_5/TOC=15/18=0,83$.

II. eset:

A bevezetett szennyvíz a BOI_5 meghatározásánál 30%-os biológiai gátlás lép fel, ezért a mért BOI_5 értéke 210 mg/L. A BOI_5/TOC arány 1,16. A biológiai lépcső azonban a BOI_5 mérésnél jelentkező gátlóanyagokat lebontja, tehát a biológiai lépcsőben gátlás nincs. ($\eta_{BOI}=95\%$)

A tisztított szennyvíz BOI_5 értéke 15 mg/L (azonos az I. esettel). A TOC lebontás ($S_o=180$ mg/L, $S_e=18$ mg/L) megegyezett az I. esetben mért értékkel (90%).

A tisztított szennyvíznél a $BOI_5/TOC=15/18=0,83$

III. eset:

A bevezetett szennyvíznél hasonlóan a II. esethez 30%-os biológiai gátlást mértek, de ez a gátlás a biológiai lépcsőben is jelentkezett. A nyers szennyvíz BOI_5 értéke 210 mg/l BOI_5/TOC arány 1,16. A tisztított szennyvíznél a BOI_5/TOC arány (0,15) megváltozott. Az elfolyó víz minősége jelentősen romlott, hiszen TOC koncentrációja 66,6 mg/L-re nőtt, annak ellenére, hogy a BOI_5 értéke csökkent (10,5 mg/l). Tehát a III. esetben az elfolyó, tisztított szennyvíz minőséget a TOC-vel jobban lehet jellemezni, mint a BOI_5 -el.

IV. eset:

Nincs biológiai gátlás, viszont 30%-kal emelkedett a biológiailag bonthatatlan hányad. Az eleveniszapos rendszerben sem jelentkezik a biológiai gátlás. A befolyó víznél a BOI/TOC arány 1,16. A tisztított szennyvíznél a BOI_5 10,5, a TOC 66.6 mg/L és a BOI/TOC arány 0,15 érték volt.

A BOI_5 és a TOC kapcsolatot bemutató alapeseteket (5.táblázat) összefoglalva megállapíthatjuk:

- Az I. és a IV. esetnél a biológiai lebontásnál gátlás nincs a BOI_5 -re vonatkoztatott lebontási határfokok megegyeznek. A befolyó BOI_5 koncentrációk különbözősége folytán - a lebontási határfokok azonossága ellenére - a tisztított szennyvizek BOI_5 koncentrációi (I. 15 mg/l, IV. 10,5 mg/l) különböznek. Az I. jól bontható, a IV. alapeset pedig nehezen bontható ipari szennyvízre utal. A tisztított szennyvízzel elfolyó maradék szennyezés jellemzésére a BOI_5 a IV. esetben nem megfelelő, mert az I. esethez képest kisebb elfolyó BOI_5 alapján azt gondolhatnánk, hogy a IV. eset elfolyó szennyvize jobb minőségű, mint az I. eset elfolyó vize. A valóságban az I. elfolyó BOI_5 értékhez (15 mg/L) 18 mg/L-es TOC, a IV. elfolyó BOI_5 értékhez (10,5 mg/L) 66,6 mg/L-es TOC tartozott. Ebben az esetben azt mondhatjuk, hogy a biológiailag bontható rész (BOI) a meghatározó egy befogadó terhelésénél. A valóságban a helyzet lényegesen bonyolultabb, mert a természetben a lassú lebontási folyamatok miatt nem közömbös, hogy milyen maradék TOC-vel (< 50 mg/L) terheljük a befogadót annak ellenére, hogy a BOI_5 értéke viszonylag kicsiny (< 10 mg/l).

Az I. és a II. eset összehasonlításából kiderül, hogy vannak olyan esetek, amikor a BOI_5 meghatározásánál gátló hatás jelentkezik, de az eleveniszapos biológiánál ezek a gátló anyagok hatása már nem érvényesül. Nyilván való, hogy az eleven iszapos rendszerben a baktérium és a gátló anyag koncentráció aránya lényegesen kedvezőbb, mint ami a BOI meghatározásánál fennáll. Az elfolyó víznél (I-II. eset) az azonos BOI_5/TOC arány azonos elfolyó vízminőséget jelent.

Az azonos befolyó vízminőség (II. és III.: $BOI_5/TOC = 1,16$) korántsem jelenti azt, hogy azonos üzemi paraméterek melletti eleveniszapos tisztításnál az elfolyó vízminőség azonos lesz. A III. esetnél a biológiában 30%os gátlás volt, így az elfolyó vízminőség a II. és III. esetben nem volt azonos, ezt különböző BOI_5/TOC arányok is (II.; 0,83, III.: 0,15) bizonyítják.

Az azonos befolyó- és elfolyó vízminőségre utaló BOI_5/TOC arányok korántsem jelentik azt, hogy a biológiában ugyanazon folyamat játszódik le. Példa erre a III. és a IV. eset összehasonlítása: mindkét esetben a befolyó víz BOI_5/TOC aránya 1,16 és az arány az elfolyó vizeknél is megegyezett (0,15). A III. esetben a biológiánál 30%-os gátlás jelentkezett, a IV esetben pedig a szennyvíznek 30%-a bonthatatlanak bizonyult.

