LIFE2Water

Ověření a vyhodnocení technologií pro terciární dočištění komunálních odpadních vod

ZÁPIS Z KONFERENCE MĚSTSKÉ VODY 2015

SOUČÁST VÝSTUPU D6d1 PROJEKTU LIFE2WATER

PART OF DELIVERABLE D6D1 OF LIFE2WATER PROJECT

ŘÍJEN 2015

www.life2water.cz

AQUA PROCON

Brněnské vodárny a kanalizace a.s.

ALS

1. INFORMACE O KONFERENCI

Ve dnech 1. a 2. října 2015 se ve Velkých Bílovicích uskutečnila odborná konference Městské vody. Jedná se o konferenci s mezinárodní účastí zaměřenou na městské odvodnění, stokování a čištění odpadních vod. Cílem je výměna zkušeností a prezentace nových a zajímavých poznatků z této oblasti z České republiky, Slovenska a ze zahraničí. Okruhy témat konference jsou (1) stav vodního hospodářství v České republice, (2) systémy zásobování pitnou vodou a vodní zdroje, (3) zajištění potřeby vody z alternativních zdrojů, (4) městské vodní toky, (5) protipovodňová ochrana ve vztahu k městskému odvodnění, (6) progresivní technologie čištění odpadních vod, (7) technologické procesy ČOV a (7) zkušenosti z realizace staveb městského odvodnění.

Odborná náplň konference byla rozdělena na několik sekcí: (1) stav vodního hospodářství v České republice, (2) stokové sítě, ČOV, jejich koncepce, objekty a materiály, (3) nové technologie čištění odpadních vod a úpravy kalů, energie z odpadních vod, (4) stokové sítě a dešťové vody.

2. PŘÍSPĚVEK NA KONFERENCI

Na konferenci byly prezentovány dva příspěvky (přednáška a posterové sdělení) a ve sborníku konference byly otištěny příspěvky Poloprovozní zkušenosti s technologiemi pro dočištění komunálních odpadních vod se zaměřením na odstraňování mikrobiálního znečištění a znečištění vybranými prioritními látkami a Poloprovozní jednotky pro dočištění komunálních odpadních vod.

Příspěvky ve sborníku konference:

HABR, V., STŘÍTESKÝ, L., PEŠOUTOVÁ, R., HALEŠOVÁ, T., HRICH, R. První provozní zkušenosti s technologiemi pro dočištění komunálních odpadních vod. In *Městské vody 2015.* 1. Brno: ARDEC, s.r.o., 2015. s. 149-156. ISBN: 978-80-86020-81-5.

STŘÍTESKÝ, L., HABR, V., HRICH, R., PEŠOUTOVÁ, R. Poloprovozní jednotky pro dočištění komunálních odpadních vod. In *Městské vody 2015.* 1. Brno: ARDEC, s.r.o., 2015. s. 261-266. ISBN: 978-80-86020-81-5.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: První provozní zkušenosti s technologiemi pro dočištění komunálních odpadních vod

Příloha č.2: Poloprovozní jednotky pro dočištění komunálních odpadních vod

Příloha č.3: Prezentace na konferenci

Příloha č.4: Posterové sdělení

Příloha 1

PRVNÍ PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI S TECHNOLOGIEMI PRO DOČIŠTĚNÍ KOMUNÁLNÍCH ODPADNÍCH VOD

Vladimír HABR[1], Luboš STŘÍTESKÝ[2], Radka PEŠOUTOVÁ[2], Taťána HALEŠOVÁ[3], Robert HRICH[1]

Abstrakt: V příspěvku jsou představeny výsledky ověření pilotních jednotek využívající sonolýzy ozonu a kombinace mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku k dočištění komunálních odpadních vod realizovaného v rámci projektu LIFE2Water na ČOV Brno-Modřice. Během testování byla sledována účinnost odstranění znečištění a vybrané provozní parametry. Byly sledovány základní a mikrobiální parametry a koncentrace vybraných chemických látek. Z mikrobiálního znečištění byla pozornost zaměřena na sledování bakterií indikující znečištění střevního původu (fekální koliformní bakterie, enterokoky a *Escherichia coli*). Mezi sledované chemické látky byly zahrnuty pesticidní látky (triazinové pesticidy a jejich metabolity, fenoxyalkanové pesticidy, močovinové pesticidy, karbamátové pesticidy), vybrané průmyslové látky (bisfenol A, alkylfenoly a jejich metabolity), vybraná léčiva (např. diclofenac, karbamazepin, naproxen, ibuprofen) a steroidní látky (17α-ethinylestradiol, 17β-estradiol a další). Z provozních parametrů je sledována a měřena spotřeba elektrické energie a dalších nezbytných vstupů.

Úvod

Konvenční metody čištění odpadních vod se v bodových zdrojích znečištění zaměřují na odstranění organických látek a na snížení koncentrací dusíku a fosforu na míru přijatelnou pro ekosystém daného toku. Zatížení toků mikrobiálním znečištěním a dalšími negativně působícími chemickými látkami jako například léčivy, pesticidy a jejich metabolity či různými průmyslovými chemikáliemi zůstává vysoké.

Reakcí na potřeby zlepšování kvality vypouštěných komunálních odpadních vod je projekt LIFE2Water spolufinancovaný z komunitárního programu LIFE+. Jeho cílem je uplatnění a poloprovozní ověření inovativních technologií na dočištění komunálních odpadních vod. V průběhu řešení je sledována účinnost odstranění znečištění (mikrobiální znečištění a znečištění vybranými chemickými látkami) a provozní parametry s důrazem na snížení spotřeby elektrické energie a dalších vstupů na vlastní proces dočištění. V závěru projektu bude vytvořen soubor postupů k výběru vhodné technologie pro terciární dočištění komunálních odpadních vod využitelný provozovateli a projektanty čistíren odpadních vod pro volbu vhodné technologie dočištění. Koordinujícím příjemcem projektu je projektová a inženýrská firma AQUA PROCON s.r.o. Přidruženými příjemci projektu jsou Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. a analytická laboratoř ALS Czech Republic, s.r.o. Projekt je řešen od září 2014 do prosince 2017.

