

Mikrobiologické indikátory stavu životného prostredia v okolí jadrových elektrární

D. Tóth, F. Hindák, D. Sládeková: Microbiological Indicators of the State of Environment in the Surroundings of Nuclear Power Plants. Život. Prostr. Vol. 33, No. 6, 314–319, 1999.

The study covers the period of operation of Nuclear Power Station (NPS) Jaslovské Bohunice and the period of construction and trial run of NPS Mochovce, West Slovakia, from July 1996 to November 1998. The incidence of physiological groups of microorganisms indicating contamination and selfpurification tendencies in waters (ammonifying, proteolytic, amylolytic, lipolytic, ferric and manganese bacteria), bacterial indicators of general pollution (psychrophiles, mesophiles and spore-forming bacteria) as well as indicators of faecal pollution (enterococci, coliform and thermotolerant coliform bacteria) were monitored in water samples taken from selected localities in the vicinity of both stations monthly or bi-monthly. The analysis of bacterial spectra showed that during the period of last two years, the industrial wastewater outflows neither contributed to the bacterial contamination nor affected negatively the bacterial biotops of primary recipients and waters of Váh and Hron rivers. Within phototrophic microorganisms, cyanobacteria and algae, altogether 708 species and infraspecific taxa were determined. No negative influence of the activities of both NPS on species composition, morphology or physiological properties has been noticed using applied methods of investigations. Complex evaluation of the impact of NPS Jaslovské Bohunice and Mochovce operations on aquatic bacterial biocenosis will require permanent investigation and monitoring.

Problematika ekologického monitoringu pri jadrových elektrárnach (JE) je osobitne významná a aj politicky mimoriadne citlivá. O vplyv prevádzky JE na životné prostredie sa nezaujímajú iba odborníci a obyvatelstvo u nás, ale aj v susedných štátoch. Majiteľ JE by mal preto verejnosť sústavne informovať o stave okolitého životného prostredia. Orgány štátnej správy a masmédiá majú právo požadovať tieto informácie priamo od majiteľa podniku. Treba si uvedomiť, že iba na základe seriózneho biologického a ekologického výskumu možno objektívne hodnotiť prípadné negatívne vplyvy vyvolané výstavbou a prevádzkou podniku a navrhnúť opatrenia na ich odstránenie alebo aspoň minimalizáciu. Získané poznatky z monitoringu sú významné nielen pre samotné dielo, ale možno ich aplikovať aj pri prognóze vplyvu podobných technických diel na životné prostredie.

Po skúsenostiach s kampaňou voči Vodnému dielu Gabčíkovo a JE v Mochovciach sa už sotva stretáme s názormi, že náklady na ekologický monitoring zbytočne zafažujú výstavbu alebo prevádzku podniku. Vo všetkých vyspelých krajinách sa ekologický monitoring stal súčasťou celkových nákladov na dielo. Údaje o vstupnom ekologickom výskume, ktorý sa organizuje už niekoľko rokov, stoja v pozadí celkového záujmu.

