



Univerzita Komenského v Bratislave  
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky



**Anna Sučanská**

**Autoreferát dizertačnej práce**

Možnosti likvidácie mikrobiologických kontaminantov z povrchových vodných nádrží

**na získanie akademického titulu philosophiae doctor**

**v odbore doktorandského štúdia:**  
4.1.10 Meteorológia a klimatológia

**Miesto a dátum: Bratislava, 30 Apríl 2013**

**Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia**

**na** Oddelení fyziky životného prostredia

**Predkladateľ:** Mgr. Anna Sučanská  
Oddelenie fyziky životného prostredia  
Mlynská dolina  
842 48 Bratislava

**Školiteľ:** RNDr. Imrich Morva, PhD.

**Oponenti:** Prof. Ing. Blahoslav Maršálek, CSc., Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny, BÚ AV ČR  
RNDr. Jarmila Makovinská, Csc., Výskumný ústav vodného hospodárstva, SR

.....

**Obhajoba dizertačnej práce sa koná ..... o ..... h  
pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce v odbore doktorandského štúdia vymenovanou predsedom  
odborovej komisie Prof. RNDr. Milanom Lapinom, Csc.**

4.1.10 Meteorológia a klimatológia, denné doktorandské štúdium

.....

**na** Fakulte Matematiky Fyziky a Informatiky UK, Mlynská dolina, 84248, Bratislava

**Prof. RNDr. Milan Lapin, Csc.  
Fakulta Matematiky, Fyziky a Informatiky UK  
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava**

.....

predseda komisie

# 1. Úvod

Zdraviu nezávadná voda je predovšetkým najpotrebnejšia surovina pre ľudstvo, v mnohých krajinách je to veľmi vzácna komodita. Na mnohých miestach na zemi dochádza často ku kontaminácií povrchových vodných tokov a rezervoárov. Vo veľmi veľa prípadoch je táto kontaminácia spôsobená cyanobaktériami, nazývanými v slovenskej literatúre aj ako sinice. Masové premnoženie siníc nadobúda týmto v súčasnosti globálny rozmer. Živé bunky siníc môžu spôsobovať alergické reakcie a celý rad zdravotných ťažkostí (hnačky, bolesti hlavy, závrate,..). Hlavným nebezpečenstvom sú však umierajúce bunky, z ktorých sa uvoľňuje celý rad nebezpečných látok - toxínov. Najčastejšie býva postihnutý nervový systém. Tieto toxíny sa však uvoľňujú aj za normálnych okolností, pri bežnom živote baktérie, ale maximálne koncentrácie nadobúdajú uvoľnené toxíny až po narušení bunkovej membrány baktérie a je veľmi obtiažne ich po hromadnom uvoľnení z vody odstrániť. Napríklad u dobytká sa vyskytli aj smrteľné prípady intoxikáciou z takto kontaminovanej vody. U rýb žijúcich v kontaminovaných vodách sa pozorovali opuchy a poruchy funkcií obličiek a pečene spôsobené intoxikáciou cyanotoxínmi.

Globálne otepľovanie výrazne napomáha premnožovaniu siníc a následnej tvorbe vodného kvetu. V lete, keď je hladina výrazne prehrievaná počas jasných teplých slnečných dní, vytvára sa vo vodnom recipiente zvislé rozvrstvenie rozloženia teploty vody v jazere, rybníku. Toto rozvrstvenie teploty vody v hĺbke má za následok obmedzené premiešavanie sa vrstiev pod hladinou. V takomto prípade je výskyt vodného kvetu ešte zreteľnejší a pravdepodobnejší. Globálne otepľovanie tiež spôsobuje predĺženie vegetačného obdobia siníc. Nakoľko sa prostredníctvom meteorologických súborov dát a klimatologických analýz ukázalo, že z hľadiska dlhodobých priemerov má teplota vzduchu stále rastúcu tendenciu a rovnako tak aj odchýlka od priemernej teploty určovaná z dlhodobých radov meteorologických pozorovaní [1].

Táto práca je zameraná na nájdenie optimálnej fyzikálnej alebo fyzikálno-chemickej metódy likvidácie siníc z kontaminovaných vôd, a to najmä pomocou rôznych výbojov alebo aj iných ďalších prostriedkov. Mali sme za cieľ hľadať optimálnu expozíciu a spôsob, ktorý bude viesť k zhlukovaniu a agregácií siníc a taký, ktorý nevedie k poškodeniu ich bunkovej steny.