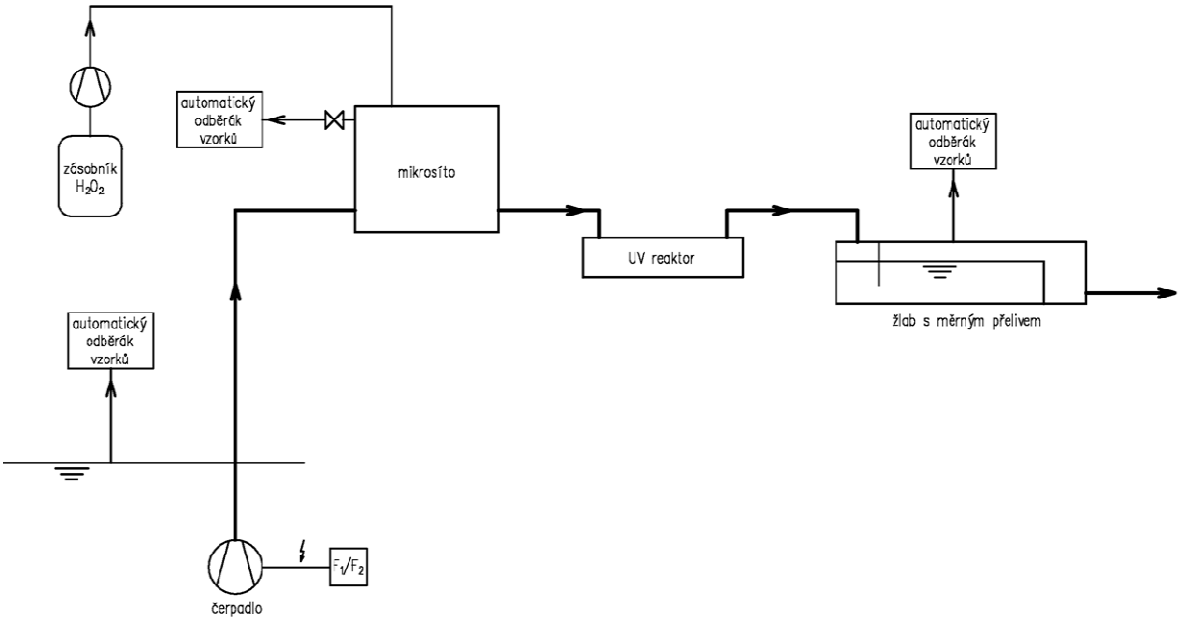
V tomto příspěvku jsou představeny první provozní zkušenosti s odstraněním mikrobiálního znečištění a znečištění vybranými chemickými látkami, pesticidy a léčivy pomocí technologií sonolýzy ozonu a mikrosítové filtrace v kombinaci s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku.

[1] Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., Hybešova 254/16, Brno
[2] AQUA PROCON s.r.o., Palackého tř. 12, 612 00 Brno
[3] ALS Czech Republic, s.r.o., Na Harfě 336/9, Praha 9 - Vysočany

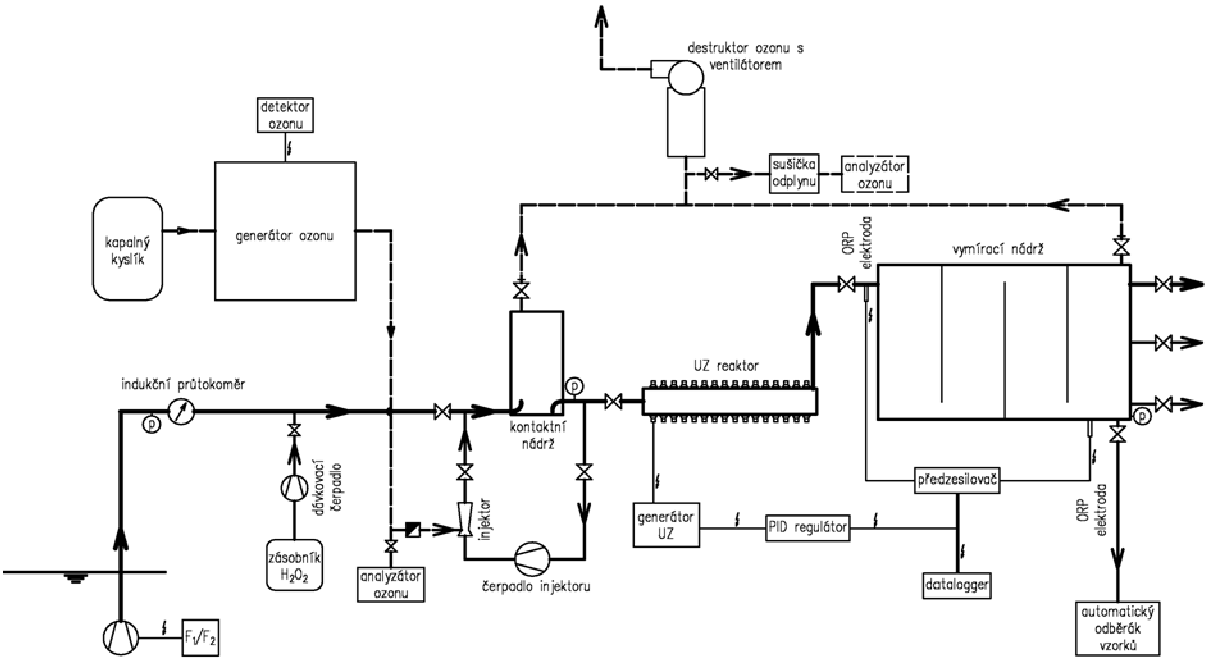
Materiály a metody

Pilotní jednotky a průběh testování

Pilotní jednotka mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku (MFO/UV, obr. 1) a pilotní jednotka sonolýzy ozonu (O_3/UZ, obr. 2) byly instalovány na ČOV Brno-Modřice. Návrhová kapacita pilotní jednotky MFO/UV je 10 $l \cdot s^{-1}$ a 5 $l \cdot s^{-1}$ u jednotky O_3/UZ. Obě jednotky jsou blíže představeny v samostatném příspěvku posterové sekce této konference.



obr. 1 Technologické schéma pilotní jednotky mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku



obr. 2 Technologické schéma pilotní jednotky sonolýzy ozonu

V průběhu testování byly u pilotní jednotky MFO/UV prováděny změny v průtocích, dále byly prováděny změny v dávkované chemikálii a jejím množství chemikálie. Během testování byla

mimo peroxidu vodíku ověřena i účinnost kyseliny peroctové (PAA) v kombinaci s UV zářením na účinnost odstranění sledovaného znečištění. U pilotní jednotky O_3/UZ byly ověřovány mimo různých dávek ozonu, změn v intenzitě ultrazvuku a množství dávkovaného peroxidu vodíku i různé kombinace uvedených vstupů.

