

# Odstranění mikroorganismů z vody pomocí technologie CaviPlasma s využitím hydrodynamické kavitace

**Radek Horňák<sup>a\*</sup>, Jan Čech<sup>a</sup>, Pavel St'ahel<sup>a</sup>, Lubomír Prokeš<sup>a</sup>, Blahoslav Maršálek<sup>b</sup>, Eliška Maršálková<sup>b</sup>, Klára Odehnalová<sup>b</sup>, Pavel Rudolf<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> Ústav fyzikální elektroniky, Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno, Česká republika

<sup>b</sup> Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství, Odbor fluidního inženýrství Viktora Kaplana, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika

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

\*Korespondující autor; e-mail: 473667@mail.muni.cz, tel.: +420 605 367 368

## Souhrn

*Technologie CaviPlasma generuje v prostředí hydrodynamické kavitace aktivní částice (peroxydy, hydroxylové radikály a ozon) a UV záření, způsobující narušení buněčné integrity mikroorganismů. Přímý kontakt mikroorganismů, včetně řas, sinic, gram-negativních i gram-positivních bakterií a virů, s tímto prostředím vede následně k účinné dezinfekci vody.*

**Klíčová slova:** dekontaminace, voda, vysokoobjemový, pokročilé oxidační procesy, sinice, patogeny, CaviPlasma

## Summary

*CaviPlasma technology generates active particles (peroxides, hydroxyl radicals and ozone) and UV radiation in a hydrodynamic cavitation environment, causing disruption of the cellular integrity of microorganisms. The direct contact of micro-organisms, including algae, cyanobacteria, gram-negative and gram-positive bacteria and viruses, with this environment subsequently leads to effective water disinfection.*

**Keywords:** decontamination, water, large-volume, AOP, CyanoHABs, pathogens, CaviPlasma

## Úvod

Rostoucí eutrofizace povrchových vod vede k většímu výskytu sinicových květů, což negativně ovlivňuje kvalitu vody a různé činnosti související s vodou. Tyto květy jsou celosvětově na vzestupu a představují významné technologické, toxikologické a hygienické problémy. Chemické metody sice mohou potlačit sinicové květy, ale jsou spojeny s ekologickými riziky (Jančula 2011; Matthijs 2016). Další strategie zahrnují kontrolu živin (Bormans 2016), rostlinné extrakty (Jančula 2007; Jančula 2010), probiotika (Lüring 2016) a fyzikální metody. Z fyzikálních metod se jako slibná pro účinné odstraňování biomasy sinic a toxinů ukazuje plazmový výboj v kombinaci s hydrodynamickou kavitací. Předchozí metody však měly omezení v době ošetření a spotřebě energie. Technologie CaviPlasma využívá hydrodynamickou kavitaci a plazmový výboj ke snížení aktivity buněk sinic bez jejich lýzy nebo uvolňování toxinů, s cílem praktického využití v úpravách pitné vody.

## Technologie CaviPlasma

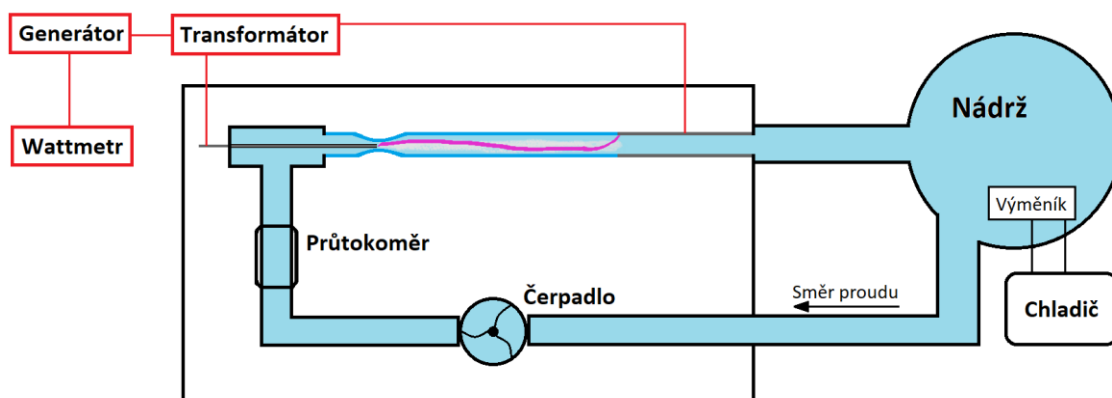
Technologie CaviPlasma je určena k vytváření aktivní kapaliny, obvykle vody, a čištění znečištěných tekutin při objemových rychlostech na úrovni několika metrů krychlových za hodinu (m<sup>3</sup>/h). Lze ji použít jak pro 1) přímou úpravu kontaminované vody, kde voda včetně kontaminantů projde zařízením CaviPlasma a je vystavena kombinaci hydromechanickému působení kavitacího mraku, elektrického pole, UV záření, elektronů a dalších částic vznikajících ve výboji, tak i pro 2) vytvoření reaktivního roztoku. Roztok lze později použít k chemickým a biologickým reakcím. V takovém případě na cílový