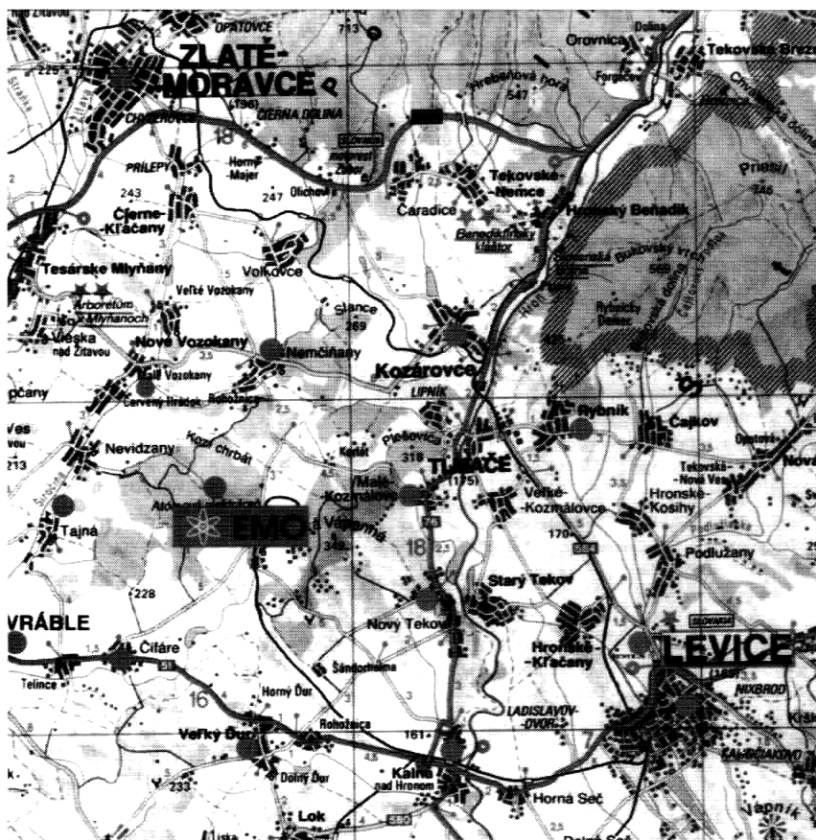
Biologické a ekologické ústavy SAV dokumentovali spoluzodpovednosť za výskum životného prostredia nielen priamym výskumom dotknutých území, ale aj vypracovaním súborných podkladov pre vládne orgány SR. V ostatnom čase napr. pre Medzinárodný súdny dvor v Haagu k známej kauze Sústava vodných diel na Dunaji. Ústav mikrobiológie SAV v Bratislave bol v závere r. 1995 schválený ako koordinátor vedeckotechnického projektu SAV *Vplyv výstavby a prevádzky jadrových*

elektrárni na biotu Slovenskej republiky, ktorý r. 1996 finančne podporili Slovenské elektrárne, a. s. Čiastkové úlohy mikrobiologického monitoringu sa zamerali na získanie poznatkov o súčasnom stave bioty vybraných vodných ekosystémov, a to v skupine eubaktérií, cyanobaktérií a mikroskopických rias. Súčasne sa registrovali aj abiotické zložky, predovšetkým chemické a fyzikálne charakteristiky vody.

Výsledky mikrobiologického monitoringu vodných ekosystémov

Výber odberových miest na mikrobiologický monitoring bol pri obidvoch JE podobný. Mikrobiálne osídlenie sa sledovalo priamo v areáli elektrární, a to v otvorených retenčných nádržiach na odpadové vody z prevádzky JE (cyanobaktérie a mikroskopické riasy) a v odpadovom potrubí Socoman z čističky odpadových vôd (eubaktérie, cyanobaktérie a riasy). Vyhodnocovala sa voľná voda (baktérioplanktón, fytoplanktón) z riek Váh a Hron, a to jednak privádzaná do JE, potom pod vtokom odpadových vôd z elektrárne vo Veľkých Kozmálovciach a v Kalnej nad Hronom. Na výskum cyanobaktérií a mikroskopických rias sa vybrali ešte tri ďalšie lokality, a to kanál Manivier v areáli EBO a dve nádrže so stojatými vodami v okolí EMO (rybník v Čifároch a vodná nádrž vo Vrábľoch). Vzorky sa odoberali v mesačných alebo dvojmesačných intervaloch. Použila sa metodika na mikrobiologické a biologické analýzy vôd podľa platných STN.

Kým v oblasti EMO išlo o zachytenie pôvodného stavu mikrobiálneho osídlenia vybraných vodných ekosystémov pred spustením elektrárne do prevádzky, v okolí EBO sa mohol posúdiť už vplyv prevádzky JE na biotu. Z tohto dôvodu sa výsledky monitoringu obidvoch JE dajú navzájom porovnávať iba čiastkovo.