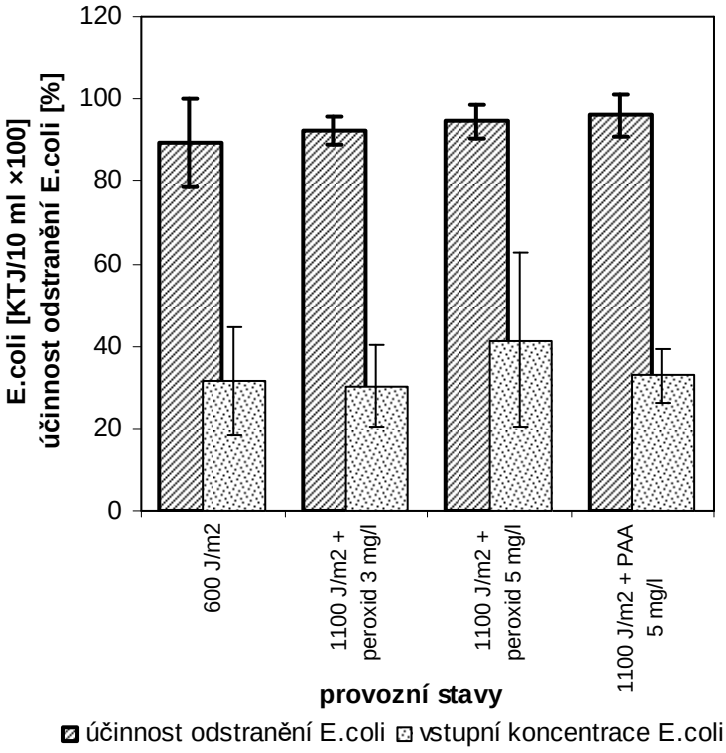
Sledované znečištění a použité analytické metody

Mezi sledované znečištění bylo mimo základních parametrů zahrnuto mikrobiální znečištění a znečištění vybranými chemickými látkami. Z mikrobiálního znečištění byla pozornost zaměřena na fekální koliformní bakterie, enterokoky a *Escherichia coli*. Mezi sledované chemické látky byly zahrnuty pesticidní látky (celkem bylo sledováno 26 pesticidních látek a jejich metabolitů, mezi nimi atrazin a jeho metabolity, MCPA, MCPP, MCPB), vybrané průmyslové látky (bisfenol A, nonylfenol a oktylfenol a jejich metabolity), vybraná léčiva (celkem bylo sledováno 23 látek, mezi nimi diclofenac, karbamazepin, naproxen, vybrané rentgenové kontrastní látky a antibiotika) a steroidní látky (17α-ethinylestradiol, 17β-estradiol a další).
K vlastnímu testování pilotních jednotek byla využívána biologicky vyčištěná odpadní voda odebíraná ze zásobní nádrže pro přípravu technologické vody. 24 hodinové slévané vzorky byly odebírány na vstupu do pilotní jednotky a na výstupu z pilotní jednotky pomocí automatických vzorkovačů. Vzorky odpadní vody byly odebírány v kampaních, jednotlivé kampaně se odvíjely podle počasí, změn osídlení města a změn nastavení pilotních jednotek. Vzorkovače byly na všech odběrných místech připojeny k procesu teflonovým potrubím, vzorkování bylo realizováno do sterilních skleněných nádob a následně bylo se vzorky manipulováno zvláštním postupem tak, aby bylo zamezeno kontaminaci vzorku z hlediska mikrobiologického a také z hlediska kontaminace sledovanými látkami (velmi problematické jsou z tohoto hlediska alkylfenoly, konkrétně všudypřítomný bisfenol A).
Pro stanovení sledovaných chemických látek jsou využívány chromatografické metody s hmotnostní detekcí typu trojitého kvadrupolu (LC/MS/MS – pesticidní látky, steroidní hormony, léčiva; GC/MS/MS – alkylfenoly a bisfenol A). Tyto multireziduální analýzy umožňují nejen stanovení velkého množství analytů, ale díky citlivosti hmotnostního spektrometru lze dosáhnout požadovaných velmi nízkých limitů kvantifikace (0,01-0,001 µg/l) nezbytných k posouzení míry odstranění prioritně sledovaných látek.

