



## Az üledék-toxicitás térbeli eloszlásának vizsgálata a Kis-Balaton Víztisztítási Rendszer II. ütemének területén

Kováts N.<sup>1</sup>, Borbély G.<sup>1</sup>, Magyar I.<sup>1</sup>, Szép Zs.<sup>1</sup>, Paulovits G.<sup>2</sup>,  
Pomogyi P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Veszprémi Egyetem Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, 8200 Veszprém Egyetem u. 10

<sup>2</sup>MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, 8237 Tihany Klebersberg Kunó u. 3

<sup>3</sup>Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Kis-balatoni Üzemmérnökség, 8360 Keszthely Csik Ferenc sétány 1.

### ÖSSZEFOGLALÁS

1863 előtt a Kis-Balaton a Balaton előtt természetes szűrőmezőt képezett, amely a Zálával érkező tápanyag jelentős részét visszatartotta. 1863-ban a Sió-zsilip megépítésével megeremlődtek a feltételek a Balaton vízszint-szabályozásához. A vízszint szabályozása és alacsony szinten tartása következtében a Kis-Balaton mocsarai összezsugorodtak, a szűrőmező funkciója csökkent. Mindennek következményeképpen a tó vízminősége az 1960-as évektől kezdődően megnőtt tápanyagterhelés hatására romlásnak indult, az eutrofizáció felgyorsult, 1970 után a tó eutróf-hipertróf állapotba jutott. A Kis-Balaton Víztisztítási Rendszer (KBVR) fő célja a Balaton tápanyagterhelésének csökkentése volt, két tározórész segítségével. Bár a rendszer kialakításának elsődlegesen vízminőségvédelmi okai voltak, a terület egyben jelentős természetvédelmi értéket képvisel. 1979-ben felkerült a Ramsar Vizes Élőhelyek listájára. A KBVR hatékonyságát, a bemenő és kimenő vízminőségi mutatókat rendszeres monitoringvizsgálat keretében figyelik. Nincs lehetőség viszont arra, hogy a diffúz szennyezőforrások (pl. mezőgazdasági területek) által okozott terhelést kimutassák. Célunk annak a vizsgálata volt, hogyan alakul az 1992-ben részlegesen elárasztott II. tározó üledékének szennyezettsége a tározót érő külső terhelés következtében, részletesen elemezve a szennyezettség térbeli eloszlását, az eloszlásban mutatkozó trendeket. Az üledékszennyezettség térképezéséhez a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság Kis-balatoni Üzemmérnökségétől származó digitális ortofotót használtuk. (Kulcsszavak: Kis-Balaton Víztisztítási Rendszer, üledéktoxicitás, ToxAlert, kockázattérképezés)

### ABSTRACT

#### Analysis of spatial distribution of sediment toxicity in the 2<sup>nd</sup> reservoir of the Kis Balaton Water Protection System

N. Kováts<sup>1</sup>, G. Borbély<sup>1</sup>, I. Magyar<sup>1</sup>, Zs. Szép<sup>1</sup>, G. Paulovits<sup>2</sup> and P. Pomogyi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of Veszprém, Dept. of Environmental Engineering and Chemical Technology H-8200 Veszprém Egyetem Str. 10

<sup>2</sup>Balatoni Limnological Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences H-8237 Tihany Klebersberg Kunó Str. 3

<sup>3</sup>West Transdanubian Water Authority, Dept. Kis-Balaton, H-8360 Keszthely Csik Ferenc Str. 1

Prior to 1863 the Kis-Balaton functioned as a natural filter zone, retenting most of the nutrients carried by River Zala. In 1863 by the construction of the Sió sluice control of the water level of Lake Balaton became feasible. As a consequence, marshlands of Kis-Balaton

began to disappear and the filtering function started to degrade. Due to these facts water quality of the lake turned into eutrophic by the 1960's. Main function of the Kis-Balaton Water Protection System is the protection of the water quality of Lake Balaton by retaining most of the nutrients and suspended solids carried by the River Zala and other small watercourses in two reservoirs. Besides this natural cleaning function, however, Kis-Balaton is also a significant nature conservation area under the Ramsar Convention since 1979. Efficiency of the System is continuously monitored. However, load presented by diffuse pollution sources such as agricultural runoff cannot be determined. Our goal was to reveal how ecological risk in the stage 2 is determined by external sources, analysing spatial distribution and trends in contamination. For mapping contamination digital orthophoto provided by the Western-Transdanubian Water Authority was used.

