

# CAVIPLASMA: inovativní technologie pro dekontaminaci, dezinfekci a dočišťování odpadních vod

**Jan Čech, Lubomír Prokeš, Pavel Stáhel, Jozef Ráhel'**

Ústav fyzikální elektroniky, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno, Česká republika

**Pavel Rudolf, Simona Fialová, František Pochylý**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Odbor fluidního inženýrství Viktora Kaplana, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika

**Eliška Maršálová, Blahoslav Maršálek**

Botanický ústav AV ČR, v.v.i., Lidická 25/27, 602 00 Brno, Česká republika

**Jan Flodr, Filip Růžička**

Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, Mikrobiologický ústav, Pekařská 644/53, 656 91 Brno, Česká republika

**Ivana Papežiková**

Ústav ekologie a chorob zoonozních zvířat, zemědělské, ryb a včel, Fakulta veterinární hygieny a ekologie, Veterinární univerzita Brno, 612 42 Brno, Česká republika

**Jan Mendel**

Ústav biologie obratlovců AV ČR, v.v.i., Květná 8, 603 65 Brno, Česká republika

**Jaroslav Lev**

ASIO TECH spol. s r.o., Kšírova 552/45, 619 00 Brno, Česká republika

**Luděk Bláha**

RECETOX, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kamenice 753/5, 625 00 Brno, Česká republika

e-mail: [prokes@chemi.muni.cz](mailto:prokes@chemi.muni.cz).

## Summary

The practical application of plasma water treatment has been severely limited by the low productivity of existing plasma generators. The unique CaviPlasma technology can generate active liquid environment based on peroxide chemistry (i.e. peroxide and per-oxo compounds) due to synergistic effect of an electrical discharge generated in a cavitation cloud in a liquid (water). Its high robustness, flow rates in the order of  $\text{m}^3/\text{hr}$ , energy consumption cca  $1 \text{ kWh}/\text{m}^3$ , high yield cca  $9.5 \text{ g H}_2\text{O}_2/\text{kWh}$ , and dependence only on electricity and water supply make the CaviPlasma an attractive candidate for the development of an efficient decontamination unit. The biological effect of water treatment with CaviPlasma has been successfully tested, e.g., for remediation of cyanobacteria and algae from water, inactivation of pathogenic microorganisms from hospital environments, and inactivation of some pathogenic bacteria of rainbow trout. The CaviPlasma technology has also been successfully tested on micropollutants that are difficult to remove from WWTP effluent with current technologies.

**Klíčová slova:** plasma, kavitace, voda, dekontaminace

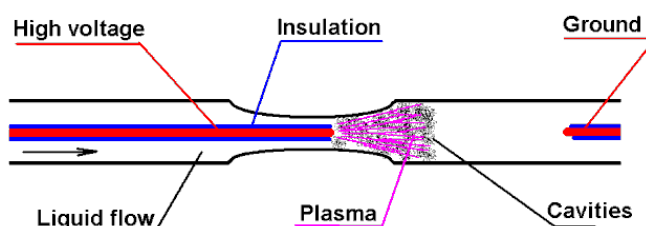
## Úvod

Praktické využití čištění a úprav vody plazmatem je stále do značné míry omezeno nízkou objemovou produktivitou stávajících plazmových generátorů [1]. To brání jejich širšímu uplatnění v praktických průmyslových, zemědělských, environmentálních a zdravotnických aplikacích, kde jsou vyžadovány průtoky přesahující několik  $\text{m}^3/\text{h}$ . Pokusy o konstrukci velkokapacitních zařízení na bázi výbojů na rozhraní kapalina-vzduch [2,3] jsou zatím spíše ojedinělé.

Překonání dosavadní malé objemové účinnosti plazmových úprav kapalin umožňuje výboj generovaný hydrodynamickou plazmovou kavitační tryskou v kapalném prostředí – technologie CaviPlasma.

