

Možnosti čištění odpadních vod za pomoci experimentálního zařízení pro fyzikální působení elektrostatickým polem se zaměřením na farmaka

TOMÁŠ SEZIMA, RADMILA KUČEROVÁ

Klíčová slova: životní prostředí – odpadní voda – čištění odpadních vod – fyzikální působení – elektrostatické pole – snižování obsahu škodlivin – biotechnologie – farmaka

ABSTRAKT

Príspevek prezentuje možnosti experimentálního laboratorního zařízení pro fyzikální zpracování odpadů přestavěného na zařízení umožňující působit elektrostatickým polem na odpadní vody. Zamýšlí se nad možnostmi a perspektivami jeho dalšího využití – a to jak samostatně, tak v kombinaci s dalšími technologickými postupy, např. biotechnologiemi. První série experimentálních pokusů byla cílena na eliminaci vybraných farmak.

V důsledku klimatické změny a růstu celkového počtu obyvatel na Zemi se očekávají stále větší problémy spojené se zajišťováním dostatku vody. Narůstá potřeba ekotechnologií s nižšími spotřebami vody, s využitím zachycovaných srážkových vod a se znovuvyužitím odpadních vod.

V současnosti jsou známy miliony různých chemických látek a každý den jsou syntetizovány další a další. Chemizace nejrůznějších odvětví průmyslu je příčinou nárůstu masové kontaminace prostředí cizorodými látkami.

ÚVOD

Klasické mechanicko-biologické čistírny odpadních vod (ČOV) fungují ve většině případů dobře u základních ukazatelů znečištění (BSK_5 , CHSK_{Cr} , N-NH_4^+ , $\text{N}_{\text{celk.}}$, $\text{P}_{\text{celk.}}$, NL), nicméně nejsou dostatečně účinné pro odstranění specifických organických kontaminantů, tzv. emerging contaminants (EC). Tímto pojmem se v literatuře označují látky, které nebyly či nejsou dostatečně regulovány stávajícími nařízeními. Tyto látky představují značné riziko pro životní prostředí i lidské zdraví a jsou také jedním z důvodů omezení znovuvyužitelnosti vyčištěné odpadní vody. Mezi EC patří též farmaka a další produkty osobní hygieny (PPCP). Odstranění nebo výrazné snížení těchto látek na odtoku z ČOV by mohlo být vyřešeno zařazením dalšího vhodného typu dočištění – většinou označovaného v literatuře jako terciární nebo kvarterní úpravy [1]. Coby vhodné a perspektivní se jeví zejména využití pokročilých oxidačních procesů (AOP), ozonizace, adsorpce nebo jejich kombinace. Proces technologické úpravy musí být dobře zvládnutý, neboť při neúplném, nedostatečném rozkladu organických mikropolutantů mohou vznikat nové produkty, jež mnohdy vykazují i výrazně toxičtější vlastnosti než výchozí látky [2, 3]. Kromě účinnosti procesu v dnešní době významnou roli hraje ekonomika, tedy cena samotné technologie, její provoz, energetická náročnost a doba použitelnosti.

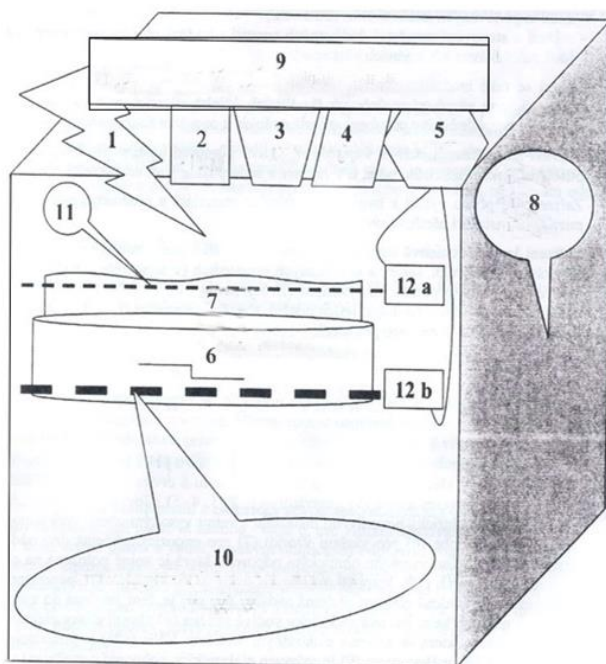
Další možný způsob terciární úpravy je působení elektrostatickým polem, prováděný buď samostatně, nebo v kombinaci s jinými technologiemi, např. biotechnologiemi.