V rámci práce sa uskutočňuje aj analýza samotných baktérií pred a po pôsobení metódy s použitím výboja s kladnou polaritou, vykonaná s využitím mikroskopie. Príklady analýz toxínov rôznymi spektroskopickými metódami, predovšetkým plynovou chromatografiou a hmotnostnou spektrometriou.

Analytické metódy umožnia nielen vyhodnotiť zvolenú metódu, ale aj porovnávať jednotlivé metódy navzájom.

Treba zdôrazniť, že našim hlavným cieľom je predovšetkým dosiahnuť uspokojivú úroveň dekontaminácie vôd, preto pri vhodnej voľbe správnych podmienok, parametrov a postupov očakávame vysoko účinný záchyt cyanobaktérií z vody.

Úlohou tejto práce je teda nájsť nové spôsoby, ako účinne bojovať s masovým rozvojom vodných kvetov v nádržiach a týmto zabrániť či už kontaminácií pitných vôd z povrchových zdrojov, ktorých je na Slovensku nemálo, ale aj takých nádrží, ktoré slúžia ako úžitkové, či už pre vodné športy alebo rybolov. Netreba ani opomenúť fakt, že v dnešnej dobe v čase, kedy hrozí, že sa vyplnia extrémne scenáre poveternostných udalostí a v čase globálneho otepľovania, sa budeme nútení prispôbiť úplne iným, extrémnym náporom masových premnožení práve destabilizujúcich a nebezpečných, toxických druhov siníc, ohrozujúcich trvale udržateľný stabilne fungujúci vodný ekosystém.

## **2. Prehľad o stave súčasnej problematiky, ktorá je predmetom dizertačnej práce**

Na elimináciu vodného kvetu alebo zamedzenie bunkového rozvoja cyanobaktérií boli v minulosti už použité mnohé metódy, či už chemické alebo fyzikálne. Avšak niektoré chemické zlúčeniny a ultrazvuk môžu vyvolať narušenie membrán buniek a obsah cyanotoxínov z buniek unikne do vody. Energetická spotreba ošetrovania ultrazvukovým systémom a mikrovlnným žiarením je príliš veľká, aby mohla byť použitá na úpravy v takom rozsiahlom merítku. Nastáva nevyhnutná potreba, nájsť vhodnú metódu, ktorá bude efektívna pre úpravy vodného kvetu veľkých rozmerov.

Nie je neznámy fakt, že korónový výboj so strímerovými pulzmi (pulsed streamer discharge) generuje fyzikálne pole, ktoré podnecuje súčasne aj určité chemické reakcie.

Využitie tohto výboja v plyne môže byť účinný prostriedok na bakteriálnu dekontamináciu. V niektorých prípadoch bol použitý výboj pod hladinou vody, ktorý pomohol obmedziť tvorbu vodného kvetu aj v útvaroch veľkých rozmerov (jazera, nádrže a i.) [2].

Pozorovania transmisným elektrónovým mikroskopom [2] ukázali, že výboj narušil plynové vakuoly v medzibunkovom priestore vodného kvetu formovaného cyanobaktériami a tento zásah neovplyvnil ostatné časti obsahu bunky. Bunky tak stratili schopnosť sa nadnášať, a pri nízkej teplote a nedostatku slnečného svetla na dne jazera, rast týchto buniek bol výrazne spomalený. Preto sa predpokladá, že je možné touto metódou efektívne predchádzať vodnému kvetu a dá sa predpokladať, že pulzný výboj pod vodou je efektívna, nízkonákladová a vhodná metóda na ošetrovanie vodného kvetu väčších rozmerov [2].