Monitorovacie stanice v okolí jadrovej elektrárne Mochovce (20 km okruh)

Monitoring heterotrofných mikroorganizmov (eubaktérií)

Pri analýzach voľnej vody (planktónu) sme sa zamerali na širokú škálu bakteriálnych ukazovateľov, a to indikátorov všeobecného organického znečistenia (psychrofilné, mezofilné, sporujúce baktérie) a fekálneho znečistenia (koliformné a termotolerantné koliformné baktérie, presumptívna *E. coli*, enterokoky) a takisto na vybrané fyziologické skupiny patriace k ekologicky významným mikroorganizmom, ako sú amonizačné, proteolytické, amylolytické, lipolytické, železité a mangánové baktérie (Häusler, 1995).

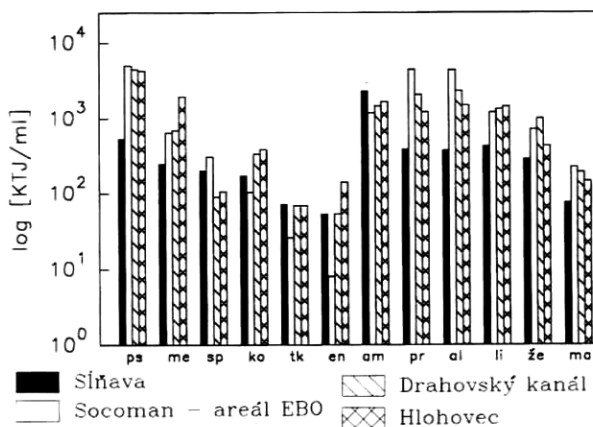
Vybrané skupiny sa vyhodnocovali štandardnými metódami na platniach s tuhými agarovými médiami pri aeróbných alebo anaeróbných podmienkach. V r. 1998 sa základný monitoring rozšíril o druhovú identifikáciu zástupcov z čeľade *Enterobacteriaceae*. Výsledky prezentované na grafoch a v tabuľkách sa získali v období od júla 1996 do septembra 1998.

Tab. 1. Zastúpenie rodov a druhov baktérií z čeľade *Enterobacteriaceae* na odberových miestach v okolí EBO a EMO

	Jaslovské Bohunice	Mochovce
<i>Escherichia coli</i>	+	+
<i>Escherichia coli</i> , inactive	+	+
<i>Citrobacter braakii</i>	-	+
<i>Citrobacter youngae</i>	+	+
<i>Citrobacter freundii</i>	+	+
<i>Citrobacter</i> sp.	+	+
<i>Enterobacter aerogenes</i>	-	+
<i>Enterobacter amnigenus</i> bv. 1	-	+
<i>Enterobacter amnigenus</i> bv. 2	-	+
<i>Enterobacter cloacae</i>	+	+
<i>Enterobacter cobei</i>	+	-
<i>Enterobacter</i> sp.	-	+
<i>Klebsiella planticola pneumoniae</i> , komplex	+	+
<i>Klebsiella oxytoca</i>	-	+
<i>Klebsiella ozaenae</i>	-	+
<i>Serratia plymuthica</i>	-	+
<i>Serratia</i> sp.	-	+
<i>Kluyvera</i> sp.	-	+

1. Kvantitatívne bakteriálne zastúpenie indikátorov organického, fekálneho a ekologického znečistenia na odberových miestach v oblasti JE Jaslovské Bohunice.

Skupiny baktérií: ps – psychofilné, am – amonizačné, me – mezofilné, pr – proteolytické, sp – sporujúce, al – amylytické, ko – koliformné, li – lipolytické, tk – termotolerantné koliformné, že – železité, en – enterokoky, ma – mangánové.