Už kolem roku 1960 byly publikovány první informace ohledně působení různých silových polí (zejména elektromagnetických) na člověka a životní prostředí. V současné době se této problematice věnuje samostatně, či v kombinaci s jinými technologiemi řada pracovišť, významnější publikace jsou uvedeny v přehledu literatury [4–9]. Velmi perspektivní se jeví nové, původní zařízení s názvem CaviPlasma, jež kombinuje hydrodynamickou kavitaci a plazmový výboj. Je výsledkem spolupráce pracovníků z Vysokého učení technického v Brně, Masarykovy univerzity a Botanického ústavu AV ČR, v. v. i.

V letech 2007–2011 byl pracovníky VÚV TGM Praha v rámci projektu MŽP VaV SP/2f2/98/07 „*Výzkum v oblasti odpadů jako náhrady primárních surovinových zdrojů*“ započat vývoj zařízení na zpracování odpadů fyzikálními postupy. Koncept zařízení byl zapsán jako užitečný vzor – číslo zápisu: Int. 21084, Úřad průmyslového vlastnictví ze dne 2. července 2010 [10]. Zařízení a způsobu fyzikálního zpracování odpadu byl udělen dne 22. srpna 2014 evropský patent EP 2388068 [11]. Zařízení pro fyzikální úpravu materiálů (zejména pevných matic odpadů) koncepčně spočívá v jednotlivém, nebo ve vybraném kombinovaném působení vybraných silových polí (mikrovlnné pole, ultrazvuk, UV záření, jiskrový výboj, elektrostatické pole a popř. i dalších).

Podstata technického řešení původního zařízení

Navržené zařízení pro fyzikální úpravu odpadů je sestaveno z jednotlivých generátorů fyzikálních silových polí umístěných v průhledném boxu s vetkanou uzemněnou Faradayovou klecí s otvíracím vstupním – manipulačním otvorem. Na dně boxu je volně položen podstavec z elektricky nevodivého materiálu, na kterém leží plastová nádoba – vana – pro vložení sledované matrice pro expozici vzorků. Dno nádoby tvoří silná vrstva plastu s velmi vysokým ohmickým odporem. Při expozici elektrostatickým polem je na dno nádoby volně položena elektricky dobře vodivá kovová mřížka. Nad nádobou je do něj buď vnořena, nebo volně nad vzorkem zavěšena druhá kovová mřížka. Obě mřížky jsou napojeny elektrickým vodičem na generátor elektrostatického pole. Unášecí most s posuvem nese generátor UV záření a generátor jiskrového výboje. Posun mostu je realizován elektrickým pohonem s možností změny rychlosti pohybu ve dvou stupních a s pohybem ve dvou směrech (tam a zpět). Při dojezdu na konec vymezené dráhy pojezdu dochází k automatickému překlopení směru pohybu pomocí koncových dojezdových přepínačů. Délka pojezdu je mechanicky nastavitelná. Expozice elektrickým jiskrovým výbojem je realizována jiskřištěm, jež je také umístěno na unášecím mostě. Generátory silových polí mohou pracovat současně, v různých kombinacích následností, nebo samostatně. Aktuálně nelze zrealizovat společné působení silového elektrostatického pole a elektrického jiskrového výboje z důvodu nebezpečí poškození elektroniky jiskrovým výbojem. Schéma konceptu zařízení je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1. Schéma zařízení pro fyzikální předúpravu odpadu