(Keywords: Kis-Balaton Water Protection System, sediment toxicity, ToxAlert, risk mapping)

## BEVEZETÉS

A Kis-Balaton története szorosan összefügg a Balaton történetével, mely világviszonylatban is az egyik legjobban kutatott tavak egyike. Az ősi Balaton vízszintje magasabb volt a mainál. Az előfordult legmagasabb vízszintet 113.5 mAf értékre becsülik (Bendefy, 1968), a jelenlegi mintegy 104,8 m-rel szemben.

A Sió szabályozása 1831-ben kezdődött, ekkor a Balaton vízszintje 1 méterrel csökkent, és a Kis-Balaton partvonala is beljebb húzódott. 1863-ban készült el a Sió-zsilip, mely a Balaton vízszint szabályozásához teremtette meg a feltételeket. A szabályozás nem csak a Balatonban eredményezett még alacsonyabb vízszintet, de a kis-balatoni mocsarak is összezsugorodtak, szinte teljesen kiszáradtak. 1922-ig a Zaláról érkező árvek miatt még időszakosan nyílt vízfelszínnek jelentek meg. Ezt követően a folyómeder kotrási munkálatai mellett árvízvédelmi töltéseket is építettek, a Kis-Balaton sorsát ezzel végleg megpecsételve. Csupán fél négyzetkilométeres szabad víztükör maradt, a többi elborították a vízinövények (Fekete et al., 1991).

1910-ben már Rieger Antal azt javasolta, hogy a volt Kis-Balaton területén található mocsarat áraszák el, ezzel tisztítva a Balatonba jutó vizet. Cholnoky Jenő 1942-ben újra felvetette ezt az ötletet. Azonban még hosszú ideig csak a viták folytak erről a lehetőségről, és eközben a Balaton vízminősége folyamatosan romlott. A 60-as években a tó vizének eutrofizációja következtében szükségessé vált a probléma kezelése (Magyarics et al., 1999).

A KBVR kiépítésére azért került sor, hogy a Balatonba jutó szennyező anyagokat, foszfor és lebegőanyag terhelést csökkentsék és a tóban az eutrofizálódást megállítsák. Ezt úgy képzelték el, hogy a területen található nádasok és sásosok természetes szűrő rendszert képezve, átlagosan kb. másfél hónap tartózkodási idő alatt (amit a terelőtöltések biztosítanak), felveszik a többlet tápanyagot. Ehhez a területet úgy kellett kialakítani, hogy a víztisztítási folyamatokban szerepet játszó fajok ökológiai igényeit is kielégítsék.

A Kis-Balaton Védőrendszer (KBVR) kialakítását két lépcsőben valósították meg. A Felső (Hídvégi-tó) tározó 1981-85 között került kiépítésre. Itt két különálló teret alakítottak ki, a fő tározót és a Kazettát. Ez utóbbi a havária jellegű szennyezések „csapdázására” 5 millió m<sup>3</sup> kapacitással rendelkezik. A Kis-Balaton ma Fenéki-tó néven említett tározója (valójában az eredetileg tervezett II. ütem egy része) 1992 őszén került elárasztásra.

1986 és 1997 között az I. ütem, a Hídvégi-tó mintegy 78000 t lebegőanyagot, 290 t összes foszfort (TP), 250 t ortofoszfát-foszfort (PO<sub>4</sub>-P) és 800 t összes nitrogént (TN)

tartott vissza. A II. ütem, a Fenéki-tó az I. ütemről érkező lebegőanyag mintegy 75%-át távolított el (Tátrai *et al.*, 2000).