• Jadrová elektrárň Jaslovské Bohunice (EBO)

Manipulácia vody pri technologických procesoch a vplyv odpadových vôd z výroby elektrickej energie sa prejavili na zložení sledovaných bakteriálnych indikátorov. V odpadovom potrubí Socoman bolo 8 bakteriálnych skupín (indikátorov organického znečistenia a ekologických ukazovateľov) v priemernom zastúpení násobne až rádovo vyššie, ako na odberovom mieste Sĺňava. Naopak, mierne sa redukovali počty baktérií hygienického významu a amonizačné baktérie (Sládeková, Prokšová, 1997; Sládeková a kol., 1998) (obr. 1). Počty prezumpatívnej *E. coli*, ako primárneho indikátora fekálneho znečistenia, boli pomerne nižšie ako v miestach odberu v EMO. Najvýraznejšie organické znečistenie sa zaznamenalor. 1996. Na ostatných odberových miestach sa počty baktérií zvýšili vo februári a júli r. 1997 a v septembri r. 1998.

V rieke Váh v Hlohovci, kde sa mohol prejavíť vplyv odpadových vôd z EBO, sa podľa bakteriálnych ukazovateľov nezhoršila kvalita vody. Podľa charakteristickej hodnoty C_{85-90} % patrí kvalitatívne tento úsek toku do IV.–V. triedy čistoty (I. trieda – najkvalitnejšia). Celkovo smeruje vývoj kvality povrchových vôd v okolí EBO k zlepšovaniu stavu podľa 50 % bakteriálnych skupín, 16,5 % skupín poukazuje na ustálený stav a zvyšok naznačuje zhoršovanie kvality vody.

• Jadrová elektrárň Mochovce (EMO)

Výsledky mikrobiologického monitoringu v záujmovom území EMO zachytávajú stav bakteriocenózy ešte pred spustením JE do prevádzky. Pri hodnotení sledovaného mikrobiálneho planktónu vo všetkých odberových miestach počas celého monitorovacieho obdobia neboli výrazné rozdiely (obr. 2). Pozoruhodné je však zistenie, že v záujmovom území EMO sa zaznamenalo väčšie bakteriálne znečistenie ako v okolí EBO (Správa o výsledkoch úlohy, 1997). K tomuto stavu zrejme prispela najmä situácia v prvom polroku 1998 (pred spustením prvého bloku JE do prevádzky), keď odpadová voda z výpustného objektu elektrárne mala vyššiu kontamináciu organického a fekálneho pôvodu ako voda Hronu vo vodnej nádrži vo Veľkých Kozmálovciach. Príčiny možno hľadať aj v častých odstávkach ČOV, vo vypúšťaní rôznych zmesí z technologického procesu (premývanie chladiacich zariadení) a pod. Na tomto odberovom mieste boli dominantné aj počty prezumpatívnej *E. coli* (Sládeková a kol., 1998).

Podľa kvalitatívneho hodnotenia pri použití C_{85-90} % patrí rieka Hron na sledovaných odberových miestach do III.–V. akostnej triedy. Na rozdiel od rieky Váh v Hlohovci (IV. trieda) hodnotenie kvality vody na odberovom mieste v Kalnej nad Hronom zhoršovala prítomnosť vyšších počtov fyziologických skupín baktérií a termotolerantných koliformných baktérií (V. trieda).

Tab. 2. Počet rodov, druhov, variet a foriem jednotlivých skupín cyanobaktérií a mikroskopických rias nájdených na skúmaných lokalitách v okolí EBO a EMO v období 1996–1998

Oddelenie	Trieda	Rad	Rod	Druh	Subsp.	Var.	F.	
CYANOBACTERIA CYANOPHYTA	Cyanophyceae	Chroococcales	11	20	0	0	0	
		Oscillatoriales	12	18	0	0	1	
RHODOPHYTA	Rhodophyceae	Nemalionales	1	10	0	0	0	
CHROMOPHYTA	Chrysophyceae	Chryomonadales	10	20	0	1	0	
		Xanthophyceae	7	7	0	0	0	
EUGLENOPHYTA	Bacillariophyceae	Heterotrichales	1	0	0	0	0	
		Coscinodiscales	10	35	0	1	2	
	Naviculales	30	257	2	34	2		
	Cryptophyceae	Cryptomonadales	3	5	0	0	0	
	Dinophyceae	Peridinales	3	3	0	0	0	
	Euglenophyceae	Euglenales	7	65	0	4	0	
	Colaciales	1	1	0	0	0		
	CHLOROPHYTA	Prasinophyceae	Polyblepharidales	1	1	0	0	0
			Volvocales	27	55	0	0	0
	CHLOROPHYTA	Chlorophyceae	Tetrasporales	2	2	0	0	0
Chlorococcales			56	140	0	1	0	
Ulotrichales			12	14	0	0	0	
Desmidiiales			3	17	0	0	0	
Zygnematales			2	0	0	0	0	
spolu				199	660	2	41	5
[Sinice/Cyanobacteria]				[23]	[38]	[0]	[0]	[1]
[Riasy/Algae]		[176]	[622]	[2]	[41]	[4]		