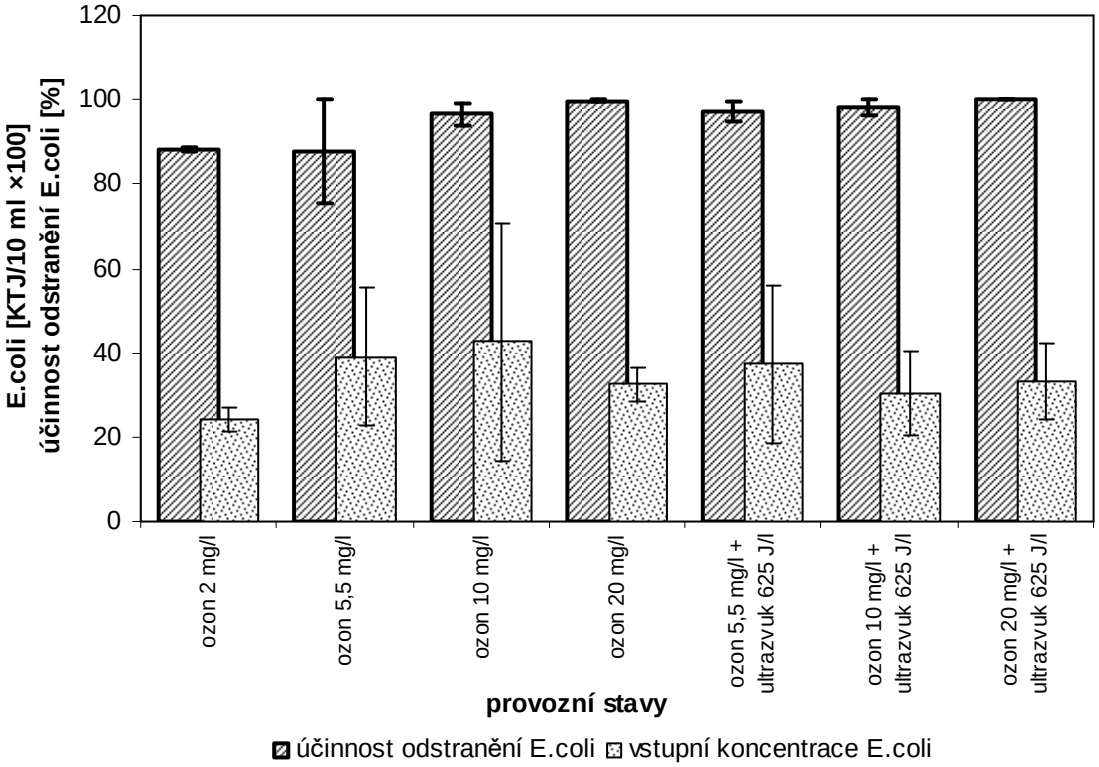
Výsledky a diskuze

Účinnost odstranění mikrobiálního znečištění

Účinnosti odstranění *Escherichia coli* a vstupní koncentrace v různých provozních stavech pro pilotní jednotku MFO/UV jsou na obr. 3 a pro pilotní jednotku O_3/UZ na obr. 4.
Z grafu na obr. 3 je patrné, že i při nejnižší testované dávce UV záření (600 J/m^2) je průměrná účinnost odstranění *Escherichia coli* vysoká (89 %) a takto dočištěná odpadní voda má v tomto parametru kvalitu vyšší než je požadavek na koupací vody stanovený nařízením vlády č. 61/2003 Sb. Dodatečným dávkováním peroxidu vodíku nebo kyseliny peroctové se průměrné účinnosti odstranění dále zvyšují, nicméně vlivem oxidačních schopností těchto látek dochází k velmi rychlé tvorbě úsad železa na křemenných trubicích reaktoru a tím ke snižování efektivní dávky UV záření. Takové provozování vyžaduje časté chemické čištění UV reaktoru (intervaly čištění v řádu jednotek hodin).
Průměrné účinnosti odstranění *Escherichia coli* na pilotní jednotce O_3/UZ jsou obecně vyšší než na pilotní jednotce MFO/UV s výjimkou velmi malých dávek (zejména 2 mg/l O_3). Kombinace ultrazvuku s ozonem nemá oproti samotnému ozonu výrazný přínos a pro samotnou dezinfekci se tedy jeví jako neefektivní.
Průměrné účinnosti odstranění koliformních bakterií na obou pilotních jednotkách měly podobný charakter i podobnou míru odstranění jako *Escherichia coli*.



obr. 3 Účinnost odstranění a vstupní koncentrace *Escherichia coli* na pilotní jednotce MFO/UV



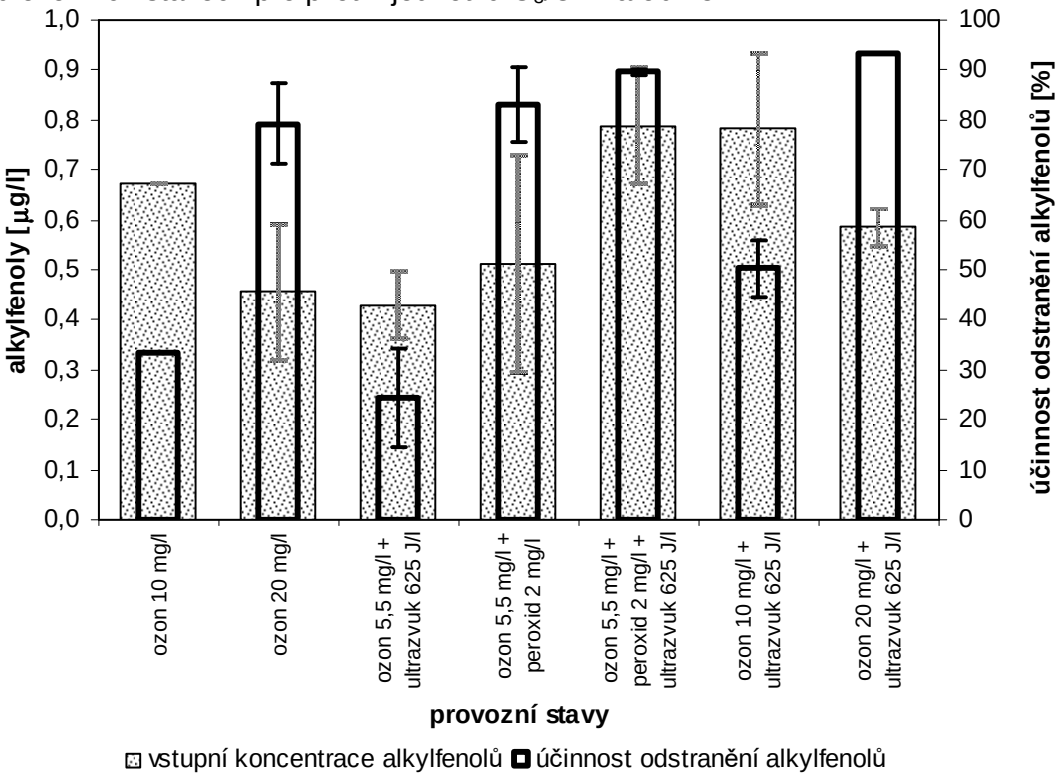
obr. 4 Účinnost odstranění a vstupní koncentrace *Escherichia coli* na pilotní jednotce O_3/UZ

Průměrné účinnosti odstranění enterokoků byly na pilotní jednotce O_3/UZ stabilně velmi vysoké (nad 96 %) s výjimkou dávky 2 mg/l O_3, kde byla průměrná účinnost odstranění pouze 60 %. Na pilotní jednotce MFO/UV byly průměrné účinnosti odstranění 70 až 75 % při použití samotného UV záření (600 až 1100 J/m^2), 83 až 87 % při 1100 J/m^2 v kombinaci s 2 až 5 mg/l peroxidu vodíku a 97 % při 1100 J/m^2 v kombinaci s 5 mg/l kyseliny peroctové.
Dočištění UV zářením při dávce 600 J/m^2 má provozní náklady 0,06 Kč/m^3 (elektřina na provoz UV a mikrosíta). Dočištění na stejnou úroveň mikrobiologického znečištění pomocí ozonizace vyžaduje dávku cca 2 mg/l O_3, provozní náklady na takové dočištění jsou