system působí pouze produkty plazmochemických reakcí v roztoku, aniž by byly zapojeny mechanické účinky kavitace, UV záření nebo elektrické pole výboje.

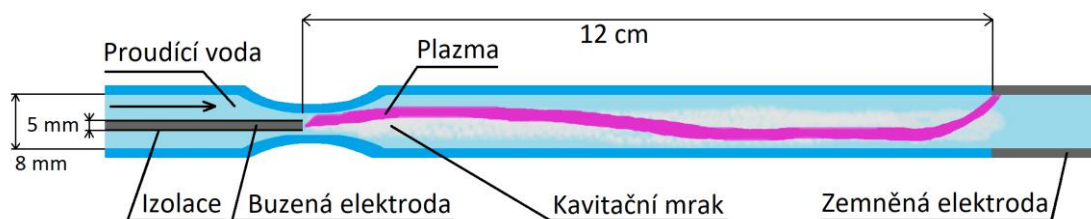
Technologie CaviPlasma je vysoce flexibilní a modulární, což umožňuje přizpůsobit její technické parametry specifickým potřebám konkrétní aplikace. Kompaktní laboratorní verze CaviPlasma reaktoru umožňuje snadné provádění ověřovacích a pilotních studií při vysokých objemových rychlostech až 1,5 m<sup>3</sup>/h a zároveň zůstává snadno přenosná. Tento design umožňuje dosáhnout průtoků až 35 litrů za minutu při maximálním příkonu 2 kW.

Samotné zařízení CaviPlasma kombinuje hydrodynamický okruh s Venturiho dýzou a elektrický okruh s výbojovými elektrodami, viz obrázek č. 1. Hydrodynamický okruh zahrnuje nádrž s vodou, nerezové odstředivé čerpadlo s výstupním tlakem kolem 6 barů, trubku s Venturiho dýzou a potřebné spojovací prvky ve formě PE trubek a hadic. Pro menší experimenty je k dispozici 8l rezervoár z PVC, zatímco pro větší objemy lze využít 150l nerezovou nádrž. Chlazení vody je možné pomocí externího chladiče. CaviPlasma je také schopna pracovat v režimu in-line "otevřeného" okruhu bez recirkulace.

Elektrický okruh obsahuje elektrody umístěné uvnitř výbojové trubice, viz obrázek č. 2, které jsou připojeny k vysokonapěťovému zdroji s frekvencí obvykle v desítkách kHz a špičkovým napětím do 10 kV. První elektroda je umístěna v úzkém hrdle Venturiho dýzy a má přímý kontakt s vodou nebo kavitačním mrakem. Tuto elektrodu lze vyrábět z různých materiálů, včetně uhlíku, mědi, nerez, wolframu nebo titanu. Druhá elektroda má dutý tvar a protéká vodou na konci kavitačního mraku, se vzdáleností mezi elektrodami obvykle kolem 10 cm.



Obrázek 1 Schéma CaviPlasma aparatury.



Obrázek 2 Schéma CaviPlasma výbojky.

## Účinky CaviPlasma technologie

Při ošetření kapaliny technologií CaviPlasma dochází ke vzniku různých radikálů a sloučenin, což závisí na složení v upravovaném roztoku. Jedním z typických využití CaviPlasma je proces generování plazmatem upravené vody, ať už jde o deionizovanou nebo kohoutkovou vodu. Během tohoto procesu se voda rozkládá v plazmatu na vodíkové atomy, OH radikály a kyslíkové atomy. Výsledným stabilním produktem je zejména peroxid vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), jehož koncentraci lze sledovat v závislosti na dodané specifické energii. Tento proces také vytváří rozpuštěný ozon (O<sub>3</sub>). Kromě množství vyrobeného H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

má významný vliv i pH výsledného roztoku. Změna pH se pohybuje v rozmezí desetin jednotek, je třeba zdůraznit, že tímto procesem nedochází k okyselení upravované vody. To přispívá k vysoké stabilitě plazmatem upravené vody, a konkrétně vysokou koncentrací H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a biocidním účinkům, které lze udržet po dobu týdnů nebo dokonce měsíců, zejména v případě deionizované vody. Hlavní výhodou technologie CaviPlasma oproti konkurenčním technologiím je rychlost opracování vody. Zatímco ostatní zařízení pracují rychlostí ml/h až l/h, CaviPlasma zařízení opracovává rychlostí m<sup>3</sup>/h.