Elsődleges célunk annak a vizsgálata volt, hogy a visszatartott szennyezés milyen kockázatot jelent a tározótérre, pontosabban a II. ütemre. Ennek elemzése már csak azért is fontos, mivel a Kis-Balaton vízminőségvédelmi Rendszer természetvédelmi szempontból kiemelt terület, elsősorban madárfaunája érdemel figyelmet (a Kis-Balaton 1979-ben Ramsar-területté nyilvánították).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### Mintavétel

A minták a Kis-Balaton II. ütemének területéről, valamint az előtte és az utána lévő Zala szakaszból származnak. A 2003. októberi mintavétel során Hargrave-mintavevőt, míg 2004. szeptemberében és októberében csőmintavevőt használtunk, az üledék felső 30 cm-es rétegéből vettünk mintát. A mintavételi helyek pontos meghatározása e-Trex Vista GPS készülékkel történt.

### Az üledékminták előkészítése a vizsgálatokhoz

A minták előkészítése az MSZ 21470/2-81 (1982) szabvány alapján történt. Az ökotoxikológiai tesztek elvégzéséhez kivonatot készítettünk, kivonószerként 0,1%-os dimetil-szulfoxidot (DMSO) használtunk.

### Toxicitásvizsgálat

A *Vibrio fischeri* (régebbi nevén *Photobacterium phosphoreum*) baktérium által kibocsátott fény (biolumineszcencia) gátlása az alapelve annak a tesztrendszernek, amelynek több kereskedelembe hozzáférhető változata létezik (a Merck által gyártott ToxAlert, az Azur által fémjelzett Microtox, ill. a LUMIStox). A mérgező anyag változásokat idéz elő a sejtalkotók állapotában – sejtfal, sejtmembrán, az elektrontranszport-rendszer, enzimek, a citoplazma alkotói – amelyek a biolumineszcencia csökkenésében mutatkoznak meg.

A tesztet bár eredetileg elsősorban szennyvíz minősítésére dolgozták ki, sikeresen alkalmazták szennyezett üledékek toxicitásának értékelésére is (pl. Bennett and Cabbage, 1992; Svenson *et al.*, 1996; Johnson and Long, 1998). Doherty (2001) szerint a teszt során kapott eredmények korrelálnak más, az üledék minősítésére szolgáló ökotoxikológiai tesztek eredményeivel.

A ToxAlert® 100 luminométer minden, a toxicitás értékeléséhez szükséges adatot automatikusan kiszámít. Először az  $f_{kt}$  korrekciós faktort számolja ki a mért lumineszcencia-intenzitásból ([1] egyenlet).

$$f_{kt} = I_{kt} / I_0 \quad (t=30 \text{ perc}) \quad [1]$$

ahol:

$f_{kt}$  az expozíciós (kontakt) időre megadott korrekciós faktor

$I_{kt}$  lumineszcencia intenzitás a kontrollban, RLU-ban (relative luminescence units) mérve, az expozíciós idő után

$I_0$  a kontroll tesztszuszpenzió lumineszcencia intenzitása közvetlenül a hígító (2%-os NaCl) oldat hozzáadása előtt.

A korrekciós faktor alkalmazásával az egyes tesztminta küvettákra kiszámolja  $I_0$  korrigált értékét ([2] egyenlet).

$$I_{ct} = I_0 \times f_{kt} \quad [2]$$

ahol:

$f_{kt}$  az  $f_{ikt}$  értékek átlaga

$l_0$  a kontroll tesztszuszpenzió lumineszcencia intenzitása közvetlenül a hígító (2%-os NaCl) oldat hozzáadása előtt

$l_{ct}$  az  $l_0$  korrigált értéke a tesztminta küvettákra közvetlenül a tesztminta hozzáadása előtt.

Ezek után a tesztminta  $H_t$  inhibeáló effektusát számítja ki ([3] egyenlet).

$$H_t = [(l_{ct} - l_{Tt}) / l_{ct}] \times 100 \quad [3]$$

ahol

$H_t$  a tesztminta inhibeáló effektusa az expozíciós idő után, %-ban megadva

$l_{ct}$  az  $l_0$  korrigált értéke a tesztminta küvettákra közvetlenül a tesztminta hozzáadása előtt

$l_{Tt}$  a tesztminta lumineszcencia intenzitása az expozíciós idő után.

Toxikusnak a 20% feletti gátlást mutató mintákat tekintjük (Suter, 1996).