Naopak, podľa indikátorov organického znečistenia bola situácia v Hrone lepšia (III. trieda), nižšie boli aj počty koliformných baktérií a fekálnych streptokokov (enterokov). Na základe našich výsledkov môžeme pri použití týchto bioindikátorov hovoriť o miernom zlepšovaní kvality vody v tomto úseku rieky. Tendenciu poklesu možno konštatovať pri 67 % bakteriálnych ukazovateľov, podľa 16,5 % ukazovateľov bolo zloženie vodného biotopu viac-menej nezmenené a rovnaké percento ukazovateľov indikuje zvýšené znečistenie.

Identifikovalo sa 14 druhov enterobaktérií patriacich zväčša do rodov *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Klebsiella* a *Escherichia*. V okolí EMO sa zistila vyššia diverzita bakteriálnych druhov ako vo vzorkách z oblasti EBO (tab. 1).

• Monitoring cyanobaktérií a mikroskopických rias

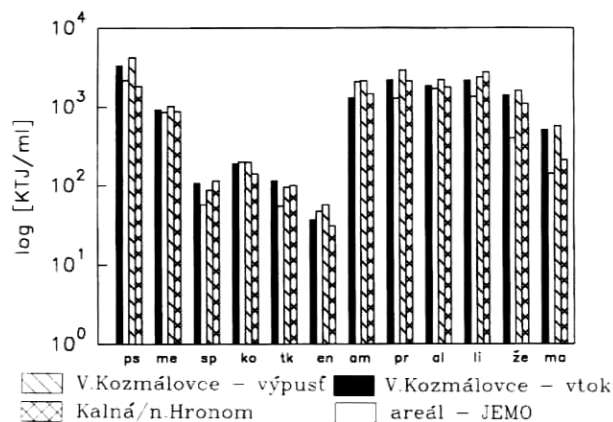
Z mikroorganizmov sa popri eubaktériách sledovali cyanobaktérie a riasy. Monitoring týchto najjednoduchších organizmov schopných fotosyntézy je vo vodných biotopoch významný z hľadiska bilancie celkovej primárnej produkcie biomasy a kyslíka. Fototrofné mikroorganizmy sú citlivé indikátory stavu znečistenia prostredia a predstavujú základný stupeň pri biologickom hodnotení akosti vody (Hindák a kol., 1978).

Výber lokalít bol podobný ako pri sledovaní heterotrofných mikroorganizmov. Navyše sa odoberali vzorky vody z retenčných nádrží odpadových vôd priamo

v areáli JE, z rybníka v Čifároch pri Mochovciach a z vodnej nádrže na okraji mesta Vrábľa.

Počas výskumu sa na všetkých odberových miestach určilo 199 rodov so 660 druhmi a 48 poddruhovými taxónmi. Z tohto počtu na cyanobaktérie pripadlo 23 rodov s 38 druhmi a jednou formou, zvyšných 176 rodov so 622