Počas teplých slnečných dní sa bunky cyanobaktérií množia dostatočne rýchlo a čoskoro sa pri dostatočnej trofii formujú vo vodný kvet a zhoršujú tak fyzikálno-chemické vlastnosti vody. Výboj v pokusoch [2] bol aplikovaný ešte tesne pred fázou najväčšieho nárastu vodného kvetu. Keďže došlo k narušeniu plynových vakuol, bunky klesli na dno vodného rezervoáru, čo výrazne spomalilo ich množenie a následne tvorbu vodného kvetu. Experimenty z štúdie [2] ukázali, že sa cyanobaktérie po pôsobení korónovým výbojom "streamerom" potopili na dno výbojovej komory. Detailnejší popis experimentu bol spracovaný už skôr [3, 4]. Na mikroskopických snímkach štúdie [2] bolo fotograficky zdokumentované narušenie plynových vakuol. Tak isto bolo vďaka snímkam s transmisným elektrónovým mikroskopom ukázané, že nedošlo k narušeniu bunkovej steny, iba k narušeniu plynových vakuol a to bol dôvod poklesom buniek na dno. Na základe porovnaní so skoršími štúdiami [5 – 7] sa považuje úprava spomínaným typom výboja za takú, ktorá nenaruša bunkovú stenu cyanobaktérií. V štúdií [2] prítomnosť vodného kvetu absentovala už po 30 minútach od pôsobenia výbojom vo vodnej hladine.

Z štúdie [2] vyplýva, že časovanie pôsobenia výboja je veľmi podstatné. Pôsobenie výbojom môže byť použiteľné iba pred fázou masového rozvoja vodného kvetu. Keďže po pôsobení výbojom bunky cyanobaktérií stratia schopnosť nadnášať sa, čiže klesnú na dno, stanú sa veľmi ľahko filtrovateľné. Zistilo sa [2], že počas rasy cyanobaktérie sú schopné využívať fosfor P z rôznych anorganických zdrojov a frakcií pôdneho fosforu, napr. Al-P, Fe-P a Ca-P, a zabudovávať tento fosfor do svojich stielok. Na konci svojho životného cyklu sú znovu rozložené a fosfor je uvoľnený zo stielok vo forme, ktorá je znovu použiteľná na

budovanie nových stielok. Keďže v štúdií [2] preukázateľne nedošlo k narušeniu bunkovej steny po pôsobení výboja, toxické metabolity tak nemali možnosť uniknúť z bunky von do vodného prostredia a ostali uväznené vnútri bunkovej steny. Tento spôsob úpravy sa teda môže považovať za šetrný, flexibilný, vysoko výkonný a nízkonákladový. Je to veľmi efektívna možnosť obmedzenia rozvoja vodného kvetu.

Bežne používané metódy na potlačenie vodného kvetu siníc vnášajú do vodného ekosystému ďalšie chemické látky, koloniálne sinice majú vyššiu rezistenciu voči látkam obsahujúcim chlór [8]. Trofia v nádrži je ovplyvňovaná najmä: teplotou, svetelnými podmienkami, fyzikálnymi parametrami nádrže (hlbka, doba zdrže vody), pomerom koncentrácií živín (N/C/P) vo vodnom stĺpci a biologickými ukazovateľmi, taktiež je nutné brať ohľad na geochemické procesy prebiehajúce v celom povodí, ktoré môžu mať vplyv na chemizmus vody a druhové zloženie fyto- a zooplanktonu [8].

Fyzikálne metódy obmedzovania rozvoja vodného kvetu môžu byť jednou z alternatív k chemickým metódam. Niektoré legislatívy, napríklad tá v ČR [8] vyvíjajú tlak na redukciiu prísunu chemických látok do životného prostredia. S fyzikálnymi metódami je možné kalkulovať aj v priemyselných odvetviach, kde sa používa voda.

Pre ošetrovanie fyzikálnymi metódami v štúdií [8] boli zvolené monokultúry a zmiešané kultúry, laboratórne kultúry rias, siníc a prírodnej biomasy s dominanciou rodu siníc *Microcystis sp.*, *Aphanizomenon* a *Planktothrix* z nádrží v ČR.

Plazmový elektrický výboj je netermálna plazma, resp. čiastočne ionizované prostredie, v ktorom sa tepelná rovnováha vytvára zvlášť pre zložku elektrónov a zvlášť pre ióny a neutrálne častice [9]. Netermálna plazma môže byť tvorená rôznymi spôsobmi:

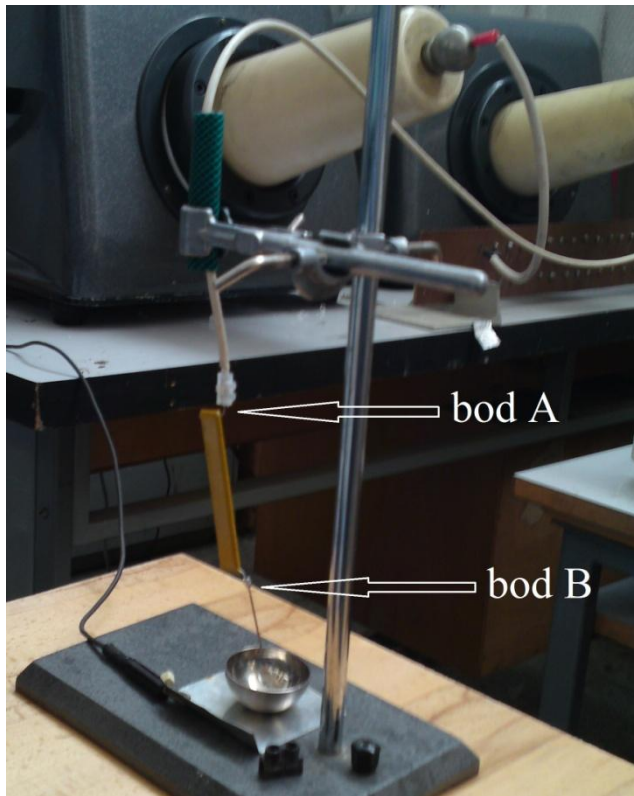
- ožiarením pracovného plynu elektrónovým lúčom
- vysokofrekvenčným výbojom
- mikrovlnným výbojom
- tichým výbojom
- korónovým výbojom
- výbojom vo ferroelektrickom prostredí
- kĺzavým oblúkovým výbojom

- výbojom v prúdiacom prostredí

Pre pokusy v štúdií [8] bolo použitých viacero typov elektrických výbojov (plazmový, rázový a korónový), ktorými bola ošetrovaná suspenzia vody s biomasou siníc a rias. Účinok inhibície plazmového elektrického výboja na prírodnú biomasu je jednoznačný (>30%) už pri pôsobení po 6 minútach. Už pri jednorazovom priechode elektrického výboja bolo zaznamenané poškodenie plynových vakuol koloniálnych rodov siníc. Pri expozícií dlhšej ako 6 minút, prípadne niekoľkonásobne dlhšej expozícii došlo k nereverzibilnému narušeniu bunčných štruktúr siníc a rias [8]. Pri meraniach koncentrácie mikrocystínov pomocou metódy ELISA boli extra celulárne koncentrácie MCYST vzhľadom ku kontrole mnohonásobne vyššie. Z výsledkov [8] tiež vyplýva, že plazmový výboj mal preukázateľný účinok na riasy a sinice. Taktiež sa preukázalo poškodenie fotosyntetického aparátu pri expozíciách nad 3 minúty. Pokles PH bol zaznamenaný dôsledkom činnosti siníc, resp. rozkladom organických látok (za tvorby kyslých produktov). V prípade experimentov s vodou bez siníc nebol pokles PH pozorovaný [8]. Netermálne plazmatické metódy môžu byť napríklad použité aj pri dekontaminácii vody klimatických zariadeniach pomocou elektrického výboja, keďže klasické metódy využívajúce chlór sa ukázali ako neúčinné, napríklad proti legionelám [2, 3, 10, 11].

### **3. Metódy použité v dizertačnej práci**

Na pokusy bol použitý DC zdroj, generátor elektrického výboja BAUR PGK 70, kladnej polarity, o výkone 1,4 kW, ktorý poskytuje napätie a prúd vyše 70 kV a 20 mA.



**Obr.1:** Obrázok znázorňuje ilustračne našu meraciu aparatúru, kde bod A je miesto pripojenia osciloskopu na odpore a bod B ukazuje miesto pripojenia osciloskopu na ihlu.

Urobili sme meranie pomocou osciloskopu, aby sme zmerali, aký typ výboja bol použitý pri pokusoch so vzorkou znečistenej vody. Napätie výboja bolo zmerané pomocou vysokonapäťového snímača Tektronix P6015A s vnútorným odporom  $100\text{ M}\Omega$ , pripojeného na osciloskop o rozsahu frekvencie  $250\text{ MHz}$  značky Helwett-Packard 3502.

Pri našich pokusoch sme používali ihlu s predradeným odporom o hodnote  $R = 3,9\text{ M}\Omega$ .