#### Az eredmények térbeli értékelése

Alaptérképként a Nyugat-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság által rendelkezésünkre bocsátott digitális ortofotó szolgált. A térinformatikai feldolgozáshoz az ArcView 3.2 verzióját, a szennyezettség térbeli eloszlásának feltüntetésére a Golden Software által kifejlesztett Surfer8 kontúrozó és felületszerkesztő szoftvert használtuk.

## EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

Az 1. táblázat tartalmazza a 2003-ban, a Kis-Balaton II. fokozat elárasztott területén (Ingói-berek) vett minták koordinátáit, a 15 és 30 perc expozíciós idővel mért valamint az átlagolt toxicitás értékeket. A 2004. folyamán vett minták értékei a 2. és 3. táblázatokban láthatók.

### 1. táblázat.

#### Mért toxicitás értékek a KBVR II. ütemén, Ingói-berek, 2003. X. 16.

<Ht>: a tesztmintában tapasztalt gátlás az expozíciós idő után, %-ban megadva

Jel	Koordináták		15 min	30 min
			<Ht>	<Ht>
	EOV Y	EOV X	%	
1	507690,46	150477,90	14,55	11,70
2	507878,57	150182,47	61,60*	67,50*
3	508056,50	150102,26	25,85	21,15
4	508078,03	149934,96	20,00	13,60
5	508087,13	149565,95	19,80	14,00
6	508093,19	149284,12	14,60	13,85
7	508169,47	149111,82	17,95	14,20
8	508526,73	148953,24	37,15*	34,35*

\* 20%-os toxicitást meghaladó minták (toxicity values exceeding 20%)

Table 1: Calculated toxicity values in the II. reservoir of the KBWPS, 16.10.2003.  
<Ht>: inhibitory effect in the test sample after the exposure, in %

A KBVR II. ütem területén 2004. őszén két mintavételezés történt. Az első esetben 7 minta került megvételre. A második alkalommal 6 minta begyűjtésére került sor. Mint ahogy a koordinátákból is látható, a mérési pontok az egészhez képest túl kicsi területet fednek le ahhoz, hogy azokból egy eloszlástérképet legyen érdemes szerkeszteni. Ezeknek a mintavételi pontoknak az esetében egy-egy mintavételi terület pontjainak adataiból számított toxicitás-értékeket átlagoltuk, ezeket az 1. ábrán tüntettük fel.

## 2. táblázat

### Mért toxicitás értékek a KBVR II. ütemén, 2004. IX. 20.

<Ht>: a tesztmintában tapasztalt gátlás az expozíciós idő után, %-ban megadva

Jel (1)	Koordináták (2)		15 min	30 min
			<H <sub>t</sub> >	<H <sub>t</sub> >
	EOV Y	EOV X	%	
1	513173,85	152063,99	63,10	58,85
2	513167,26	152054,88	72,30	65,95
3	513108,65	152019,16	69,35	62,35
4	513098,32	151995,30	73,85	67,95
5	513079,55	151899,37	73,50	66,80
6	513052,19	151762,86	78,55	71,85
7	513127,67	152107,67	71,80	63,85

Table 2: Calculated toxicity values in the II. reservoir of the KBWPS, 20.09.2004. <Ht>: inhibitory effect in the test sample after the exposure, in %

Signal(1), Coordinates(2)

## 3. táblázat

### Mért toxicitás értékek a KBVR II. ütemén, 2004. X. 18.

<Ht>: a tesztmintában tapasztalt gátlás az expozíciós idő után, %-ban megadva

Jel (1)	Koordináták (2)		15 min	30 min
			<H <sub>t</sub> >	<H <sub>t</sub> >
	EOV Y	EOV X	%	
1	506783,80	145104,87	74,95	72,15
2	506719,18	145124,95	75,15	73,10
3	507813,60	145358,27	53,95	50,25
4	507809,47	145291,66	67,70	63,35
5	507733,32	145310,15	55,50	51,10
6	511479,89	150051,57	75,15	69,70

Calculated toxicity values in the II. reservoir of the KBWPS, 18.10.2004. <Ht>: inhibitory effect in the test sample after the exposure, in %

See Table 2

1. ábra

Áramlási irány szerinti átlagos toxicitás (% biolumineszcencia-gátlás)  
a KBVR II. ütemén