A III. esetben az eleveniszapos biológiában a lebontási gátlás (30%) jelentkezik: az elfolyó, tisztított szennyvíz BOI_5 értéke viszonylag kicsiny (10,5 mg/L) viszont a TOC értéke nagy (68,6 mg/L). Itt a IV esetben ismertetett helyzettel állunk szemben: az elfolyó szennyvíznek viszonylag kicsiny a bontható (BOI) hányada, viszont jelentős a TOC-ben kifejezett bonthatatlan hányad.

5. táblázat. A BOI₅ és a TOC kapcsolatát bemutató alapesetek összefoglalása

Megjegyzés	Nincs gátlás.			Gátlás: 30%-os a nyers szennyvíz BOI ₅ meghatározásánál. Eleveniszapos rendszerben nincs gátlás.			Gátlás: 30%-os, a BOI ₅ mérésnél az eleveniszapos rendszerben is.			Nincs gátlás, de 30%-a szubsztrátnak bonthatatlan.		
	I. eset.			II. eset.			III. eset.			IV. eset.		
Bevezetett nyers szennyvíz	BOI ₅ /TOC=1,7 BOI _{5t} BOI _{5m} TOC 300 mg/l 300 mg/l 180 mg/l			BOI ₅ /TOC=1,16 BOI _{5t} BOI _{5m} TOC 300 mg/l 210 mg/l 180 mg/l			BOI ₅ /TOC=1,16 BOI _{5t} BOI _{5m} TOC 300 mg/l 210 mg/l 180 mg/l			BOI ₅ /TOC=1,16 BOI _{5t} BOI _{5m} TOC 210 mg/l 210 mg/l 180 mg/l		
Biológiai lépcső	Lebontás: BOI _{5t} -re: 95,0 % BOI _{5m} -re: 95,0 % TOC -re: 90,0 %			Lebontás: BOI _{5t} -re: 95 % BOI _{5m} -re: 95 % TOC -re: 90 %			Lebontás: BOI _{5t} -re: 67 % BOI _{5m} -re: 95 % TOC -re: 63 %			Lebontás: BOI _{5t} -re: 95 % BOI _{5m} -re: 95 % TOC -re: 63 %		
Elfolyó tisztított szennyvíz	BOI ₅ /TOC=0,83 BOI _{5t} BOI _{5m} TOC 15,0 mg/l 15,0 mg/l 18,0 mg/l			BOI ₅ /TOC=0,83 BOI _{5t} BOI _{5m} TOC 15,0 mg/l 15,0 mg/l 18,0 mg/l			BOI ₅ /TOC=1,15 BOI _{5t} BOI _{5m} TOC 100,5 mg/l 10,5 mg/l 66,6 mg/l			BOI ₅ /TOC=1,15 BOI _{5t} BOI _{5m} TOC 10,5 mg/l 10,5 mg/l 66,6 mg/l		

Jelmagyarázat:

BOI_{5t} - tényleges BOI₅ érték (mg/L)

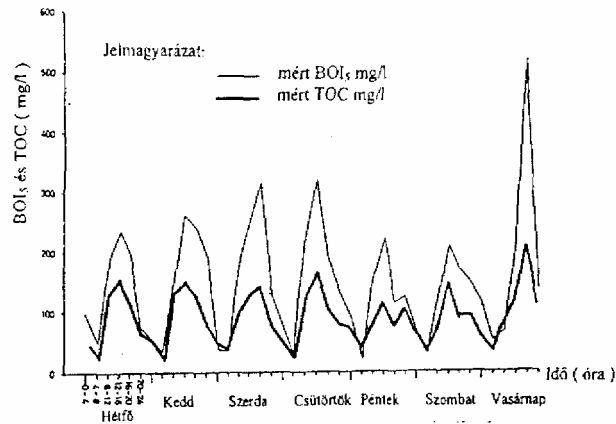
BOI_{5m} - mindenkor mért BOI₅ érték (mg/L) TOC - összes szerves szén (mg/L)

A fentiekben ismertetett BOI₅ és TOC összefüggések ismertetése alapján látható, hogy a két paraméter egymástól nem független és vízminőség megítélésében sem hagyatkozhatunk csak az egyik paraméterre. Az állandó BOI₅/TOC aránnyal üzemelő szennyvíztelepen a TOC jól használható paraméter.

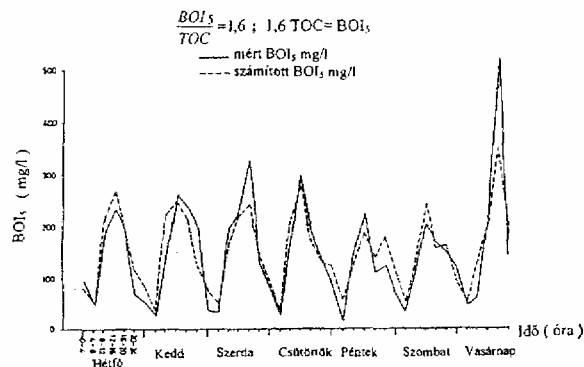
Általában, ha a befolyó víznek nagy a TOC tartalma akkor az elfolyóban C tartalom kicsiny, azaz a biológiai lebontás jó hatásfokú és zavartalan. Ha a befolyó és elfolyó szennyvízben a TOC tartalom magas, akkor a következő esetleges üzemzavarokra lehet gondolni:

- a. túlterhelés,
- b. a befolyó szennyvízben nagy a bonthatatlan rész, de ezek nem mérgező anyagok,
- c. a befolyó szennyvízben nagy a bonthatatlan rész, de ezek az anyagok egyúttal mérgezőek,
- d. az a., és c., esetek kombinációja is előfordul.