Napätie sme merali v štyroch hodnotách prúdu pomocou vysokonapäťovej sondy, ktorá bola umiestnená na výstupe zdroja, nad odporom (Obr.1, bod A).  $I_{zdr.}$  je prúd odčítaný zo zdroja, ktorý bol použitý na odhad výbojového prúdu  $I_{výb.}$ , ktorý pri hodnote daného odporu, hodnote odporu plazmy približne  $1\text{ M}\Omega$  a odpore vysokonapäťovej sondy  $100\text{ M}\Omega$ , je vlastne skorigovaný o parazitný prúd, ktorý tečie cez vysokonapäťovú sondu a predstavuje 5%. Je to vhodná aproximácia urobená na základe predchádzajúcich meraní v dizertačnej práci [12].  $U_{zdr.}$  je napätie odčítané zo zdroja a  $U_{oo.}$  je napätie na pripojenom osciloskope merané na odpore (Obr.1, bod A).

- $I_{zdr.} = 2,5\text{ mA}$ , ( $U_{zdr.} = 21\text{ kV}$ ),  $U_{oo.} = 10,1\text{ kV}$  ( $\times \sigma = 1,08$ ) =  $10,9\text{ kV}$



- $I_{zdr.} = 2 \text{ mA}$ , ( $U_{zdr.} \leq 19 \text{ kV}$ ),  $U_{oo.} = 9,18 \text{ kV}$
- $I_{zdr.} = 1,7 \text{ mA}$ , ( $U_{zdr.} = 18 \text{ kV}$ ),  $U_{oo.} = 8,64 \text{ kV}$
- $I_{zdr.} = 2,7 \text{ mA}$ , ( $U_{zdr.} = 21,3 \text{ kV}$ ),  $U_{oo.} = 11,124 \text{ kV}$

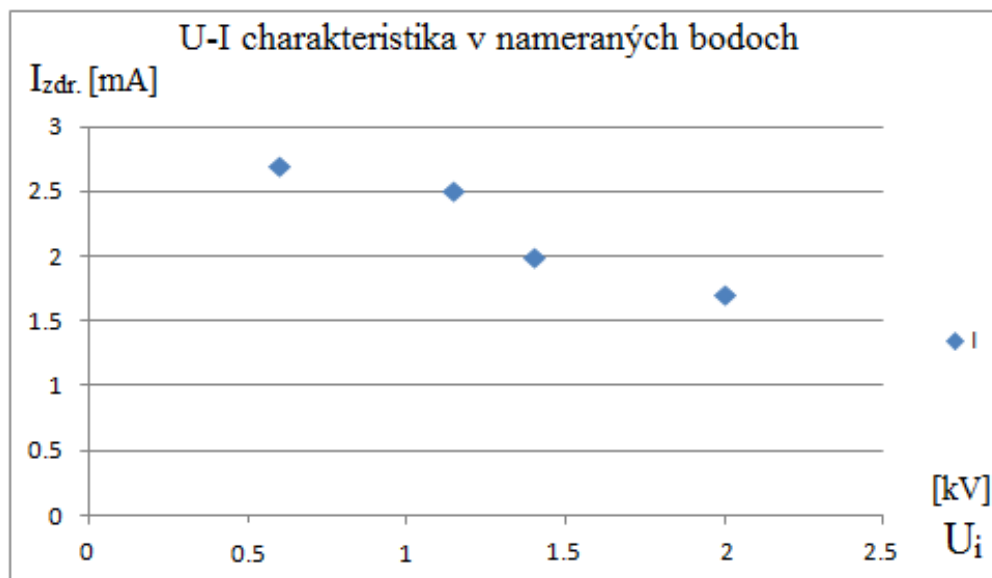
Zmerali sme charakteristiku aj takým spôsobom, že sonda bola umiestnená priamo na ihle a  $U_{oi.}$  je teda napätie na pripojenom osciloskope merané na ihle (Obr.1, bod B).

- $I_{zdr.} = 1 \text{ mA}$ ,  $U_{zdr.} = 12 \text{ kV}$ ,  $U_{oi.max.} = 5,94 \text{ kV}$ ,  $U_{osc.priem.} = 4 \text{ kV}$

Identifikáciu charakteristík výboja použitého pri pokusoch sme vykonali pomocou merania osciloskopom a nasledujúcich výpočtov, pre ktoré sme použili namerané hodnoty z 4 bodov.