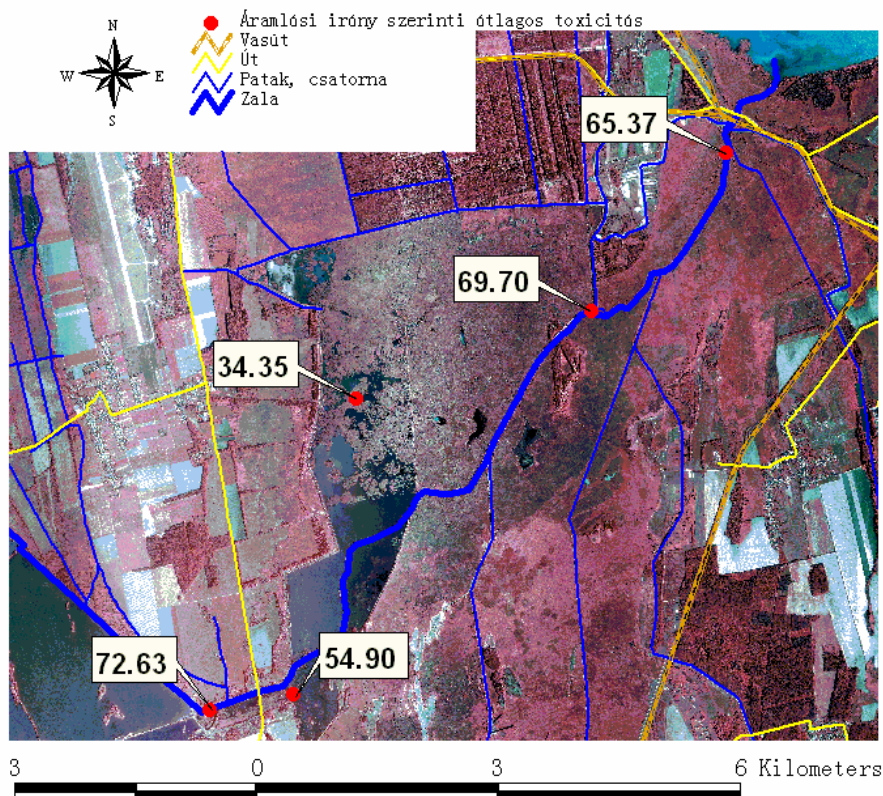


Figure 1: Average toxicity values (%bioluminescence inhibition) along water direction in the 2nd reservoir of the KBWPS

Az Ingói-berek 2003-as vizsgálati eredményeiből viszont létrehozható értékelhető eloszlástérkép (2. ábra). Ez esetben fontos, hogy az ábra értelmezésekor vegyük figyelembe, hogy nem csak az Ingói-berek nyílt vizét ábrázolja, hanem az azt Ny-ról határoló erdősávot is, illetve az attól szintén Ny-ra lévő vízenyős terület egy részét is. Nem tudtuk csak és kizárólag az Ingói-berek nyílt vizes területét ábrázolni, mivel a Surfer a vizsgált terület koordinátaminimumaira és -maximumaira fektetett téglalappal dolgozik.

Ha megnézzük az 1. ábrát, azt látjuk, hogy a terület Hidvégi-tó felőli végétől a kelet felé haladva – tulajdonképpen a folyásirányt követve – a toxicitás csökken. E tendencia két helyütt látszik megszakadni:

- Az Ingói-berekben a sármelléki repülőtér és környékének kisvizeinek betorkollási pontja környékén, és
- A Hévíz-Páhoki csatorna betorkollásánál.