Fig. 1. Diagram of device for physical waste pre-treatment

1, 2, 3, 4, 5 – generátory silových polí (jiskrový výboj, mikrovlnné pole, ultrazvuk, UV záření, elektrostatické pole), **6** – plastová vana (nádobu na vzorek), **7** – zkoumaný vzorek, **8** – Faradayova klec, **9** – posuvný most, **10, 11** – vodivá kovová mřížka, **12a, b** – přívodní kabely VN

1, 2, 3, 4, 5 – force field generators (spark discharge, microwave field, ultrasound, UV radiation, electrostatic field), **6** – plastic vessel (container for a sample), **7** – sample investigated, **8** – Faraday cage, **9** – carrier bridge, **10, 11** – conductive metal mesh, **12a, b** – HV supply cables

Pro experimentální činnosti úpravy odpadních vod se využívá optimalizované zařízení pro fyzikální zpracování odpadů s přepracovaným pracovním prostorem pro působení elektrostatickým polem. V současnosti je reakční prostor odladován. Experimentální zařízení pro čištění vod za pomoci elektrostatického pole je zobrazeno na obr. 2.



Obr. 2. Optimalizované zkušební/experimentální zařízení

Fig. 2. Optimised testing/experimental equipment

Působení na odpadní vody za pomoci výše popsaného zařízení elektrostatickým polem lze vhodně kombinovat s dalšími chemickými nebo biochemickými technologiemi a postupy. Vhodné se jeví biotechnologie, kdy fyzikální postupy slouží k iniciaci – otevření a zpřístupnění matic pro další působení.

Biodegradace nebezpečných škodlivých látek v životním prostředí představují významné perspektivní metody, kdy jsou složité a ekologicky závadné polutanty působením mikroorganismů rozkládány na látky jednodušší (nezávadné). Principem biodegradačních technologií je optimalizace živinových poměrů (pro podporu růstu vybraných mikroorganismů schopných degradovat cílové kontaminanty) a aplikace vhodně vybraných izolovaných kmenů mikroorganismů s příslušnou degradační schopností [12].

Biologické metody dekontaminace využívají vlastní nebo inokulované mikroorganismy (houby, bakterie a ostatní mikroorganismy) k rozkladu (metabolizaci) organických polutantů obsažených v půdách nebo vodách.

Při aplikaci biodegradačních metod je třeba vycházet z faktu, že tento proces je velice komplexní. Úspěšnost či neúspěšnost závisí především na těchto faktorech [13–15]: chemických (druh kontaminantu, pH prostředí, koncentrace makro a mikrobiogenních prvků, obsah vody, chemické složení kontaminovaného materiálu, chemické složení a koncentrace vhodných nutričních roztoků apod.), mikrobiologických (degradační aktivita mikroorganismů) a fyzikálních (teplota, rozpustnost ve vodě, sorpce na pevné částice).

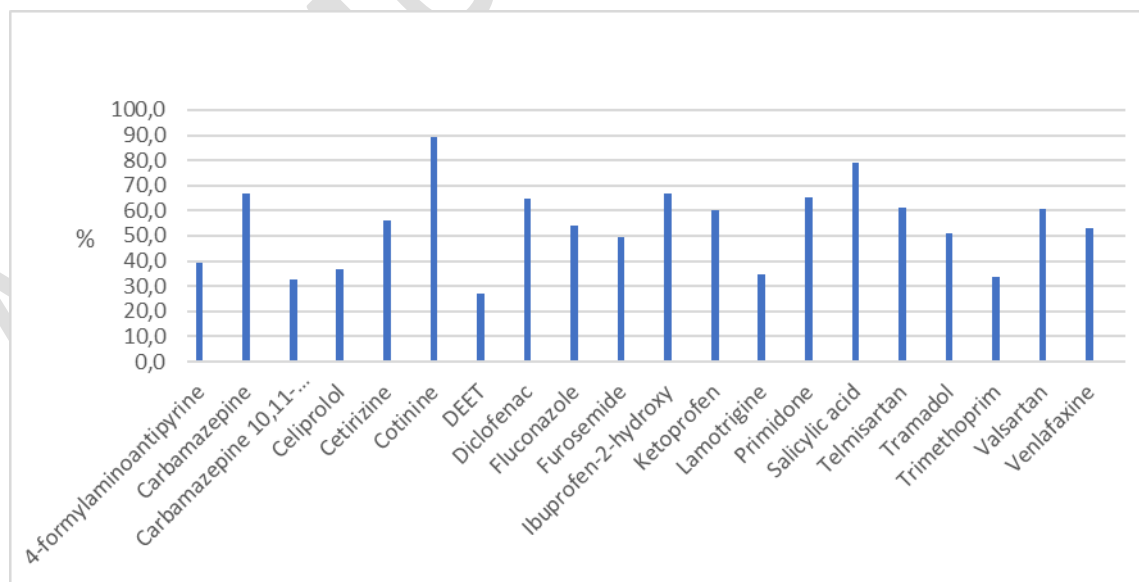
Vzhledem k tomu, že každý z výše uvedených faktorů má vliv na průběh biodegradace, je zřejmé, že při návrhu technologických postupů a jejich aplikací je třeba tyto faktory vzít v úvahu a v případě potřeby je upravit tak, aby biodegradační proces byl co nejméně limitován.