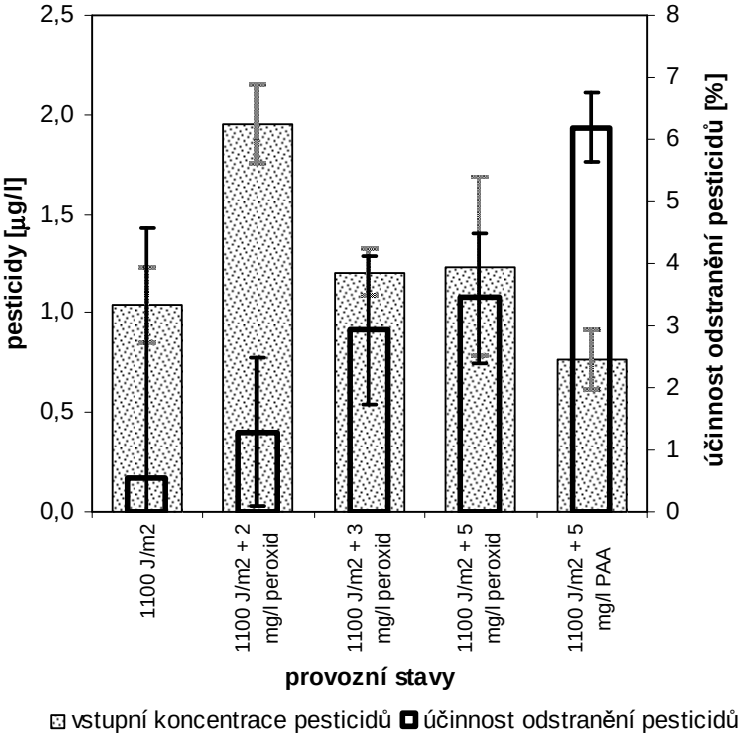
0,31 Kč/m^3 (spotřeba elektrické energie a kyslíku). U obou variant je třeba dále započítat náklady na čerpání, v případě UV náklady na chemické čištění (bez dávkování H_2O_2 nebo PAA je to zanedbatelná částka vzhledem k malé četnosti čištění) a investiční náklady.

Účinnost odstranění chemického znečištění

Průměrné účinnosti průmyslových chemikálií (alkylfenolů) a vstupní koncentrace v různých provozních stavech pro pilotní jednotku O_3/UZ na obr. 5.

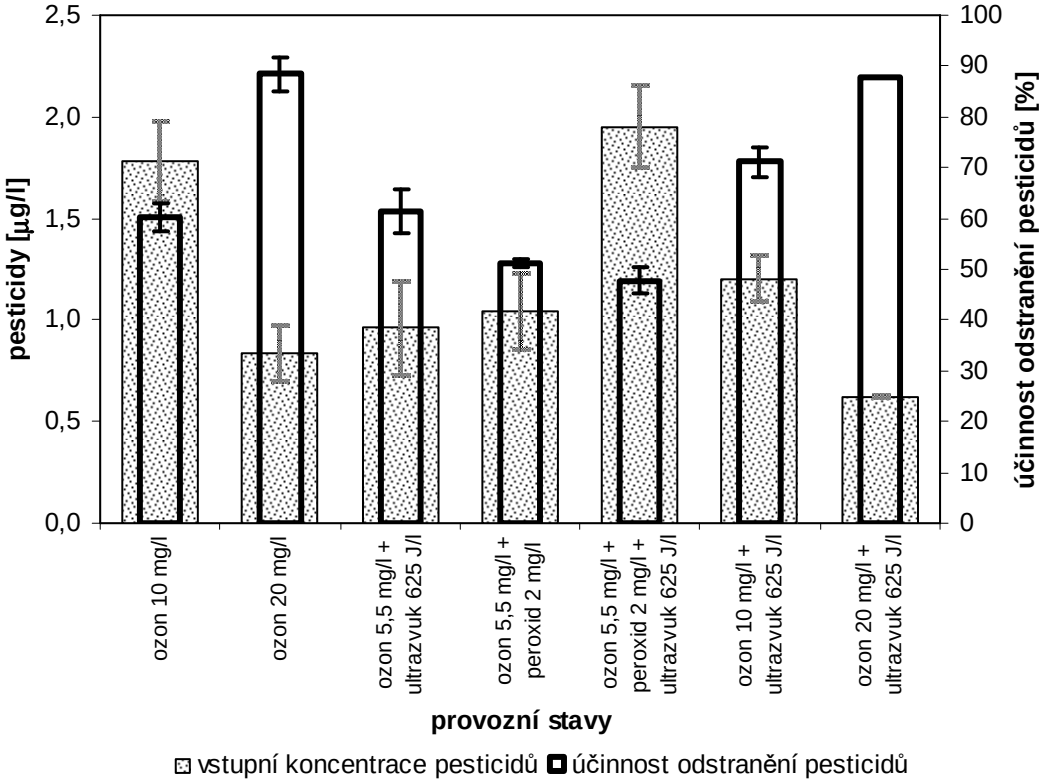


obr. 5 Účinnost odstranění a vstupní koncentrace alkylfenolů na pilotní jednotce O_3/UZ



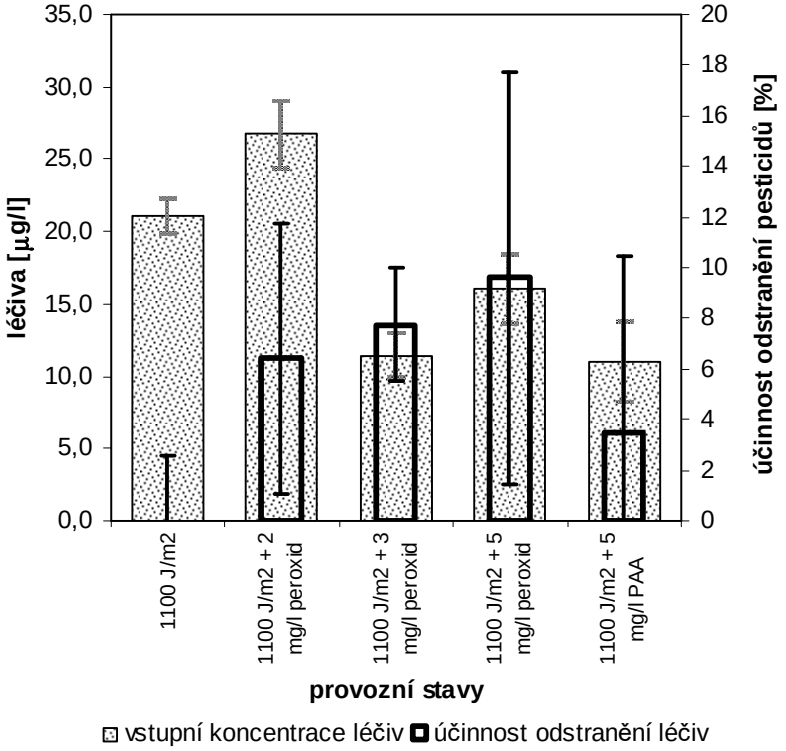
obr. 6 Účinnost odstranění a vstupní koncentrace sledovaných pesticidů na pilotní jednotce MFO/UV