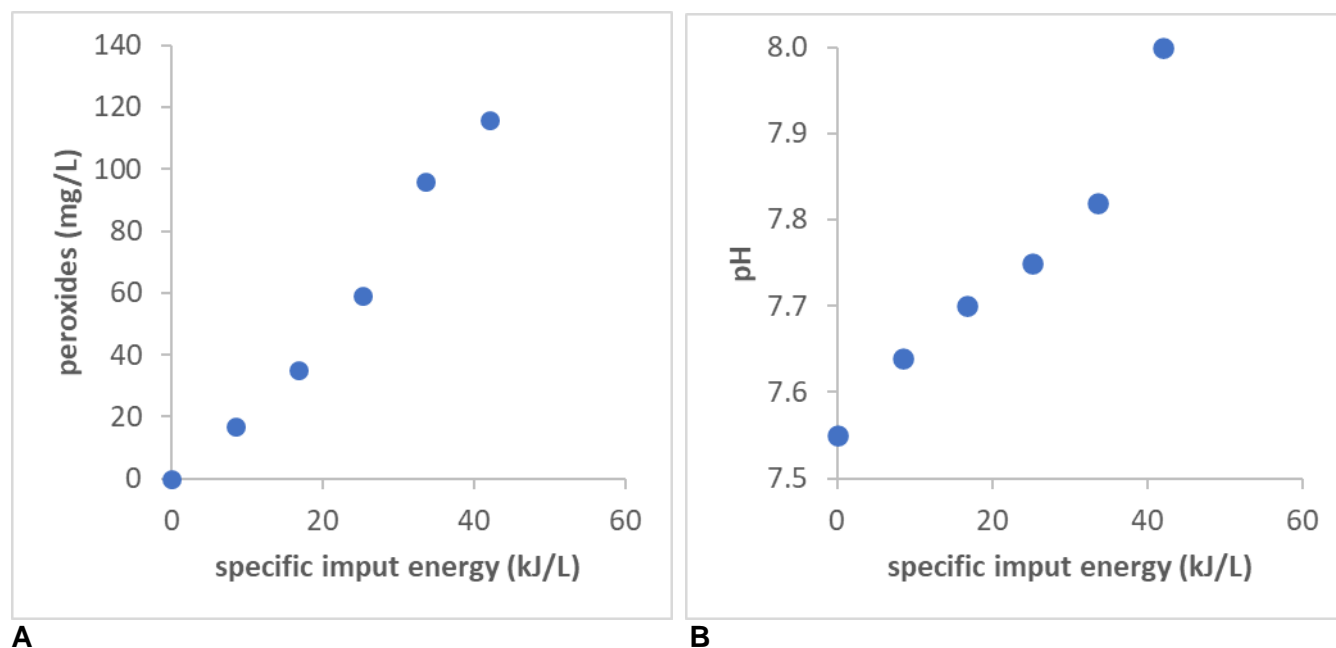
## Princip technologie CaviPlasma

Unikátní patentovaná [4] technologie CaviPlasma kombinuje tvorbu kavitačního mraku spojenou s účinným mícháním kapaliny a elektrický výboj, vznikající v prostředí sníženého tlaku v kavitačních bublinách (Obr. 1). Výboj kromě UV záření v kapalině produkuje vysoce reaktivní oxidační prostředí na bázi peroxidové chemie (t.j. peroxidy a per-oxosloučeniny). Množství generovaného peroxidu závisí na dodané energii (Obr. 2A), tj na době, po kterou je kapalina vystavena působení výboje.



Obr. 1. Princip technologie CaviPlasma.

Na rozdíl od dosavadních zařízení, založených na výboji na rozhraní plyn-kapalina (vzduch-voda), je v CaviPlasmou generovaném reaktivním prostředí prakticky nulový podíl reaktivních specií na bázi dusíku, které vznikají oxidací vzdušného dusíku (viz. [1, 5, 6]). V plazmatem aktivované vodě z hladinových výbojů zpravidla vede přítomnost dusíkatých specií ke snížení pH a vzniku kyselého prostředí [7], zatímco ve vodě aktivované technologií CaviPlasma dochází pouze k malému posunu (cca polovina jednotky pH) do alkalické oblasti (Obr. 2B) díky absenci vzduchu v systému (plynná fáze je zde tvořena pouze parami kapaliny).



Obr. 2. Závislost množství vznikajícího peroxidu (A) hodnoty pH (B) na energii dodané energii.

Díky vysoké robustnosti, průtoku v řádu m<sup>3</sup>/hod, energetické náročnosti odpovídající cca 1 kWh/m<sup>3</sup>, vysoké výtěžnosti cca 9,5 g H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/kWh a závislosti pouze na přísunu elektrické energie a vody, je CaviPlasma atraktivním kandidátem pro vývoj účinné dekontaminační/biocidní jednotky.

## Použití technologie CaviPlasma

### **Přímá aplikace**

Systém CaviPlasma může být použit přímo, kdy lze vzorek přímo ošetřit v aparatuře působením kavitace, reaktivních chemických specií (zejm. OH radikálů a peroxidů) a také UV záření z výboje.

Příkladem je odstraňování toxických sinic *Microcystis aeruginosa* z vody, kdy bylo dosaženo úplné inaktivace již po jediném průchodu kontaminované vody zařízením [8].

Během aplikace na vzorky odpadní vody z firmy Farmak a.s. došlo ke změně zabarvení vzorku a také poklesu množství butamirátu (původní koncentrace 0.183 mg/l) na 60 % a množství alfuzosinu (původní koncentrace 5.41 mg/l) na 54-62 % původních hodnot.