Vzorky odpadních vod bez fyzikální předúpravy a s fyzikální předúpravou byly podrobeny laboratorním biodegradčním experimentům v prostorách Katedry environmentálního inženýrství VŠB – Technické univerzity Ostrava. Pro biodegradaci byla použita směs bakterií *Rhodococcus degradans*, *Rhodococcus rhodochrous* a *Rhodococcus erythropolis*, které byly získány z České sbírky mikroorganismů působící při Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně. Česká sbírka mikroorganismů disponuje jejich značným spektrem a k nim je vytvořena podpůrná databáze s jejich degradačními schopnostmi a specifickými vlastnostmi a podmínkami kultivace.

Část vzorků byla biodegradována bez předúpravy a část byla před vlastní biodegradací podrobena fyzikální předúpravě na zařízení pro fyzikální předúpravu v laboratořích VÚV TGM. Pro předúpravu bylo odzkoušeno působení elektrostatickým polem s různou dobou expozice, napětí řádově v kV, el. proud řádově mA.

Vlastní biodegradace probíhala po dobu tří týdnů. Po zfiltrování vzorků byly provedeny speciální chemické analýzy. Vzhledem k charakteristice daného vzorku odpadních vod bylo pro chemická stanovení vybráno cca 70 látek ze skupiny PPCP, převážně farmak.

První série experimentů naznačují, že jen za pomoci elektrostatického pole u mnohých farmak lze snížit jejich obsah účinných složek (např. carbamazepin, celiprolol, claritromycin, diclofenac, hydrochlorothiazide, iohexol, iomeprol, irbesartan). Kombinovaný technologický postup (fyzikální úprava elektrostatickým polem a biotechnologie za pomoci vybraných kmenů bakterií) se jeví jako velmi nadějný, neboť dochází ke snížení významné části celého spektra sledovaných látek. Fyzikální předúprava výrazně zvyšuje účinnost následně zařazených biotechnologií řádově o desítky procent. Změna (zvýšení) účinnosti biodegradace vybraných farmak použitím elektrostatického pole oproti biodegradaci bez použití elektrostatického pole je zobrazena na grafu (obr. 3).



Obr. 3. Změna/zvýšení účinnosti biodegradace vybraných farmak použitím elektrostatického pole oproti biodegradaci bez použití elektrostatického pole [%]

Fig. 3. Change/Increase in biodegradation efficacy of selected pharmaceuticals using electrostatic field versus biodegradation without applying an electrostatic field [%]

Experimentálními činnostmi je ověřeno, že kombinaci fyzikální předúpravy a biodegradace lze provádět postupně nebo ve vhodně zvoleném režimu i v souběhu obou procesů najednou.

Jde o první výsledky experimentálních činností, z nichž zatím nelze učinit konečné závěry. Průběžně jsou doladovány jednotlivé funkční prvky (např. reakční kazetový prostor, cirkulace vzorku, čerpadlo s řízením chodu). Zařízení pro fyzikální čištění odpadních vod se zdrojem vysokého napětí bylo připraveno na prohlídku revizními technikami. Na zařízení a zdroj VN jsou vydány revizní zprávy. Je plánováno, že na doladěný reakční prostor zařízení bude podána přihláška pro udělení zápisu užitého vzoru.