Výbojové napätie sme vypočítali z nameraných hodnôt  $U_{oo.}$  a  $I_{výb.}$  z napät'ového spádu na odpore  $R$ :

$$U_{výb.} = U_{oo.} - R \cdot I_{výb.}$$

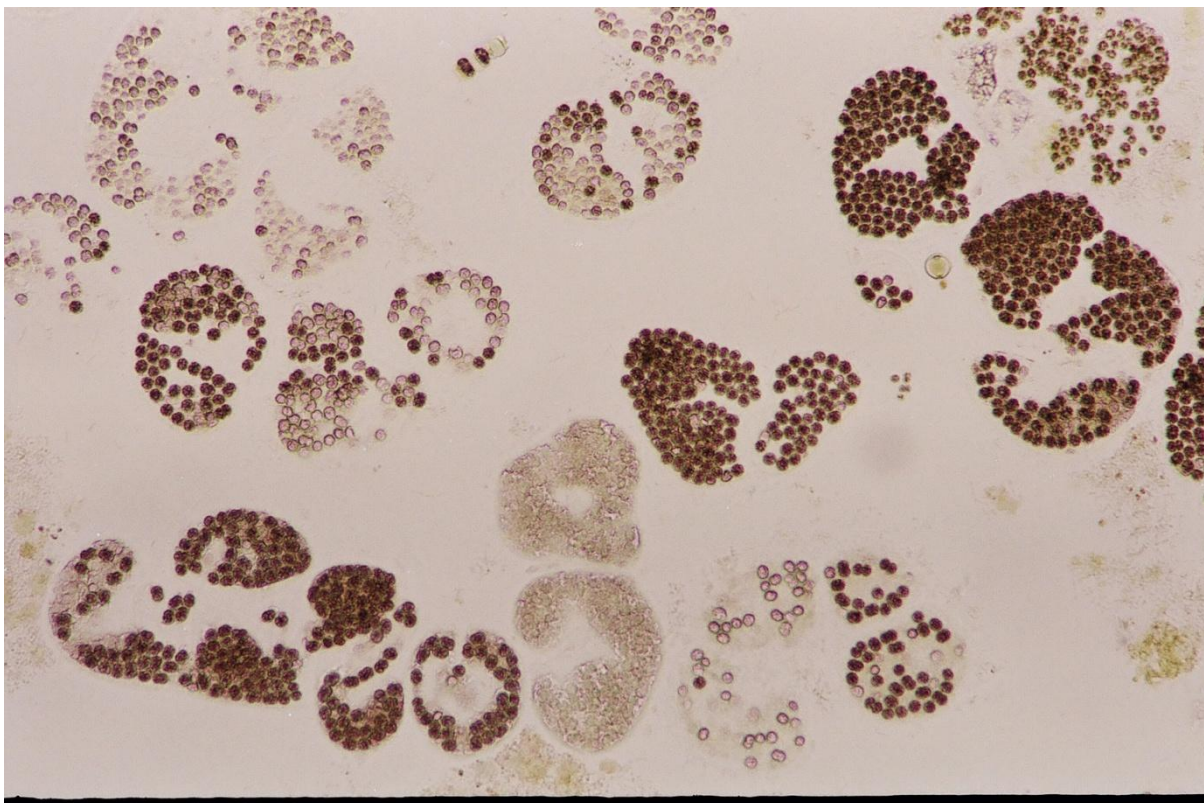


**Obr.2:** Graf znázorňuje volt-ampérovú charakteristiku nameranú pri diagnostike výboja. Podľa nameraných veličín bol určený typ HPGD, stabilný tleci režim výboja.