Z dosažených výsledků je patrné, že alkylfenoly nejsou snadno odstranitelné látky. I při dávce 20 mg/l O_3 je v dočištěné odpadní vodě stále přítomno 21 % alkylfenolů z přítoku. Tento výsledek je způsoben především těžce rozložitelnými nonylfenoly. V případě alkylfenolů je na rozdíl od mikrobiologických parametrů patrný přínos ultrazvuku. Při dávce ultrazvuku 625 J/l a dávce ozonu 10 mg/l O_3 dojde ke zvýšení průměrné účinnosti odstranění alkylfenolů z 34 % na 50 %. Přínos peroxidu vodíku je výrazně vyšší ve srovnání s ultrazvukem, při dávce ozonu 5,5 mg/l O_3 a pouhých 2 mg/l peroxidu vodíku jsou průměrné účinnosti odstranění vyšší než při dávkování 20 mg/l O_3 samotného ozonu (83 % vůči 79 %).
Na pilotní jednotce MFO/UV nedocházelo v žádném z provozních stavů k významnému odstraňování alkylfenolů.



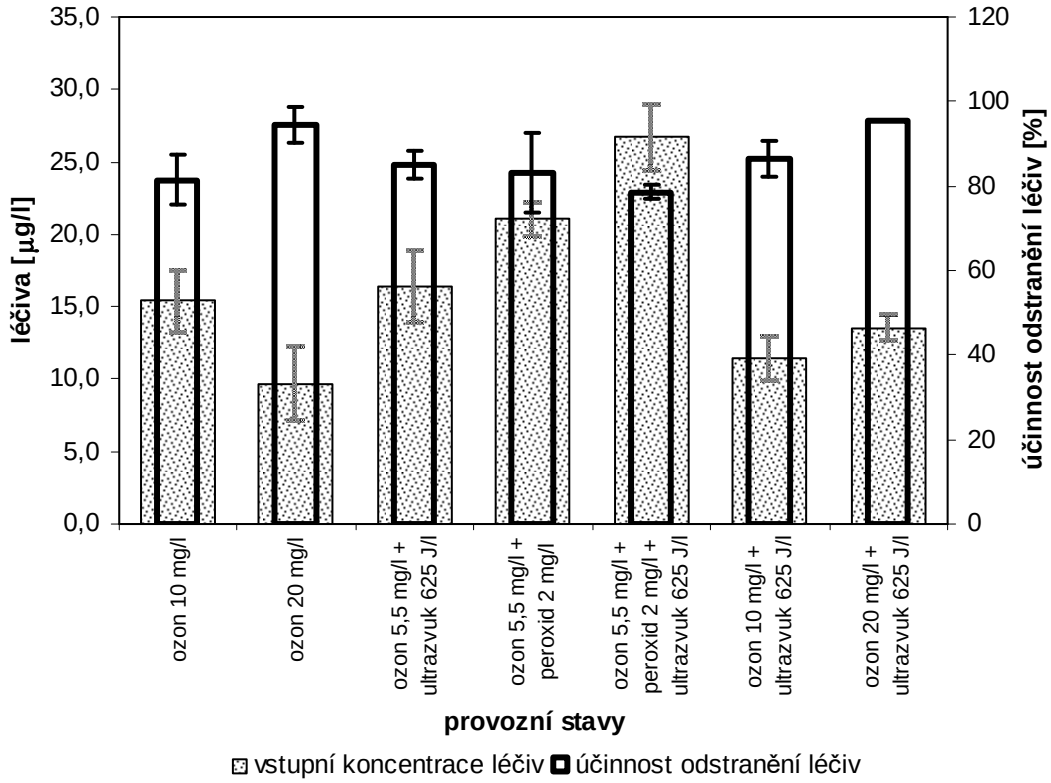
obr. 7 Účinnost odstranění a vstupní koncentrace sledovaných pesticidů na pilotní jednotce O_3/UZ

Průměrné účinnosti odstranění pesticidů a vstupní koncentrace v různých provozních stavech pro pilotní jednotku MFO/UV jsou na obr. 6 a pro pilotní jednotku O_3/UZ na obr. 7.
Samotné UV záření nezpůsobuje odstranění žádných pesticidů. Při dávkování peroxidu vodíku nebo kyseliny peroctové dochází k odstranění minimálního množství pesticidů, avšak účinnosti odstranění se pohybují na úrovni chyby stanovení daných látek.
U pesticidů se na pilotní jednotce O_3/UZ opět potvrdil přínos ultrazvuku a peroxidu vodíku. Přínos peroxidu vodíku v kombinaci s ozonem již není tak patrný jako pro odstraňování alkylfenolů. Vysokých průměrných účinností bylo dosaženo pouze při velkých dávkách ozonu (20 mg/l O_3) nebo při menší dávce v kombinaci s ultrazvukem (10 mg/l O_3 + 625 J/l). U vyšších dávek ozonu je pro dosažení vyšších účinností odstranění všech pesticidů limitující přítomnost atrazinu, terbuthylazinu a jejich metabolitů. Tyto látky se i při nejvyšších testovaných dávkách ozonu rozkládají především na metabolity a součet účinné látky a jejich metabolitů se snižuje jen omezeně.



obr. 8 Účinnost odstranění a vstupní koncentrace sledovaných léčiv na pilotní jednotce MFO/UV

Účinnosti odstranění léčiv a vstupní koncentrace v různých provozních stavech pro pilotní jednotku MFO/UV jsou na obr. 8 a pro pilotní jednotku O_3/UZ na obr. 9.
Samotné UV záření dle předpokladu neodstraňuje žádná léčiva. Přidáním peroxidu vodíku se v minimální míře rozkládá většina léčiv z se nichž nejvíce odstraňuje sulfamethoxazol (antibiotikum) a iomeprol (RTG kontrastní látka). Dávkováním kyseliny peroctové se pouze v minimální míře rozkládá většina léčiv.



obr. 9 Účinnost odstranění a vstupní koncentrace sledovaných léčiv na pilotní jednotce O_3/UZ

Na pilotní jednotce O_3/UZ jsou průměrné účinnosti odstranění léčiv stabilně vysoké díky tomu, že většina z nich je snadno oxidovatelných. Přínos ultrazvuku a/nebo peroxidu vodíku není vzhledem k dobré rozložitelnosti těchto látek ozonem výrazný. Při nejvyšších dávkách ozonu je detekovatelný pouze iomeprol a v minimálních koncentracích i kofein, ciprofloxacin a diklofenak.