Příkladem přímé aplikace je odstranění toxických sinic *Microcystis aureginosa* z vody. Úplné inaktivace bylo dosaženo již po jediném průchodu kontaminované vody zařízením (Maršálek 2020). Nepřímá aplikace byla úspěšně testována smícháním plazmatem aktivované vody (PAW) a kontaminované vody sinicemi *Synechococcus elongatus* a řasami *Raphidocelis subcapitata* (Čech 2020).

## Použitá literatura

- BORMANS, Myriam, Blahoslav MARŠÁLEK a Daniel JANČULA, 2016. Controlling internal phosphorus loading in lakes by physical methods to reduce cyanobacterial blooms: a review. *Aquatic Ecology* [online]. **50**(3), 407–422. ISSN 13862588. Dostupné z: doi:10.1007/s10452-015-9564-x
- ČECH, Jan, Pavel ŠTAHEL, Jozef RÁHEL, Lubomír PROKEŠ, Pavel RUDOLF, Eliška MARŠÁLKOVÁ a Blahoslav MARŠÁLEK, 2020. Mass production of plasma activated water: Case studies of its biocidal effect on algae and cyanobacteria. *Water (Switzerland)* [online]. **12**(11), 1–18. ISSN 20734441. Dostupné z: doi:10.3390/w12113167
- JANČULA, Daniel, Jana SUCHOMELOVÁ, Jakub GREGOR, Marie SMUTNÁ, Blahoslav MARŠÁLEK a Eva TÁBORSKÁ, 2007. Effects of aqueous extracts from five species of the family Papaveraceae on selected aquatic organisms. *Environmental Toxicology* [online]. **22**(5), 480–486. ISSN 15204081. Dostupné z: doi:10.1002/tox.20290
- JANČULA, Daniel, 2010. Ecotoxicological Assessment of Methods for the Management of Eutrophication-Associated Features. 1–164.
- JANČULA, Daniel a Blahoslav MARŠÁLEK, 2011. Critical review of actually available chemical compounds for prevention and management of cyanobacterial blooms. *Chemosphere* [online]. **85**(9), 1415–1422. ISSN 18791298. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2011.08.036
- LÜRLING, Miquel, Guido WAAJEN a Lisette N. DE SENERPONT DOMIS, 2016. Evaluation of several end-of-pipe measures proposed to control cyanobacteria. *Aquatic Ecology* [online]. **50**(3), 499–519. ISSN 13862588. Dostupné z: doi:10.1007/s10452-015-9563-y
- MARŠÁLEK, Blahoslav, Eliška MARŠÁLKOVÁ, Klára ODEHNALOVÁ, František POCHYLÝ, Pavel RUDOLF, Pavel STAHEL, Jozef RAHEL, Jan ČECH, Simona FIALOVÁ a Štěpán ZEZULKA, 2020. Removal of *Microcystis aeruginosa* through the combined effect of plasma discharge and hydrodynamic cavitation. *Water (Switzerland)* [online]. **12**(1). ISSN 20734441. Dostupné z: doi:10.3390/w12010008
- MATTHIJS, Hans C.P., Daniel JANČULA, Petra M. VISSER a Blahoslav MARŠÁLEK, 2016. Existing and emerging cyanocidal compounds: new perspectives for cyanobacterial bloom mitigation. *Aquatic Ecology* [online]. **50**(3), 443–460. ISSN 13862588. Dostupné z: doi:10.1007/s10452-016-9577-0

## Poděkování

Tento výzkum byl podpořen Grantovou agenturou ČR v rámci projektu č. GA22-11456S „Výzkum fundamentálních interakcí hydrodynamické kavitace a nízkoteplotního plazmatu ke zvýšení dezinfekčních účinků“. Tato práce je také výsledkem spolupráce v rámci akce COST CA19110.