## 2. ábra

**Toxicitás-eloszlás (% biolumineszcencia-gátlás) az Ingói-berek Ny-i oldalán, 2003. X. 16. a.) t=15 min b.) t=30 min expozíciós idő után**

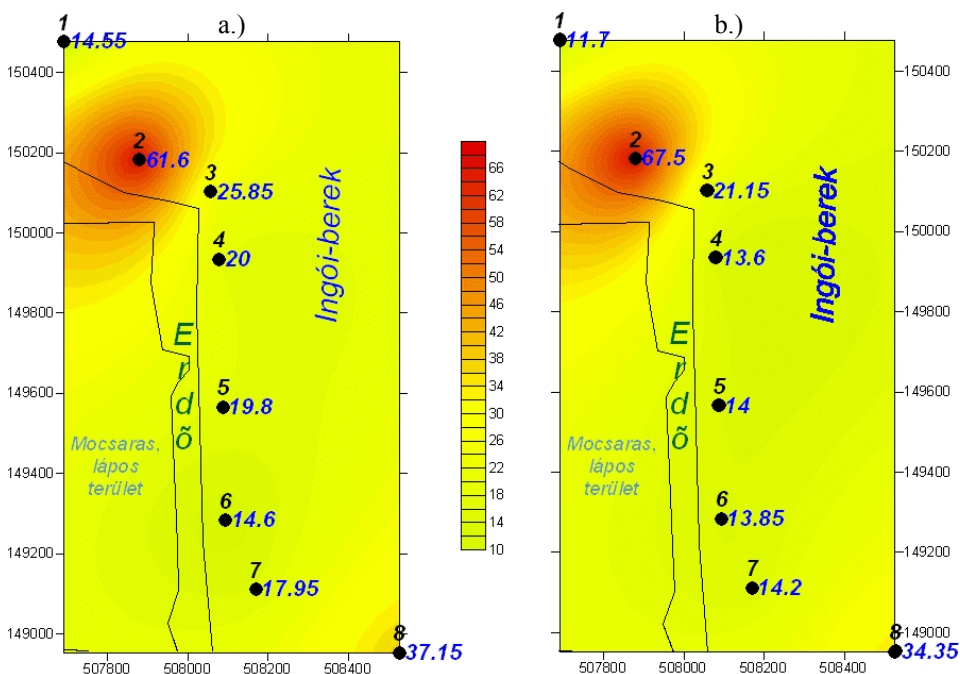


Figure 2: Distribution of toxicity (% bioluminescence inhibition) in the west of Ingói-berek (16.10.2003) a.) t=15 and b.) 30 min exposure

Azt láthatjuk, hogy folyásirány szerint a Hídvégi-tó végénél az iszap meglehetősen toxikus. A Fenéki-tóban aztán erősen csökken az üledék toxicitása, egészen addig, amíg a Hévíz-Páhoki-csatorna a Zala medrébe nem torkollik. Ez a toxicitás jelentős emelkedését okozza; az üledék toxicitása ismét majdnem olyan magas értéket ér el, mint közvetlenül a Hídvégi-tó után. Innen a Balatonig a toxicitás már nem csökken jelentősen.

### KÖVETKEZTETÉSEK

Az általunk vizsgált 3 mérési sorozat alapján elmondható, hogy az üledék toxicitása, melyet a biolumineszcencia-gátlás reprezentál, a KBVR I. ütemről (Hídvégi-tó) a II. ütemre (Fenéki-tó) történő átlépéskor magasnak számít. Az eredményekből látszik, hogy a vízáramlás irányában kezdetben a toxicitás csökkenése figyelhető meg. Feltételezhető ugyanakkor, hogy a Kis-Balaton környezetéből beérkező kisvízfolyások (a sármelléki repülőter irányából befolyó valamint a Hévíz-Páhoki-csatorna) jelentős többletterhelést jelentenek a tározóterre nézve. Mindennek ismeretében a jövőben szükséges lehet a Fenéki-tó területére beérkező vízfolyások vizsgálata, különös figyelmet fordítva az esetlegesen szennyezettebb területekről érkezőkre, tehát a potenciálisan nagyobb kockázatot jelentőkre.

A mért ökototoxicitás értékek önmagukban nem adnak információt a szennyezés mibenlétére. Eleve a mintavételi módszerekből, mintatartósításból, ill. a kivonatok elkészítéséből számos bizonytalansági tényező adódik (Burton, 1991). Így például az üledékminta oxidációja során megváltozhat a fémek felvehetősége. Becker and Ginn (1995) arról számolt be, hogy az üledékminták tárolásának ideje jelentős mértékben befolyásolta a Microtox tesztek eredményét.