Závěr

Výsledky testování za dobu svého trvání (cca 3 měsíce) ukázaly, že vybrané technologie jsou vhodné pro odstraňování mikrobiologického a/nebo chemického znečištění. Je-li žádoucí odstraňovat pouze mikrobiální znečištění, je výhodné využít samotné UV záření. Pro vyčištěné odpadní vody, kde v procesu čištění docházelo ke srážení fosforu solemi železa, je však třeba počítat s tvorbou úsad na povrchu UV trubic. Mimo mechanického stěrače UV trubic je tedy nutné do procesu zařadit chemické čištění. Je-li žádoucí odstraňovat chemické znečištění, volbou ozonizace v kombinaci s ultrazvukem a/nebo peroxidem vodíku lze dosáhnout velmi vysokých účinností odstranění znečištění. Pro odstraňování alkylfenolů je vhodnější kombinace s peroxidem vodíku, pro odstraňování pesticidů naopak kombinace s ultrazvukem a pro odstraňování léčiv je z hlediska účinností odstranění kombinace s ultrazvukem srovnatelná s peroxidem vodíku.
Při dostatečném dávkování UV záření, ozonu nebo dalších chemikálií není problém sledované znečištění účinně odstraňovat a díky moderním detekčním metodám s nízkými limity detekce sledovat. Největším problémem pro praxi je správný odběr vzorků, aby byla zajištěna jeho reprezentativnost. Z tohoto hlediska je nutné vyloučit nevhodné materiály vzorkovače ve styku s analyzovanou vodou, je nutné používat skleněné nádoby a dodržovat vhodné postupy při manipulaci se vzorky. Se vzorky pro analýzu mikrobiologických parametrů je nutno zacházet jako se vzorky pitné vody i přes to, že se jedná o „špinavou vodu“. Voda na odtoku z pilotních jednotek vykazuje v mnohých případech 0 KTJ/10 ml ve sledovaných mikrobiologických parametrech.

Poděkování

Projekt LIFE2Water (LIFE13 ENV/CZ/000475) je realizován z programu LIFE+ Evropské komise. Program LIFE+ je evropský finanční nástroj podporující projekty zaměřené na ochranu přírody a životního prostředí v Evropské unii. Program sdružuje zdroje a odborné zkušenosti, poskytuje platformu pro přípravu a výměnu osvědčených postupů a znalostí pro zlepšení ochrany přírody a stavu životního prostředí v prioritních oblastech daných Evropskou unií.

Příloha 2

POLOPROVOZNÍ JEDNOTKY PRO DOČIŠTĚNÍ KOMUNÁLNÍCH ODPADNÍCH VOD

Luboš STŘÍTESKÝ[1], Vladimír HABR[2], Robert HRICH[2], Radka PEŠOUTOVÁ[1]

Abstrakt: V příspěvku jsou představeny pilotní jednotky využívající sonolýzy ozonu a dále kombinaci mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku. Obě jednotky byly navrženy a zkonstruovány v rámci řešení projektu LIFE2Water.

Úvod

Znečištění povrchových vod představuje nejen ohrožení vodního prostředí účinky, jakými jsou bezprostřední a dlouhodobá toxicita pro vodní organizmy, akumulace v ekosystému, úbytek stanovišť a biologické rozmanitosti, ale i ohrožení lidského zdraví. Konveční metody čištění odpadních vod se zaměřují na odstranění organických látek, snížení koncentrací dusíku a fosforu na míru přijatelnou pro ekosystém daného toku. Zatížení toků mikrobiálním znečištěním a dalšími negativně působícími látkami jako například léčivy a jejich metabolity, produkty osobní péče, pesticidy a různými průmyslovými chemikáliemi zůstává vysoké, jelikož nedochází k žádným technologickým opatřením na jeho minimalizaci.
Impulsem pro realizaci projektu LIFE2Water jsou problémy spojené se stávajícími technologiemi čištění komunálních odpadních vod, které je nedostatečné pro odstranění zbytkových koncentrací celé řady chemických látek a mikrobiálního znečištění. Problém s vnosem zbytkových koncentrací tohoto znečištění do vodního prostředí lze řešit dodatečným zařazením dalšího čistícího stupně na čistírnách odpadních vod. Zde mají prostor nové metody a technologie.
V rámci řešení projektu LIFE2Water byly příjemci projektu AQUA PROCON s.r.o. a Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. vytipovány technologie, které mají potenciál k eliminaci sledovaného znečištění, ale běžně se na dočištění komunálních odpadních vod nepoužívají nebo se používají zřídka vzhledem k nevýhodám jejich provozu. Spojením těchto technologií do unikátních celků byla posílena účinnost odstranění sledovaného znečištění. Doposud byly v rámci řešení projektu navrženy a zkonstruovány pilotní jednotky využívající sonolýzy ozonu a kombinace mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku. Obě pilotní jednotky jsou představeny v tomto příspěvku.