Technologie byla také úspěšně testována také na mikropolutantech (koncentrace v ng/l), které lze současnými technologiemi jen s obtížemi odstraňovat (voda z ČOV Modřice a modelový roztok vybraných farmak). Téměř kompletně (>99 %) byly ze vzorků odstraněny např. diclofenac, naproxen či karbamazepin, naopak v případě ketoprofenu nebo atenololu bylo odbourávání mnohem méně úspěšné.

### **Aplikace plazmatem aktivované vody**

Plazmatem aktivovaná voda (PAW) je využívána jako dezinfekční prostředek v celé řadě oborů [9-11], hlavním faktorem bránícím jejímu širšímu využití je nízká produkční kapacita běžně užívaných druhů výbojů. Hlavní konkurenční výhodou systému CaviPlasma je právě možnost vyrábět výrazně větší objemy PAW a také menší kyselost ve srovnání s ostatními technologiemi přípravy PAW.

Biologické účinky vody aktivované pomocí CaviPlasma byly úspěšně testovány na remediaci sinic *Synechococcus elongatus* a řas *Raphidocelis subcapitata* z vody [12].

CaviPlasmou aktivovaná voda se ukázala jako účinný desinfektant také vůči patogenním mikroorganismům z nemocničního prostředí: gram-pozitivní bakterii *Staphylococcus aureus* a gram-negativním bakteriím *Pseudomonas aeruginosa* a *Escherichia coli*. Naopak, nízká účinnost aktivované vody byla pozorována u kvasinky *Candida albicans*.

Podobně úspěšná byla PAW i při redukci patogenních bakterií napadajících pstruha duhového a další lososovité ryby: gram-negativní bakterie *Aeromonas salmonicida*, *Aeromonas hydrophila* a *Flavobacterium psychrophillum*.

## Poděkování

*Děkujeme Grantové agentuře ČR za podporu tohoto výzkumu v rámci projektu č. GA22-11456S. Výzkum je podporován také Technologickou agenturou České republiky v rámci projektu č. SS01020006. Studie byly realizovány také v rámci výzkumného projektu č. QK21010030, podpořeného Ministerstvem zemědělství ČR. Tato práce je také výsledkem spolupráce v rámci akce COST CA19110.*

## Literatura

[1] Foster, J. E.: Plasma-based water purification: Challenges and prospects for the future. *Phys. Plasmas* 24, 055501 (2017); doi: 10.1063/1.4977921

[2] Schmidt, M. et al.: Plasma-activation of larger liquid volumes by an inductively-limited discharge for antimicrobial purposes. *Appl. Sci.* 9, 150 (2019); doi:10.3390/app9102150

[3] Jin, Y. S. et al.: Mass production of plasma activated water by an atmospheric pressure plasma. *Japanese J. Appl. Phys.* 59(SH), SHHF05 (2020); doi:10.35848/1347-4065/ab7e13

- [4] Rudolf, P. et al.: *Device for treatment of liquids and the method of treatment of liquids with use of this device*, PCT/CZ2020/000054, international patent application (2020)
- [5] Zhou, R. et al.: Plasma-activated water: generation, origin of reactive species and biological applications. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 53, 303001 (2020); doi: 10.1088/1361-6463/ab81cf
- [6] Gorbanev, Y. et al.: Non-thermal plasma in contact with water: The origin of species. *Chem. Eur. J.* 22, 3496 (2016); doi: 10.1002/chem.201503771
- [7] Foster, J. et al.: Perspectives on the interaction of plasmas with liquid water for water purification. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 40, 1311 (2012); doi: 10.1109/TPS.2011.2180028
- [8] Maršálek, B. et al.: Removal of *Microcystis aeruginosa* through the combined effect of plasma discharge and hydrodynamic cavitation. *Water* 12, 8 (2020); <https://doi.org/10.3390/w12010008>
- [9] Zhou, R. et al.: Plasma-activated water: generation, origin of reactive species and biological applications. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 53, 303001 (2020); doi: 10.1088/1361-6463/ab81cf
- [10] Kaushik, N. K. et al.: Biological and medical applications of plasma activated media, water and solutions. *Biol. Chem.* 400, 39 (2019); doi: 10.1515/hsz-2018-0226
- [11] Thirumdas, R. et al.: Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture. *Trends Food Sci. Technol.* 77, 21 (2018); doi: 10.1016/j.tifs.2018.05.007
- [12] Čech, J. et al.: Mass production of plasma activated water: Case studies of its biocidal effect on Algae and Cyanobacteria. *Water* 2020, 12, 3167 (2020); <https://doi.org/10.3390/w12113167>