3. ábra. Egy kommunális nyers szennyvíznél mért BOI_5 és a mért TOC értékek heti lefutása
(Offhaus, 1976)



4. ábra. Egy kommunális nyers szennyvíznél a TOC értékek alapján számított és a ténylegesen mért BOI_5 értékek heti lefutása
(Offhaus, 1976)



Offhaus (1976) egyértelműen ajánlja a szennyvíztelepeken a BOI_5 mérés mellett a TOC mérés bevezetését. A 3. ábrán egy kommunális szennyvíztelepre érkező nyers szennyvízben a mért BOI_5 és mért TOC értékek heti lefutását mutatjuk be. Az ábra alapján megállapítható, hogy a TOC lefutását a BOI_5 görbe jól követi, tehát a hosszadalmas BOI_5 mérés helyett a TOC-vel a szennyvíz jól jellemezhető. Természetesen, ha a szennyvízzel változó mennyiségben nehezen bontható és esetleg toxikus szennyvizek is érkeznek, akkor a BOI_5 görbe lefutása nem követi a TOC görbe lefutását. A 4. ábrán bemutatjuk egy kommunális szennyvíznél a TOC alapján számított és a ténylegesen mért BOI_5 értékeinek heti lefutását. A mért és számított értékek jó egyezést mutatnak. A jó egyezés feltétele, hogy változó szennyvíz összetétel mellett a BOI_5/TOC arányt mérésekkel gyakran kell ellenőrizni, mert a BOI_5 számítás alapja a BOI_5/TOC arány pontos ismerete.

4.3. A BOI_5 , a TOC és a KOI kapcsolata

Az ipari szennyvízeknél előfordul, hogy az oltó baktérium koncentráció kicsiny és a gátlóanyagok (formaldehid, hangyasav, stb.) lemérgezik a BOI -mintát. A szennyvíztelepen ugyanekkora koncentrációban ezek az anyagok gyakran nem gátolják a biológiai lebontást, mert a levegőztető medencében a baktérium koncentráció sokkal nagyobb, mint BOI -t mérő palackban.

A nehezen bontható szennyvízeknél előfordul, hogy a BOI_5 formájában mért oxigén-fogyasztással csak az oltó iszap endogén légzését mérjük, mert az oltóiszappal bevitt baktérium kultúra eleve nem képes bontani a szubsztrátot vagy adaptáció hiánya miatt nem megy végbe a bontás.

4.3.1. BOI_5/KOI és BOI_5/TOC arányok összefüggése

A kommunális szennyvizekre vonatkozóan a KOI , TOC és BOI_5 szervesanyagokat jellemző összegző paraméterek összefüggéseit a 6. táblázat mutatja be.

6. táblázat. A KOI , a TOC és a BOI_5 összegző paraméterek összefüggése a kommunális szennyvizeknél
(Moser, Kreuzinger, 1995)

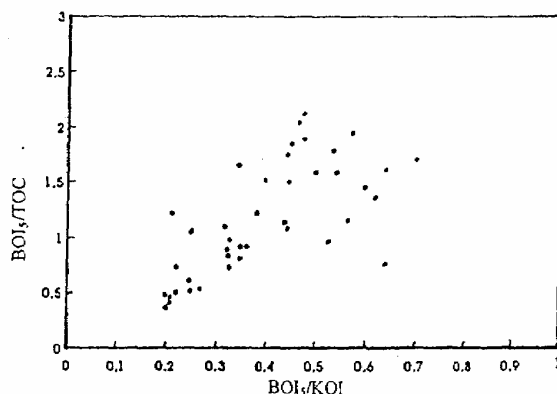
Paraméter	Nyers szennyvíz	Tisztított szennyvíz	
		Terhelés: 0,3 kg BOI_5 /kg nap	Terhelés: 0,05 kg BOI_5 /kgnap
KOI/TOC	3,0-3,5	3,0-3,5	2,9-3,4
KOI/BOI_5	1,6-2,0	3,0-4,0	5-10
TOC/BOI_5	0,5-0,6	1,0-2,0	1,5-3,0

Gyakran használják a nyers szennyvizek jellemzésére a BOI_5/KOI (0,5-0,6) a BOI_5/TOC (1,6-2,0) arányokat is. Az ilyen formában kifejezett arányok talán szemléletesebben mutatják, hogy a KOI vagy a TOC hány %-a bontható BOI_5 -ben kifejezve.

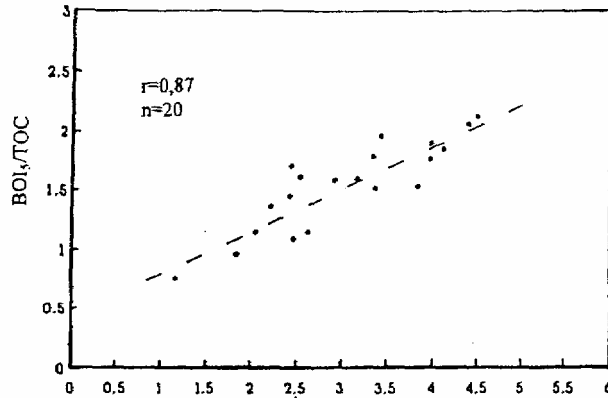
A 6. táblázat adatai alapján megállapítható, hogy a terhelés csökkentésével javul az elfolyó, tisztított szennyvíz minősége, azaz csökken az elfolyó vízben a biológiailag bontható rész, ezzel egybehangzóan nő a KOI/BOI_5 arány (5-10).