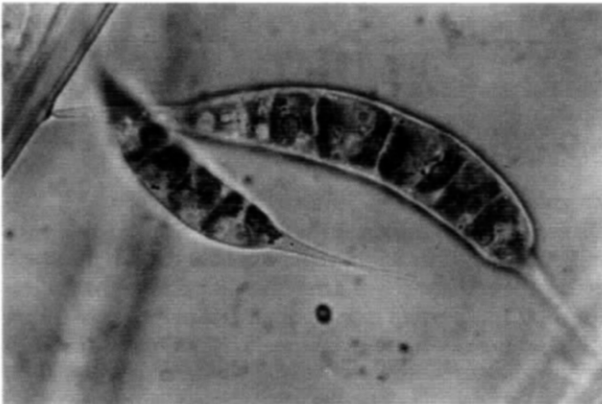
2. Kvantitatívne bakteriálne zastúpenie indikátorov organického, fekálneho a ekologického znečistenia na odberových miestach v oblasti JE Mochovce





3. Retenčná nádrž na odpadové vody z prevádzky JE v Jaslovských Bohuniciach

4. Bunky zelenej jednobunkovej riasy *Korshikovella setosa* pričytené na pancieri kôrovca z rodu *Daphnia*



druhmi a 47 poddruhovými taxónmi bolo z rozličných skupín mikroskopických rias (tab. 2). Zloženie spoločenstva fototrofných mikroorganizmov v riekach Váh a Hron bolo v jednotlivých skupinách fototrofných mikroorganizmov do značnej miery podobné (Hindák a kol., 1998), na ostatných biotopoch dosť špecifické (Hindák, Hindáková, 1998).

Výskyt mikroorganizmov v malých betónových otvorených retenčných nádržkách s odpadovou vodou z prevádzky JE by mohol naznačiť aký vplyv má rádioaktívny odpad na biotu. Priamo v areáli EBO (obr. 3), kde sa do odpadových vôd môže dostať aj rádioaktívny odpad, sa v sledovaných odpadových vodách nezistili v prítomnom spoločenstve cyanobaktérií a rias žiadne poruchy pri raste a rozmnožovaní alebo morfológické anomálie a monštruozy. Naše výsledky sú v súlade s predchádzajúcim výskumom, pri ktorom sa vyhodno-

coval vplyv rádioaktívne kontaminovaných plôch na vyššie rastliny v okolí EBO (Murín a kol., 1996). Diverzita týchto mikroorganizmov tu bola, prirodzene, nižšia ako na odberových miestach v rieke Váh (Hindák a kol., 1998) a Hron, ale porovnateľná s inými podobnými malými betónovými nádržkami (Hindáková, 1993; Hindáková, Hindák, 1998). Väčšina nájdených druhov v odpadových vodách patrí medzi bežne sa vyskytujúce organizmy, ale niektoré druhy sa v našich vodách našli iba ojedinele (napr. cyanobaktérie *Cyanocatena planctonica*, *Cyanogranis ferruginea*, rozsievky *Navicula slesvicensis*, *Nitzschia hamburgenensis*, zelené riasy *Chlorogonium fusiforme*, *Didymocystis inermis*, *Korshikovella setosa* (obr. 4), *Neodesmus danubialis*, červenoočko *Euglena splendens* a pod.). V otvorenej časti kanála Manivier v Jaslovských Bohuniciach sa utváral litorál zložený, podobne ako v iných vodách tohto typu, z makrofytov a nárastových cyanobaktérií a rias. Našími metódami výskumu sa nezistil preukazný negatívny vplyv odpadových vôd z oboch elektrární na zloženie fytoplanktónu a fyto-bentosu riek Váh a Hron. Druhové zloženie rastlinného planktónu Váhu v Hlohovci bolo podobné ako v ústí rieky v Komárne (Hindák a kol., 1998).

Pri hodnotení výsledkov monitoringu vybraných mikrobiologických ukazovateľov možno jednoznačne konštatovať, že prevádzka EBO, ani doterajšia výstavba EMO nemali signifikantný vplyv na mikrobiálne zložky bioty. Použitými metódami výskumu sa nezistil žiadny negatívny vplyv JE na zloženie biodiverzity a ani na fyziologickú funkciu mikroorganizmov v dotknutom území.