Lze konstatovat, že kombinace působení fyzikální předúpravy a biodegradačních postupů se jeví perspektivní z hlediska účinnosti a spektra působení.

V současnosti je pokračováno v experimentálních laboratorních pokusech, ve vylepšování funkčnosti, stanovení podmínek použití zařízení ke snižování vybraných látek (farmak) v reálných vzorcích odpadních vod z komunálních ČOV samostatně, nebo v kombinaci s vybranými biotechnologiemi.

DISKUZE A ZÁVĚR

Aktuálním vodohospodářským tématem dneška je dočišťování odpadních vod od mikropolutantů, které povede ke snížení zatížení přírody z antropogenních aktivit člověka a zároveň k opětovnému využití vody, a proto jsou v dnešní době nové techniky a technologie vítány a ve správném čase i společností podporovány, a to v rámci naplňování trvale udržitelného rozvoje.

Upravené zařízení fyzikálního zpracování odpadu je modifikováno na použití elektrostatického pole za účelem snižování obsahu vybraných persistentních polutantů v odpadních vodách. Aktuálně je zařízení vystavěno jako zkušební laboratorní zařízení, výhledově i jako zařízení průmyslové.

V současné době probíhá spolupráce s dalšími výzkumnými pracovišti, zejména dislokovánými na vysokých školách, a zkušební testování odpadních vod v rámci uživatelské optimalizace zařízení. Dále jsou vedena jednání s výrobcí zkušebních laboratorních a průmyslových technických zařízení (zejména ČOV). Trvale je budována síť profesionálních partnerů. V rámci komercializace je pro další rozvoj, využití a uplatnění zařízení hledán významný a silný strategický partner.

Poděkování

Tento článek vznikl v rámci pracovního balíčku WP 2. A Centra environmentálního výzkumu „Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost“ (CEVOOH – SS02030008) za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci 2. veřejné soutěže Programu na podporu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život.

Literatura

- [1] COIMBRA, R. N., ESCAPA, C., OTERO, M. (2018). Adsorption separation of analgesic pharmaceuticals from ultrapure and waste water: Batch studies using a polymeric resin and an activated carbon. *Polymers*. 10(9), 958. <https://doi.org/10.3390/polym10090958>
- [2] GOMES, J. F., FRASSON, D., PEREIRA, J. L., GONÇALVES, F. J. M., CASTRO, L. M., QUINTA-FERREIRA, R. M., MARTINS, R. C. (2019). Ecotoxicity variation through parabens degradation by single and catalytic ozonation using volcanic rock. *Chemical Engineering Journal*. 360(September 2018), 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.194>
- [3] REKHATE, C. V., SRIVASTAVA, J. K. (2020). Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater – A review. *Chemical Engineering Journal Advances*. 3(September), 100031. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.100031>
- [4] BALAKRISHNAN, SYAM KRISHNA. *Degradation of organic pollutants in water by non-thermal plasma based advanced oxidation processes = Degradace organických znečišťujících látek ve vodě nízkoteplotním plazmatem na bázi pokročilých oxidačních procesů*. Vodňany: Faculty of Fisheries and Protection of Waters, University of South Bohemia in České Budějovice, 2017. 87 s. ISBN 978-80-7514-058-6.
- [5] BARTUSEK, S., PRYSZCZ, A., OBROUČKA, K. Energy and material recovery process combined reduction and plasma at the new facility of The Institute of Environmental Technology. *Conference on Environment and Mineral Processing*, 2013, 17, s. 325–329. ISBN 978-80-248-3000-1.
- [6] FERIANCOVÁ, A. et al. Spracovanie PVC odpadov z káblov pomocou mikrovlnného žiarenia. *Hutnické listy*, 2015, 68(5), s. 68–71. ISSN 0018-8069. Dostupné také z: <https://www.hutnickelisty.cz/download/674>
- [7] HÁJEK, M. Mikrovlnná recyklace odpadních PET lahví. *Odpady*, 2014, 24(6), s. 25–26. ISSN 1210-4922. Dostupné také z: <https://odpady-online.cz/mikrovlenna-recyklace-odpadnich-pet-lahvi>
- [8] LÁZÁR, M. et al. Refuse-derived fuel energy recovery by plasma technology. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Řada strojní*, 2014, 60(1), s. 69–76. ISSN 1210-0471. Dostupné také z: <http://transactions.fs.vsb.cz/2014-1/1980.pdf>
- [9] BANU, RAJESH, J. et al. Energetically efficient microwave disintegration of waste activated sludge for biofuel production by zeolite: Quantification of energy and biodegradability modelling. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018, ISSN: 0360-3199.
- [10] SEZIMA T., SIKORA, E. *Užitný vzor – Zařízení pro fyzikální úpravu odpadů – Osvědčení o zápisu užitého vzoru*, číslo zápisu: Int. 21084, Úřad průmyslového vlastnictví ze dne 2. 7. 2010, v rámci projektu VaV SP/2f2/98/07 Výzkum v oblasti odpadů jako náhrady primárních surovinových zdrojů (2007–2011, MŽP/SP), dostupné z: <https://isdv.upv.cz/webapp/webapp.vestnik.seznam?lan=cs&pdpr=2010> nebo https://isdv.upv.cz/doc/vestnik/2010/vestnik_UPV_201028.pdf
- [11] SEZIMA, T., SIKORA, E. Evropský patent EP 2388068 „Device for physical waste treatment“, datum zápisu 22. srpna 2014, dostupné z <https://patentimages.storage.googleapis.com/01/b0/66/2f4267549e5b1f/EP2388068B1.pdf>