Az 5. ábrán különböző eredetű ipari-kommunális szennyvizeknél bemutatjuk a BOI/TOC és a BOI/KOI összefüggést.

5. ábra: Különböző ipari eredetű szennyvizeknél a BOI_5/TOC arány és a BOI_5/KOI arány kapcsolata
(Kerpen, 1989)



A BOI_5/KOI jellemzi a szennyvíz bonthatóságát. A szennyvizeknél mérhető legnagyobb BOI/KOI arány 0,6-0,7 között változik ilyen arány mellett az oldott frakciót a biológia > 90%-os hatásfokkal bontja le. Az ábrán látható, hogy a két arány között viszonylag laza a kapcsolat, nagy a szórás. A vizsgált szennyvizeknél a BOI_5/TOC arány átlaga 1,54 a BOI/KOI arány > 0,4 érték körül mozgott.



6. ábra. BOI₅/TOC arány és a KOI/TOC arány kapcsolata (Kerpen, 1989)

A BOI₅/TOC és KOI/TOC arányok közötti összefüggést *Kerpen* (1989) nyomán a 6. ábrán mutatjuk be.

A két arány között lineáris kapcsolat van. A regressziós egyenes egyenlete:

$$\text{BOI}_5/\text{TOC} = 0,46 + (0,35 \cdot \text{KOI}/\text{TOC}) \quad (3)$$

Az összefüggés korrelációs tényezője 0,87 és ehhez 0,99 szignifikancia szint tartozik.

A (2) összefüggésből a TOC és a KOI ismerete alapján egy biológiailag bontható szennyvíz BOI₅ értékét kiszámíthatjuk. A fenti módszerrel a BOI₅ értéke természetesen csak tájékoztató jelleggel számítható ki.

A (2) egyenletből kiindulva a BOI₅, TOC és a KOI közötti összefüggést az alábbi "ököl" szabály írja le:

$$\text{BOI}_5/\text{TOC} = 0,5 + (1/3 \cdot \text{KOI}/\text{TOC}) \quad (4)$$

$$\text{BOI}_5 = 1/2 \text{ TOC} + 1/3 \text{ KOI} \quad (5)$$

A fenti összefüggésekkel számolt BOI₅ becslést jól alkalmazhatjuk:

- egy új, biológiailag bontható szennyvíznek a szennyvíztelepre történő bevezetéséből adódó új biológiai terhelés számításánál
- egy szennyvíz oxidatív előkezelésével a szennyvíztelepen elérhető biológiai terhelés csökkenés számítására

4.4. A nitrogén vegyületek jellemzése összegző paraméterekkel

A szennyvizek minőségét és a szennyvíz tisztítási technológiai folyamat nitrogén tápanyag forgalmát leíró összegző paramétereket *Soeder* és *Groeneweg* (1993) nyomán a 7. táblázatban foglaltuk össze.

A szennyvizek összes nitrogén (TN) tartalma az alábbi összefüggéssel írható le (az egyes jelölések megnevezését lásd 7. táblázat):

$$\text{TN} = \text{TIN} + \text{DON} + \text{PON} + \text{N}_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{NO-N} \quad (6)$$

A N₂, N₂O és NO-N frakcióknak a szennyvizekben nincs különösebb jelentősége, tehát azokat az (6) összefüggésből elhagyhatjuk.

$$TN = TIN + DON + PON$$

(7)

A nitrogén formák meghatározása három fő reakción alapszik:

- a szerves nitrogént kénsavas közegben katalizátor jelenlétében elroncsoljuk, majd a szerves N-nek megfelelő ammóniát kolorimetrikusan vagy desztillációs módszerrel határozzuk meg,

7. táblázat: A nitrogén vegyületek összegző paramétereinek összefoglalása

Rövidítés	A fogalom megnevezése	Komponensek megnevezése
1	2	3
TN	összes nitrogén	TIN+DON+PON+N ₂ +N ₂ O-N+NO-N
TIN	összes szervesen kötött nitrogén	NH _x -N+NO ₂ ⁻ -N+NO ₃ ⁻ -N (a gáz formájú vegyületek nélkül)
DON	összes szervesen kötött nitrogén	a szűrhető frakció < 45 μm
PON	lebegő anyagban kötött szerves nitrogén	45 μm-es szűrővel kiszűrhető frakció
NH _x -N	ammónia/ammónium vegyületek	NH ₃ -N + NH ₄ ⁺ -N
NO ₂ ⁻ -N	nitrit-nitrogén	-
NO ₃ ⁻ -N	nitrát-nitrogén	-
N ₂	nitrogén gáz	-
N ₂ O-N	dinitrogén oxid nitrogén	-
NO-N	nitrogénoxid-nitrogén	-

- oxidáció (peroxidiszulfáttal) hatására 700°C-on az ammónia és a szerves-N nitráttá oxidálódik és nitrát formájában mérhető,

- a szerves N elroncsolása előtt Dewarda ötvözet jelenlétében az összes nitrogén vegyület ammóniává redukálható, majd ezt követő roncsolás segítségével az ammónia és a szerves N meghatározható.