Vďaka iniciatíve a finančnému zabezpečeniu projektu z rozpočtu Slovenskej akadémie vied (r. 1996 aj čiastkovej finančnej podpore Slovenských elektrární, a. s.) sa získali cenné údaje o zložení mikrobiálnej bioty v okolí Mochoviec ešte pred uvedením JE do pokusnej prevádzky. Získané údaje dokumentujú pôvodný východiskový stav bioty a môžu poslúžiť na kvalifikované posúdenie vplyvu prevádzky JE na živé organizmy v jej okolí. Príležitosť na organizovanie fundovaného vedeckého monitoringu životného prostredia sa v prípade EMO využila, aj keď v dôsledku limitujúcich finančných prostriedkov nie v celej šírke a v žiaducom rozsahu.

Údaje z doterajšieho ekologického výskumu okolia EMO možno využiť nielen pri hodnotení vplyvu prevádzky tejto elektrárne na biotu, ale aj pri ďalších podobných projektoch a pri kvalifikovanom posudzovaní rozvoja energetiky na Slovensku. Treba však zabezpečiť finančné prostriedky na pokračovanie komplexného biologického monitoringu v oblasti oboch JE. Naša krajina by takto dokumentovala, že je štátom s vyspelou



Vodná nádrž Veľké Kozmálovce

vedou a rozumným priemyselným manažmentom i v citlivej oblasti vplyvu prevádzky jadrových elektrární na životné prostredie.

Literatúra

- Häusler, J., 1995: Mikrobiologické kultivační metody kontroly jakosti vod, díl III. Stanovení mikrobiologických ukazatelů. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha.
- Hindák, F. (ed.), 1978: Sladkovodné riasy. SPN, Bratislava, 728 pp.
- Hindák, F., Hindáková, A., 1998: Druhové zloženie fytoplanktónu dvoch vodných nádrží pri Mochovciach. Bulletin SBS, Bratislava, 20, p. 1–6.
- Hindák, F., Hindáková, A., Makovinská, J., Tóthová, L., 1998: Druhové zloženie a biomasa fytoplanktónu rieky Váh. Bulletin SBS, Bratislava, 20, p. 7–14.
- Hindáková, A., Hindák, F., 1998: Green Algae of Five City Fountains in Bratislava (Slovakia). Biológia, Bratislava, 53, p. 481–493.
- Hindáková, A., 1993: Druhové zastúpenie rozsievok (*Bacillariophyceae*) v piatich bratislavských fontánach. Bull. Slov. Bot. Spol., Bratislava, 15, p. 44–45.
- Murín, G., Mičieta, K., Knasmüller, S., Steinkellner, J., 1996: Bioindikácia rádioaktívne kontaminovaných plôch v okolí jadrovej elektrárne Jaslovské Bohunice. Život. Prostr., 30, 3, p. 140–142.
- Sládeková, D., Prokšová, M., 1997: Vplyv výstavby a prevádzky jadrových elektrární na mikrobiologický obraz povrchových vôd. Tomáškovy dny '97, Brno. Sborník souhrnu přednášek, p. 18.
- Sládeková, D., Prokšová, M., Vrbanová, A., 1998: Bacterial Biocenosis in Surface Waters Adjacent to Nuclear Power Stations Jaslovské Bohunice and Mochovce. 21st Congress of the Czechoslovak Society for Microbiology. Hradec Králové, Book of Abstracts, p. 380.
- Správa o výsledkoch úlohy "Vplyv výstavby a prevádzky Jadrových elektrární na biotu Slovenskej republiky" za r. 1997. Ústav mikrobiológie SAV, Bratislava.

Doc. Ing. Dezider Tóth, DrSc. (1941), riaditeľ Ústavu mikrobiológie SAV, Štefánikova 3, 814 34 Bratislava. E-mail: dt@ue.savba.sk

Doc. RNDr. František Hindák, DrSc. (1937), vedecký pracovník Botanického ústavu SAV, Dúbravská cesta 14, 842 23 Bratislava. E-mail: botuhind@savba.savba.sk

Ing. Darina Sládeková (1966), výskumná pracovníčka Ústavu mikrobiológie SAV, Štefánikova 3, 814 34 Bratislava. E-mail: dar@ue.savba.sk