- [12] PÁČA, J., SUCHÁ, V., MIKŠANOVÁ, M., STIBOROVÁ, M. Enzymy kvasinky *Candida tropicalis* participující na biodegradaci fenolu. *Biodegradace VI*, Seč, 2003, s. 9–13.
- [13] SMITH, J. R. et al. Bioremediation of PCB and PAH – containing sludge, sediments in land treatment units achieve risk – based endpoints. *Hazard. Ind. Wastes*, 28th, 1996, p. 309–318. ISBN 1044-0631.
- [14] HOLDEN, P. A., FIRESTONE, M. K. Soil microorganisms in soil clean up. How can we improve our understanding? *Journal of Environmental Quality*. 26, 1997, s. 32–40.
- [15] HARMS, H., BOSMAN, T. N. P. Mass transfer limitation of microbial growth and pollutant degradation. *Microbiol.* 18, 1997, 97–105.
- [16] MASÁK, J. a kol. *Speciální mikrobiální technologie*. Skripta VŠCHT, 1992.
- [17] FEČKO, P. *Environmentální biotechnologie*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2004. 180 s. ISBN 80-248-0700-9.

Autoři

Ing. Tomáš Sezima, Ph.D.¹

tomas.sezima@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-0258-6511

doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová²

radmila.kucerova@vsb.cz

ORCID: 0000-0001-7242-5743

¹ Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Ostrava

² VŠB-TUO, HGF, Ostrava

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.09.001

POSSIBILITIES OF WASTEWATER TREATMENT USING AN EXPERIMENTAL DEVICE FOR PHYSICAL ACTION BY AN ELECTROSTATIC FIELD WITH A FOCUS ON PHARMACOLOGICAL PREPARATIONS

SEZIMA, T.¹; KUČEROVÁ, R.²

¹T. G. Masaryk Water Research Institute, Ostrava

²Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Ostrava

Keywords: environment – waste water – waste water treatment – physical action – electrostatic field – reducing the content of harmful substances – biotechnology – pharmaceuticals

The contribution presents the possibilities of rebuilding experimental, laboratory equipment for the physical processing of waste into equipment for the effect of an electrostatic field on wastewater. He is thinking about the possibilities and perspectives of its further use. This equipment can be used alone or in combination with other technological procedures, e.g. with biotechnologies. The first series of experimental trials was aimed at eliminating selected drugs.

Accepted for print