A roncsolásos meghatározásnak nagyobb a hibája, mint a szerves (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻) nitrogén formák meghatározásának. Lebegőanyag tartalmú mintákat roncsolás előtt gondosan homogenizálni kell. Valamennyi N-formánál különösen a 0,5 mgN/L érték alatti koncentrációk mérésénél a mérési módszerekből (termikus roncsolás) adódóan nagy bizonytalanságok mutatkoznak. Ennek bizonyítására Mosey (1995) nyomán a 8. táblázatban különböző bemérési koncentrációk mellett, a különböző nitrogén-formákra kapott mérési eredményeket mutatjuk be.

A <1,0 mgN/L érték alatt valamennyi fontosabb nitrogén-forma meghatározása nagy pontatlansággal jár. A szennyvíztisztítási gyakorlatban általában még az elfolyó, tisztított szennyvizeknél is a TN (összes nitrogén) koncentráció 5 mg/L érték fölött van.

8. táblázat Különböző nitrogén vegyületek analízis eredményeinek összefoglalása
(Moser, Kreuzinger, 1995)

Jelmagyarázat: ()-ben megadott számok átlagértéket jelentenek.

NH ₄ -N (mg/l)		NO ₃ -N (mg/l)		NO ₂ -N (mg/l)		Karbamid mg/l	
Bemért	Visszamért	Bemért	Visszamért	Bemért	Visszamért	Bemért	Visszamért
0,3	0,4-0,8 (0,7)	0,3	0,3-1,2 (0,7)	0,3	0,7-1,5 (1,1)	0,3	0,9-3,2 (1,5)
0,5	0,0-0,5 (0,1)	0,5	0,8-2,9 (1,6)	0,5	1,0-1,2 (1,1)	0,5	0,8-1,6 (1,1)
1,0	0,4-1,2 (0,7)	1,0	1,3-2,8 (1,7)	1,0	1,1-2,8 (1,6)	1,0	1,2-1,6 (1,5)
5,0	4,3-5,7 (5,1)	5,0	4,6-7,1 (5,4)	5,0	4,1-6,8 (4,6)	5,0	4,0-5,8 (4,8)

Ez azt jelenti, hogy a meghatározás pontossága > 5 mgN/L koncentráció érték fölött javul és a mérési adatok a technológia nyomon követésére megfelelőek.

A meghatározás viszonylag nagy pontatlansága oxidációs, redukciós és termikus roncsolásos módszerek bizonytalanságából ered. A roncsolással azid, azo, hidrazo kötéseket tartalmazó, és heterociklusos nitrogén vegyületeket nem lehet quantitative meghatározni.

4.5. Az UV-abszorpció (SAK) és a KOI kapcsolata

Az UV abszorpció (SAK) 254 nm-es hullámhosszon jellemző a vizek és szennyvizek oldott szervesanyag-tartalmára. Kapcsolatba hozható KOI, TOC és DOC paraméterekkel. A szerves anyagot jellemző összegző paraméterek (KOI, TOC és DOC) és a SAK összefüggéseiből talán a legfontosabb a KOI és a SAK kapcsolata. Az alábbiakban *Nowack és Ueberbach* (1995) nyomán összefoglaljuk a KOI és a SAK paraméterek kapcsolatát. A 7. ábrán bemutatjuk a nordheimi szennyvíztelep előülepített szennyvizét - azonos időpontban mért -jellemező KOI és SAK összegző paraméterek összefüggését.

Megállapítható, hogy a KOI és a SAK paraméterek közötti függvény kapcsolat lineáris. Ez a szoros lineáris kapcsolat azt mutatja, hogy egy jól definiált összetételű szennyvíznél (pl. kommunális), ha kimérjük a KOI és SAK összefüggését, akkor ezt követően a KOI mérést SAK méréssel helyettesíthetjük. A KOI mérés relatív hibája 19-17%, a SAK meghatározásé pedig 1,21,6% között ingadozik. Tehát a SAK mérés relatíve pontosabb, mint a KOI mérés.

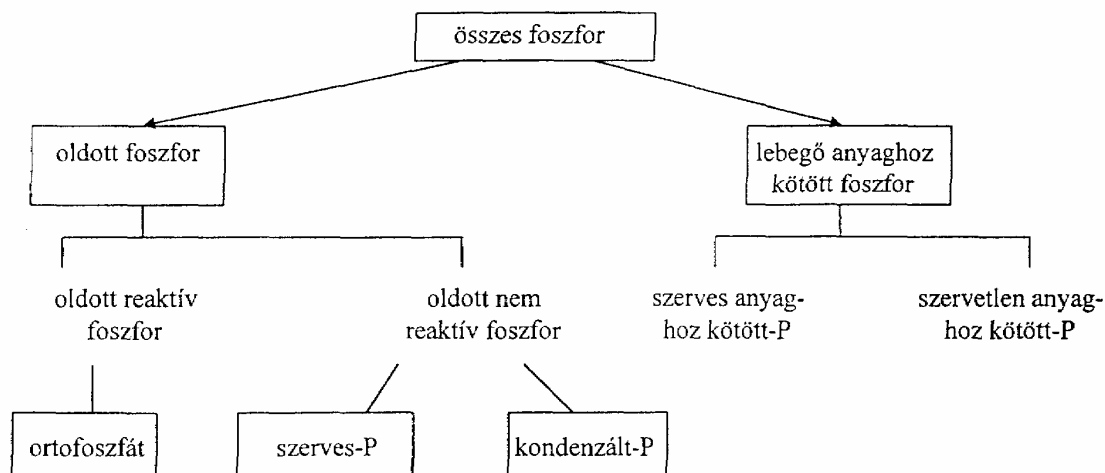
A SAK abszorpció mérés lényegesen egyszerűbb és gyorsabb, mint a KOI meghatározás. A SAK szonda folyamatos mérési jeleket szolgáltat ugyanakkor a jelenlegi technikai szinten a KOI mérésnél ez nem biztosítható. Az LIV abszorpció mérését a felszíni vizek minőségének folyamatos ellenőrzésére (monitoring) már régóta használják. A vizsgálatok bebizonyították, hogy az UV abszorpció a felszíni vizeknél lényegesen szennyezettebb vizek (pl. a szennyvizek) szervesanyag tartalmának mérésére is jól alkalmazható.