## 4. Výsledky a záver

Výboje a ich aplikácie na dekontamináciu, vďaka ich baktericídnym vlastnostiam sú už v dnešnej dobe celkom dobre preskúvané. Najviac používanou metódou pri aplikácii výbojov za účelom bakteriálnej dekontaminácie je elektroporácia. Avšak tento spôsob sa pri boji s vodným kvetom siníc neukázal ako dostatočne účinný [13]. Pri elektroporácii totiž dochádza k narušeniu a trvalému poškodeniu membrány bunky. V prípade cyanobaktérií nie je tento efekt žiadaný. Následkom poškodenia membrány cyanobaktérie uniká obrovské množstvo škodlivých metabolitov, takzvaných cyanotoxínov do vodného prostredia. Toto vodné prostredie je následne trvale intoxikované a tieto toxíny sa z vody odbúravajú len veľmi pomaly a zložito. Toxíny sú potom ukladané do tel živočíchov a do sedimentov vodných recipientov. Pri elektroporácii dochádza k perforácii buniek, bunkových membrán, nastáva trvalé poškodenie buniek a ich poškodenie znamená, že všetky toxické metabolity obsiahnuté v bunke sú vyplavené do vodného prostredia. V našich pokusoch išlo o hľadanie vhodnej úrovne expozície výboja, tak aby bunky neboli perforované. Na povrchu membrán cyanobaktérií sa nachádza glykoproteínový obal. Zaujímavým predmetom pokusov by bolo hľadanie takej expozície, ktorá by spôsobila iba odkrytie glykoproteínového obalu na povrchu membrány siníc tak, aby membrána získala elektromagnetický náboj, čím by boli znemožnené jej životné funkcie. Na tieto pokusy by sme však potrebovali analýzu na molekulárnej úrovni, ktorú sme nemali k dispozícii. Diagnostické metódy cyanotoxínov sú príliš nákladné a merania v danom rozpočte by nepokryli dostatočnú štatistickú škálu, takže by nemuseli zabezpečiť jednoznačné výsledky, preto sme sa rozhodli tieto merania neuskutočniť. Vzhľadom na nedostatok dostupných detekčných zariadení, ktoré sú schopné analýzy koncentrácie metabolitov, pozostávajúcich zo zložitých cyklických heptapeptidov, sme preto nevyhodnocovali množstvo vyplavených toxických metabolitov do vody, ale skúmali sme pôsobenie rôznej expozície výboja na rôzne druhy kolónií cyanobaktérií vo vodnom kvete a ich morfológické zmeny. Naším cieľom bolo zároveň, preskúmať rôzne expozície výboja na vzorky vody s rôznym zastúpením mikroorganizmov, v rôznych časoch vegetačného obdobia (v čase masívneho rozvoja kvetu a na jeseň, kedy je kvet slabší). Tak isto sme mali za cieľ nájsť takú expozíciu, pri ktorej by bunky mikroorganizmov boli vyvráňané tak, aby sa dali ľahko z vody odfiltrovať filtračnými zariadeniami. Zároveň by ostali bez poškodenia bunkovej steny tak, aby do vody neunikli toxické metabolity.

Naše pokusy sme vyhodnocovali mikroskopicky a morfológické zmeny sme zaznamenávali aj pomocou fotografií. Prvé evidentné zmeny začínali byť viditeľné po 5 minútových expozíciách, kde bolo evidentné pôsobenie výboja na určité mikroorganizmy menších buniek – *M. ichtyoblabe*. Na základe pozorovania voľným okom sa zistilo, že 10 a 15 minútové merania spôsobili tvorbu viditeľnej šupky na povrchu v mieste, kde pôsobí výboj. Dalo by sa tvrdiť, že bolo pozorované evidentné vyzrážanie buniek, rovnako tak voľným okom, ako aj mikroskopicky už pri expozíciách od 3 minút vyššie. Bola pozorovaná zmena farby vzorky vody od tmavozelenej k béžovošedej a radikálne zmenšenie zakalenia vody. *Aphanizomenon* a *Anabaena* sa zjavne rozpadli vplyvom výboja, už pri expozícií 2 min. Úplná deštrukcia buniek a vlákien nastala pri pôsobení 10 min. expozície. Pomocou našich meraní sme zistili, že ideálne rozhranie expozície výboja sa môže nachádzať medzi 3 – 7 minútami. Zmeny na bunkovej úrovni sú badateľné aj na základe zmien pigmentácie. Zhodnotili sme, že by bolo zaujímavé pokusy urobiť aj s eukaryotickými bunkami, pre porovnanie, tak sme na záver urobili pokusy s eukaryotickými bunkami zo vzorky z Šaštínskych jazier, pretože na tento účel boli najvhodnejšie (bohatšie zastúpenie rias). Touto analýzou sme zistili, že eukaryotické bunky sú oveľa citlivejšie na pôsobenie výbojom ako prokaryotické bunky, čo v praxi znamená, že riasy sú na pôsobenie výbojom oveľa citlivejšie, oproti siniciam. Vznikla taktiež hypotéza, na základe našich meraní, že pokiaľ je vodný kvet slabší, na dosiahnutie požadovaného efektu sú dostačujúce aj menšie expozície výboja, pod 5 minút. Pri silnejšom vodnom kvete, je však treba použiť expozície nad 5 minút, hlavne v prípade, ak sú v mikrobiologickom zložení prítomné aj slizovité bunky – *Microcystis wesenbergii*.