A vizsgált terület környékén jelenleg, ill. régebben jellemző tájhasználat ismeretében felvetődik a repülőtérrel származó szénhidrogén-származékok, növényvédőszer használatból visszamaradt vegyületek (PAH, PCB, rézgalic Cu tartalma), ill. esetleg közlekedésből származó Pb előfordulása. Ezek közül a jövőben a repülőtér környezeti kockázatát tervezzük vizsgálni, immár analitikai mérések elvégzésével. Overton et al. (1997) eredményei szerint a teszt megfelelően detektálja a szénhidrogén-szennyezést.

Az antropogén eredetű szennyező komponensek mellett felvetődhet a természetes eredetű toxicitás problémája, az ún. mátrix-hatás is (pl. Jacobs et al., 1992). Mindezek figyelembevételével az ökototoxicitás méréseket előszűrésre, az ún. „forró pontok”, azaz a környezetegészségre magas kockázatot jelentő területek azonosítására lehet ajánlani (pl. Bennett and Cubbage, 1992).

## IRODALOM

- Becker, D.S. and Ginn, T.C. (1995). Effects of storage time on toxicity of sediments from Puget Sound, Washington. In: Environmental Toxicology and Chemistry. 14. 5. 829-835.
- Bendefy, L. (1968). A Balaton vízszintjének változásai a neolitikumtól napjainkig. In: Hidrológiai Közöny, 6. 257-263.
- Bennett, J., Cubbage, J. (1992). Review and Evaluation of Microtox® Test for Freshwater Sediments. Environmental Assessment Program Report, 92-e04
- Burton, G.A. Jr. (1991). Assessing freshwater sediment toxicity. In: Environ. Toxicol.Chem. 10. 1585-1627.
- Burton, G.A. Jr., Baudo, R., Beltrami, M. and Rowland, C. (2001). Assessing sediment contamination using six toxicity assays. J. Limnol. 60(2): 263-267
- Doherty, F.G. (2001). A Review Of The Microtox® Toxicity Test System for Assessing the Toxicity of Sediments and Soils. In: Water Quality Research Journal of Canada, 36. 3. 475-518.
- Fekete, E., Szabó, S.A., Tóth, Á. (1991). A vízszennyezés ökológiája, Pro Natura Kiadó : Budapest
- Jacobs, M.W., Delfino, J.J., and Bitton, G. (1992). The Toxicity of Sulphur to Microtox® from Acetonitrile Extracts of Contaminated Sediments. In: Environ. Toxicol. Chem., 11: 1137-1143.
- Johnson, B.T., Long, E.R. (1998). Rapid toxicity assessment of sediments from estuarine ecosystems: A new tandem in vitro testing approach. In: Environ. Toxicol. Chem. 17. 6. 1099-1106.
- Magyarics, A., Pomogyi, P., Pék T. (1999). A Kis-Balaton Vedőrendszer kialakítása, működésének eredményei. Vízügyi Közlemények, LXXXI. Évfolyam, 4. füzet.
- Suter, G.W. (1996). Risk Characterization for Ecological Risk Assessment of Contaminated Sites. Prepared by the Environmental Restoration Risk Assessment Program, Lockheed Martin Energy Systems, Inc., Oak Ridge, Tennessee, ES/ER/TM-200



- Svenson, A., Edsholt, E., Rickling, M., Remberger, M., Rottorp, J. (1996). Sediment contaminants and Microtox toxicity tested in a direct contact exposure test. In: Environ. Toxicol. Water Qual. 11. 4. 293-300.
- Tátrai, I., Mátyás, K., Korponai, J., Paulovits, G., Pomogyi, P. (2000). The role of the Kis-Balaton Water Protection System in the control of water quality of Lake Balaton. In: Ecological Engineering 16. 73-78.
- Overton, E.B., Jr., C.B. Henry and I. Mendelssohn (1997). Application of Microtox assay to establish and evaluate the efficacy of *in situ* burning of oiled marshes. Louisiana Applied Oil Spill Research and Development Program, OSRADP Technical Report series 96-009.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

**Kováts Nóra**

Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

*University of Veszprém*

*Department of Environmental Engineering and Chemical Technology*

*H-8200 Veszprém, Egyetem Str. 10.*

Tel.: 36-88-624-655, Fax: 36-88-624-533

e-mail: kovats@almos.vein.hu