5. Foszfor vegyületek jellemzése

Az összes P és annak egyéb foszforformákra történő felosztását a 8. ábra mutatja be. A 7. ábrán bemutatott foszfor-formák nyomon kíséréssel a szennyvíztisztítási technológia egyes lépéseiben lejátszódó komplex foszforeltávolítási folyamatot tudjuk nyomon kísérni. A gyakorlatban az összes P-t (ö. P), összes oldott foszfor (ö.o.P) és az ortofoszfát (PO₄³⁻) meghatározására van szükség. Az ö.P-t és az ö.o. P-t erősen savas közegben végzett peroxidiszulfátos roncsolással határozzák meg. Az ortofoszfát mérésére több színreakció áll rendelkezésünkre.

6. Lebegőanyagok mérése

Az oldhatatlan lebegőszennyezők lehetnek szerves és szervetlen eredetűek. A viselkedést illetően a lebegőanyagok leülepedhetnek, lebeghetnek és felúszhatnak. A lebegőanyagok meghatározása hagyományos szűrési és ezt követő szárítási műveletekkel hosszú és körülményes. A kis lebegőanyag tartalmú (<300 mg/L) vizeket zavarosság méréssel, nagyobb koncentrációjú (1-4 g/L) iszapok lebegőanyag tartalmát két-fényutas fotocellákkal és ultrahang mérőkkel lehet meghatározni.



7. ábra. Különböző foszforformák kapcsolata (Dobolyi, 1979)

7. Toxicitás vizsgálat

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) rendszerénél jelentkezik (vagy nem) és a biológiai rendszer válaszából (mérési jel) következtetünk az anyag toxikus hatására. Az idők folyamán nagyon sokféle toxicitás mérési eljárás (alga, Daphnia, hal, enzim aktivitás, baktérium teszt stb.) fejlődött ki. A toxicitás vizsgálatok egy része kizárólag élővízes befogadók minősítésére alkalmas. Az eleveniszapos tisztítási technológia szempontjából kizárólag azok a toxicitási tesztek jöhetnek szóba, amelyek az eleveniszapos lebontási aktivitás változásának mértékére adnak választ.

Az eleveniszapos biológiai tisztítás megítélése szempontjából legegyszerűbb és leghasználhatóbb toxicitási teszt a *Rüffer és Verink* (1985) által ismertetett ún. Wagner féle BOI-teszt. A Wagner féle BOI-teszt végrehajtására Ford (1992) által javított respirometrikus elven működő BOI mérő alkalmas berendezés. A módszer lényege, hogy a szennyvíz vagy a vizsgálandó anyagnál felvesszük a BOI_5 és az anyag koncentráció (pl. térf.%-ban kifejezve) összefüggését.

Itt nem részletezve a 9. ábrán bemutatott görbe egyenes szakaszának egyenletét a következőképpen írhatjuk fel:

$$\frac{1}{1-a} BOI_k = \frac{a}{1-a} BOI_{sz} + BOI_0 \quad (8)$$

ahol: BOI_k - a kevert (szennyvíz + oltóvíz + hígítóvíz) minta BOI értéke

BOI_{sz} - a szennyvízminta BOI értéke

BOI_0 - az oltó minta BOI értéke

a - a minta térfogati aránya a keverékben

Az egyenlet egy egyenes egyenletének felel meg:

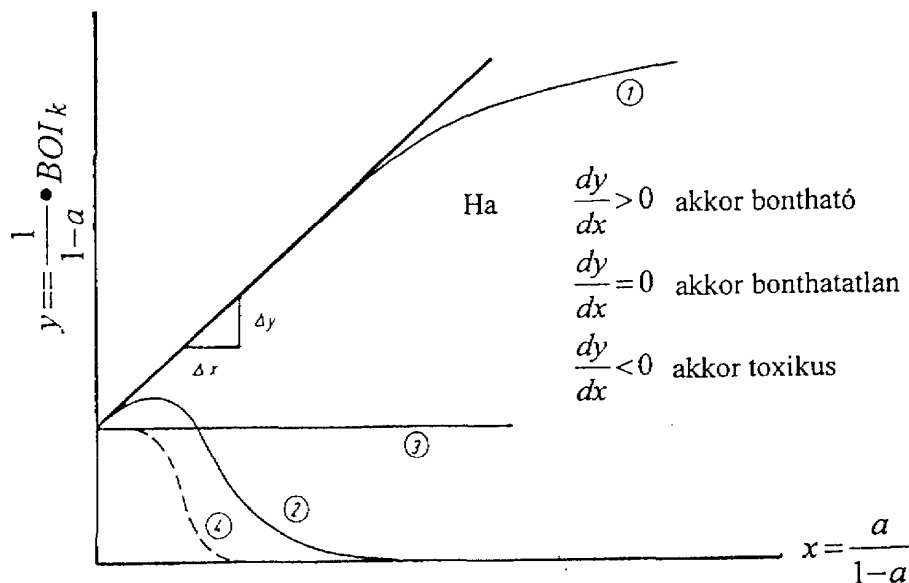
$$Y = mX + b$$

(9)