**Obr.3:** Mikroskopický záznam po 3 min. expozícií výboja na *Microcystis wesemberghii*

## 5. Zoznam použitej literatúry

1. <http://www.milanlapin.estranky.sk/fotoalbum/klimatologicke-grafy/>
2. Zi Li, Takeshi Onho, Hiroshi Sato, Takashi Sakugawa, Hidenori Akiyama, Shinta Kunitomo, Kenichi Sasaki, Masao Ayukawa, Hisamichi Fujiwara, 2008, A method of water-bloom prevention using underwater pulsed streamer discharge, 43, 1209 – 1214, Journal of Environmental Science and Health Part A, Taylor & Francis Group, LCC, 1093 – 4529.
3. Zi Li, S. Sakai, C. Yamada, D. Wang, S. Chung, X. Lin, T. Namihira, S. Katuski, H. Akiyama, 2006, The effects of pulsed streamerlike discharge on cyanobacteria cells. IEEE Trans. Plasma Sci., 34 (5), 1719 – 1724.
4. H. Akiyama, S. Katuski, T. Namihira, K. Ishibashi, N. Kiyosaki, 2003, Cleaning of lakes and marshes by pulsed power produced streamer discharge in water. J Plasma Fusion Res., 79(1), 26 – 30.
5. A. Venter, A. Jordaan, A.J.H. Pietrese, 2003, Oscillatoria simplicissima: a taxonomical study. Water SA., 29(1), 101 – 104.
6. E. Hoiczky, A. Hansel, 2000, Cyanobacterial cell walls: news from an unusual procaryotic envelope. J. Bacteriol., 182(5), 1191 – 1199.

7. M. Liberton, R.H. Berg, J. Heuser, R. Roth, H.B. Pakrasi, 2006, Ultrastructure of the membrane systems in the unicellular cyanobacterium *Synechocystis* sp. strain PCC 6803. *Protoplasma*, 227, 129 – 138.
8. Sborník konference 16. – 17.6 2010, Brno, hotel Žbětínský dvůr, CYANOBAKTERIE 2010, © Botanický ústav AV ČR, v.v.i. Průhonice, Keloc PC, spol s.r.o., 176 s. ISBN 978-80-86188-33-1 (Myčky na nádobí jako důležitý zdroj fosforu v komunálních vodách, E. Maršálková, B. Maršálek) a (Fyzikální metody omezování masového rozvoje sinic, D. Vinklárková, E. Maršálková, Š. Zezulka, P. Lukeš, F. Pochylý, B. Maršálek).
9. V. Kříha et al., 2000, Netermální plazmatické metody rozkladu škodlivin. Sborník IUAPPA. 128 – 132, Praha.
10. C.H. Wang, G. F. Li, Y. Wu, Y. Wang, J. Li, D. Li, N.H. Wang, 2007, Role of bipolar pulsed DBD on the growth of *Microcystis aeruginosa* in three-phase discharge plasma reactor., *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 27(1), 65 – 83.
11. C.H. Wang, Y. Wu, X. Q. Shen, A multi-wire-to-cylindrical type packed-bed plasma reactor for the inactivation of *M. aeruginosa*., *Journal of Electrostatics*, 68(1), 31 – 35.
12. Mário Janda, 2005, A novel approach to study of plasmochemical systems, Dizertačná práca Rig070, Fakulta Matematiky Fyziky a Informatiky UK, Bratislava.
13. L. Sedláček, 2005, Likvidácia siníc a biologického znečistenia, ozonizácia vôd, likvidácia zložiek priemyselného znečistenia, Diplomová práca DIPL4098, Fakulta Matematiky Fyziky a Informatiky UK, Bratislava.

## 6. Vlastné publikácie

Zatiaľ neboli vydané žiadne publikácie.