A 8. ábra alapján látható, hogy a BOI_5 értéke (Y) a szennyvíz koncentráció (X) növekedésével lineárisan nő (O jelű görbe), majd beáll egy telítési érték és tovább nem növekszik. Az ábra alapján az alábbi alapeseteket különböztethetjük meg:

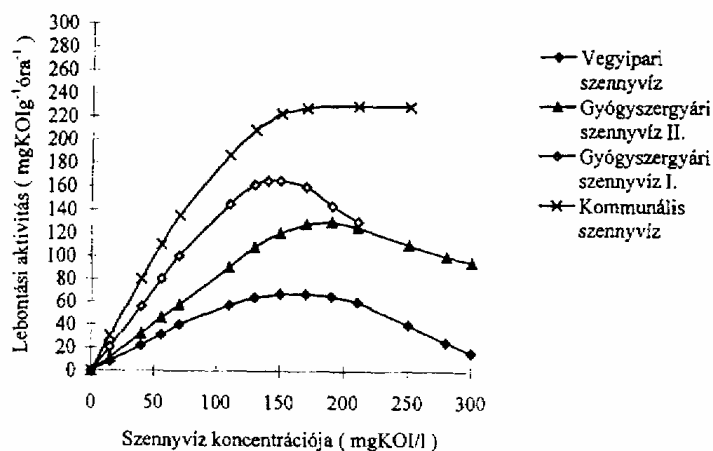
- Kicsiny szubsztrát koncentráció értékeknél nincs gátlás, nagyobb koncentrációnál lehetséges a gátlás. Ez az összefüggés érvényes minden biológiailag jól bontható anyagra.
- Kicsiny koncentrációnál nincs gátlás. A lebontás egy maximum görbét ír le, ami azt jelenti, hogy koncentráció elérése után a mérgezés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

A fentiekben ismertetett toxicitás vizsgálati módszert lehet egyszerűsíteni oly módon, hogy a hosszadalmas BOI_5 mérési módszert lényegesen gyorsabb RBOI vagy lebontási aktivitás ($\text{mgKOI g}^{-1} \text{óra}^{-1}$) méréssel helyettesítjük. Az FCSM Rt Vízügyi Osztályán az ipari szennyvizek toxicitás vizsgálatánál ezt a módszert alkalmazzuk. A 9. ábrán néhány ipari eredetű szennyvíz toxicitási görbéjét mutatjuk be: a kommunális szennyvíz aktivitás koncentráció kapcsolata követi a klasszikus Monod összefüggést.



8. ábra. A BOI és a szennyvíz koncentráció elvi összefüggése különböző bonthatóságú szubsztrátok esetében (Rüffer, Verink, 1985)

9. ábra: Néhány ipari eredetű szennyvíztoxicitás görbéje
(Oláh; Szutrély, FCSM. Rt. 1996.)



A gyógyszerügyi I-II és vegyipari szennyvizek görbéi 140, 180 és 170 mg KOI/L koncentrációknál maximumot mutatnak, ez azt jelenti, hogy ezeknél a koncentráció értékeknél a lebontási sebesség eléri a maximumot és a szennyvíz koncentráció további növekedésével a lebontási sebesség már csökken. Az eleveniszapos rendszerben a görbe maximumához tartozó koncentrációnál jelentkezik a szennyvíz toxikus hatása.

Összefoglalás

A szennyvizek szerves anyag és más jellemző vegyületeinek száma - még azonos típusú szennyvizek esetén is - időről - időre nagymértékben változik.

A szennyvizekben lévő vegyületek nagy számát a tetemes analitikai munka és ezzel járó nagy költségek miatt képtelenség lenne meghatározni. A fenti analitikai nehézségek megoldására az ún. összegző paramétereket vezették be.

Az összegző paraméterekkel a szennyező anyagokat az egyes anyag csoportokat jól jellemző reakciók (pl. szín reakciók: NH_4^- , PO_4^{3-} meghatározás) és az azonos kémiai kötések (pl. C-H kötés: TOC meghatározás) tartalmazó elemek meghatározása révén lehet jellemezni. Az összegző paraméterek másik csoportjának meghatározási elve azon alapszik, hogy bizonyos reagensek meghatározott anyagcsoportokkal (pl. O_2 mérés oxidációval: KOI, BOI_5) azonos módon reagálnak, továbbá egyes anyagok bizonyos élőlényekre (baktériumok, algák stb.) azonos hatást fejtenek ki.

Szennyvíz technológiában az összegző paraméterek alkalmazása az alábbi előnyökkel jár:

- Szennyvíztelep tervezésénél, működésének felülvizsgálatánál az összegző paraméterek komplexebb képet adnak a telep működéséről, mint az egyes vegyület komponensek (pl. fenol, ecetsav stb.) koncentráció változásainak nyomon követése
- Az egyes anyag-féleségek kémiai összetételét a gyártók a piaci helyzetnek megfelelően gyorsan változtatják, tehát az egyes komponensek (pl. tenzidok, peszticid termékek stb.) meghatározását analitikai módszerek fejlesztésével nagyon nehéz nyomon követni. Ezzel szemben a megfelelő összegző paraméter a kérdéses anyagcsoportra jellemző reakció alapján valamennyi szennyező anyagot együtt méri.
- A szintetikus ipar által a szennyvízbe bocsátott termékeket, azok nagy száma miatt egyedi reakciókkal azonosítani ma már szinte lehetetlen, ezért az egyes termék csoportok jellemzésévei csak az összegző paraméterek alkalmazhatók.

A szerves anyagot jellemző legfontosabb összegző paraméterek a BOI_5 KOI és a TOC. A három paraméter között Kerpen (1989) a kommunális szennyvizekre az alábbi összefüggést mérte ki:

$$\text{BOI}_5/\text{TOC}=0,5+(1/3\cdot\text{KOI}/\text{TOC})$$

Az UV abszorpció (SAK) és a KOI összegző paraméterek szoros lineáris kapcsolatot mutatnak, ami azt jelenti hogy a KOI mérés - kiegyenlített szennyvíz minőség esetében - UV abszorpció méréssel helyettesíthető. Az UV abszorpció mérése egyszerű, nem költséges és a szonda folyamatos jelet szolgáltat. A hazai szennyvíztisztítási gyakorlatban az összes nitrogén és ezen belül a szerves nitrogén összegzőparaméter nem szerepel a vízminőségi előírásokban. A jövőben fel kell készülni a fenti paraméterek mérésére, mert az EU-országokban a kibocsátott szennyvizeknél az összes-nitrogén fontos vízminőségi jellemző. Az eleveniszapos tisztítási technológia szempontjából kizárólag azok a toxicitási tesztek jöhetnek szóba, amelyek az összegző teszt vizsgálat eredményeképpen a lebontási aktivitás változásának mértékére adnak választ. Ezt a kívánalmat az ún. Wagner féle toxicitási teszt kielégíti. Az FCSM Rt.-ben az ipari szennyvizek toxicitás vizsgálatára a Wagner féle toxicitási tesztet eredményesen alkalmazzuk.

Irodalom:

- Dobolyi, E. (1979): Az oldott szerves-foszfor meghatározása Balaton-vízben ultraibolya sugaras roncsolással. Hidrobiológiai Közlemény, 5, 211-215.
- Eckenfelder, W., W., Grau, P. [1992]: Activated Sludge Process Design and Control: Theory and Practice. Technomic. Lancaster. Basel, 188, 230.
- Edzwald, J.K., Becker, W.C., Wattier, K.L. (1985): Surrogate Parameters for Monitoring Organic Matter and THM Precursors. Research and Technology. Journal AWWA. April. 122- 132.
- Ford, D.L. [1992]: Toxicity Reduction. Evaluation and Control. Volume 3. Technomic. Lancaster. Basel., 1- 16.
- Hefler, F. [1995]: Anwendung von Summenparametern in der AbwasserGesetzgebung und - Überwachung. In: Alte und neu Summenparameter. Einsatz in der Wasser - und Abwassertechnik. Wiener Mitteilungen. Herausgeber: Matsché, Technische Universität Wien. Seminar Wien 1./2. Juni 1995, 127, A-1-A-12.
- Hein, D. [1991]: Kann der TOC den CSB in der Abwasser - überwachung ersetzen? Korrespondenz Abwasser 38. Jahrgang. 10, 1358- 1361
- Kerpen, H., U. [1989]: Abschätzung des BSBS in industriellem biologisch gut abbaubaren Abwasser aus der Messung von TOC und CSB. Korrespondenz Abwasser 36 Jahrgang, 9, 101 1- 1014.
- Mc Carty, P.L., Aiet, E.M. [1984]: Chemical Indicators and Surrogate Parameters in Water Treatment. Research and Technology. Journal AWWA. October 98-106.
- Moser, D., Kreuzinger, N. [1995]: Summenparameter in der Abwassertechnik-eine kritische Betrachtung. In: Alte und neu Summenparameter, Einsatz in der Wasser - und Abwassertechnik. Wiener Mitteilungen. Herausgeber: Matsché, Technische Universität Wien. Seminar Wien 1./2. Juni 1995, 127, B-1-B-45.
- Nowack, G., Ueberbach, O. [1995]: Die kontinuierliche SAK-Messung-Aussagekraft, statistische Sicherheit und Anwendungen. In: Alte und neu Summenparameter. Wiener Mitteilungen. Wasser. Abwasser. Gewässer. Seminar Wien 1/2. Juni 1995. E1-E31.
- Offhaus, K. (1976): Zusammenhang zwischen BSBS-TOC-TOD. Vom Wasser, 46, 65-84.
- Oláh J., Öllös G. [1997]: Összegző paraméterek alkalmazása a szennyvíztelepek tervezésében és üzemirányításában. Csatornamű Információ 2. 4-10.
- Öllös G. [1991]: Csatornázás - Szennyvíztisztítás I.II. Budapest AQUA Kiadó
- Öllös G. [1994., 1995.): Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése I.II. Akadémia Kiadó
- Öllös G. [1998): Vízisztítás - Üzemeltetés Egri Nyomda Kft. Budapest
- Rüffer, H., Verink, J. (1985): Test zur Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit In: Lehr und Handbuch der Abwasser Technik. Band II. Verlag von Wilhelm Ernst Sohn. Berlin. München. Düsseldorf. 155I 60.
- Soeder C. J., Groeneweg, J. (1993): Terminologie der Stickstoff - Summenparameter. Korrespondenz Abwasser. 40. Jahrgang. 1 1, 1800 - 1805.