Pilotní jednotka mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku

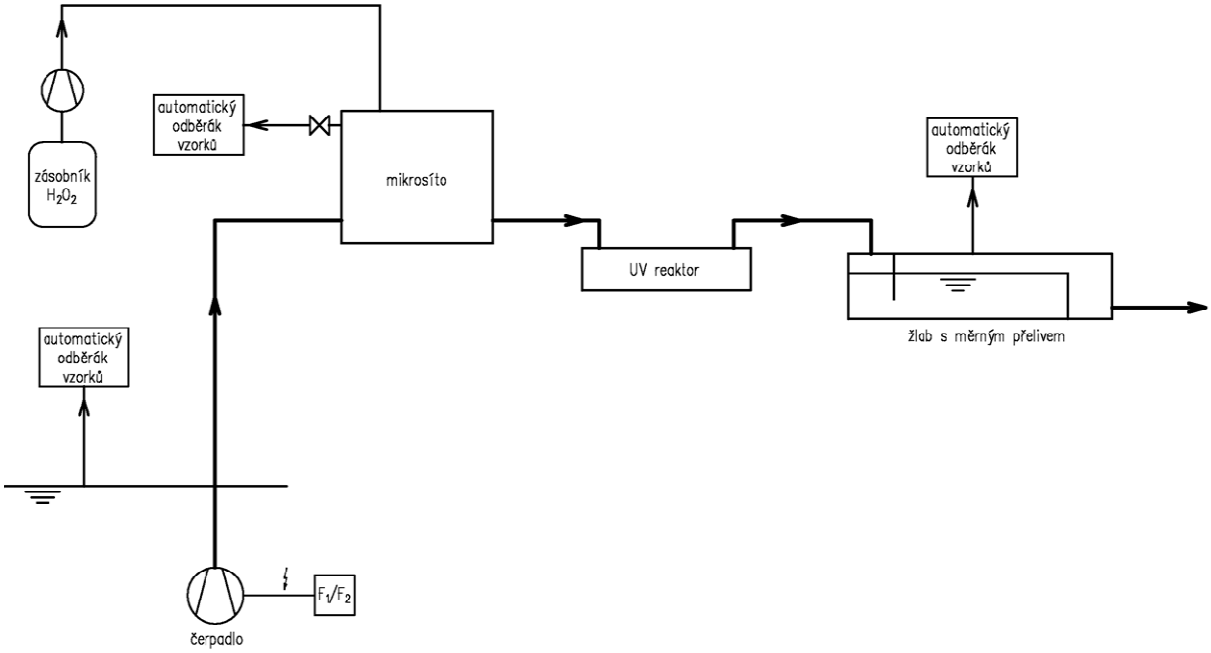
UV záření je běžně využíváno k odstranění mikrobiálního znečištění. Je však možné jej dále využívat k fotochemickému rozkladu organických polutantů přímou fotolýzou (přímá reakce UV záření s odstraňovanou látkou) a nepřímou fotolýzou (reakce UV záření s peroxidem vodíku, vznik hydroxylových radikálů a jejich následná reakce s látkami ve vodě). Při nepřímé fotolýze je možné odstraňovat těžce rozložitelné látky jako jsou léčiva, chlorované uhlovodíky a další. Fotolýza peroxidu vodíku přináší ve srovnání se samotným UV zářením vyšší efektivitu a zároveň i nižší spotřebu elektrické energie. Pro zvýšení účinnosti čištění a

[1] AQUA PROCON s.r.o., Palackého tř. 12, 612 00 Brno
[2] Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., Hybešova 254/16, 657 33 Brno

snížení energetické náročnosti je před samotný UV reaktor předřazen mikrosítový filtr na odstranění nerozpuštěných látek.
Návrhová kapacita pilotní jednotky je do 10 $l \cdot s^{-1}$ s provozním průtokem 2-5 $l \cdot s^{-1}$. Základními komponentami poloprovozní testovací jednotky jsou:

- čerpadlo biologicky vyčištěné odpadní vody;
- mikrosíto;
- dávkovací čerpadlo peroxidu vodíku;
- UV reaktor;
- měrný žlab;
- měření, řízení a elektroinstalace.

Schéma zapojení všech komponent jednotky je uvedeno na následujícím obrázku (obr. 1).



obr. 1 Technologické schéma pilotní jednotky mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku

Čerpadlo biologicky vyčištěné odpadní vody slouží k čerpaní vody ze zásobní jímky automatické tlakové stanice technologické vody. Čerpadlo je ponorné a je dimenzováno na maximální průtok 10 $l \cdot s^{-1}$. Pro zabránění poškození některých komponent pilotní jednotky je čerpadlo osazeno do sacího koše. Výtlak čerpadla je veden flexibilní hadicí do budovy s pilotní jednotkou, kde je napojen na pevné potrubí DN150, které je napojeno na vstupní přírubu mikrosíta. Čerpadlo je řízeno frekvenčním měničem umožňujícím nastavit požadovaný průtok odpadní vody.
Použitý mikrosítový bubnový filtr je sériovým výrobkem vhodným až do průtoku 10 l/s. V případě dodržení provozních podmínek zajistí mikrosíto odstranění nerozpuštěných látek na úroveň 5 - 8 mg/l. Mikrosíto je vybaveno ocelovou filtrační tkaninou s průlinami 63 µm. Toto napomůže snižování potřebné dávky UV záření k zajištění desinfekce vody a rozkladu peroxidu vodíku na hydroxylové radikály.
Dávkovací čerpadlo musí vzhledem k malé hydraulické době zdržení vody v systému splňovat dostatečně plynulý průtok. Z tohoto důvodu bylo pro dávkování peroxidu vodíku zvoleno peristaltické čerpadlo zajištující rovnoměrný přítok peroxidu vodíku do odpadní vody. Výtlak tohoto čerpadla je zapojen do šachtového přelivu uvnitř mikrosítového filtru, ze kterého odpadní voda přitéká do UV reaktoru.

obr. 2 Pilotní jednotka mikrosítové filtrace se zabudovaným UV reaktorem a dávkováním peroxidu vodíku

Jako zdroj UV záření je použit homologovaný zářič vhodný pro průtoky až do 10 $l \cdot s^{-1}$, při kterých se při UV transmisi 60 % dávka záření pohybuje kolem 220 $J \cdot m^{-2}$. Válcový UV reaktor je vyroben z nerezové oceli s deflektorem pro usměrnění proudění a je v něm osazeno 6 ks nízkotlakých UV zářičů. Chemické čištění zářičů z křemenného skla je umožněno pomocí dvou ½" pracích ventilů.
Poproudně posledním objektem je měrný žlab s trojúhelníkovým přelivem a ultrazvukovým hladinoměrem sloužící k měření průtoku pilotní jednotkou.
V pilotní jednotce jsou měřeny dvě veličiny. Z důvodu vyhodnocení ekonomiky provozu je monitorována spotřeba elektrické energie jednotlivých komponent pilotní jednotky. Druhou sledovanou veličinou je průtok čištěné odpadní vody a celkový objem vyčištěné vody. Dále jsou instalovány automatické odběráky vzorků na přítoku, na odtoku a za mikrosítem.

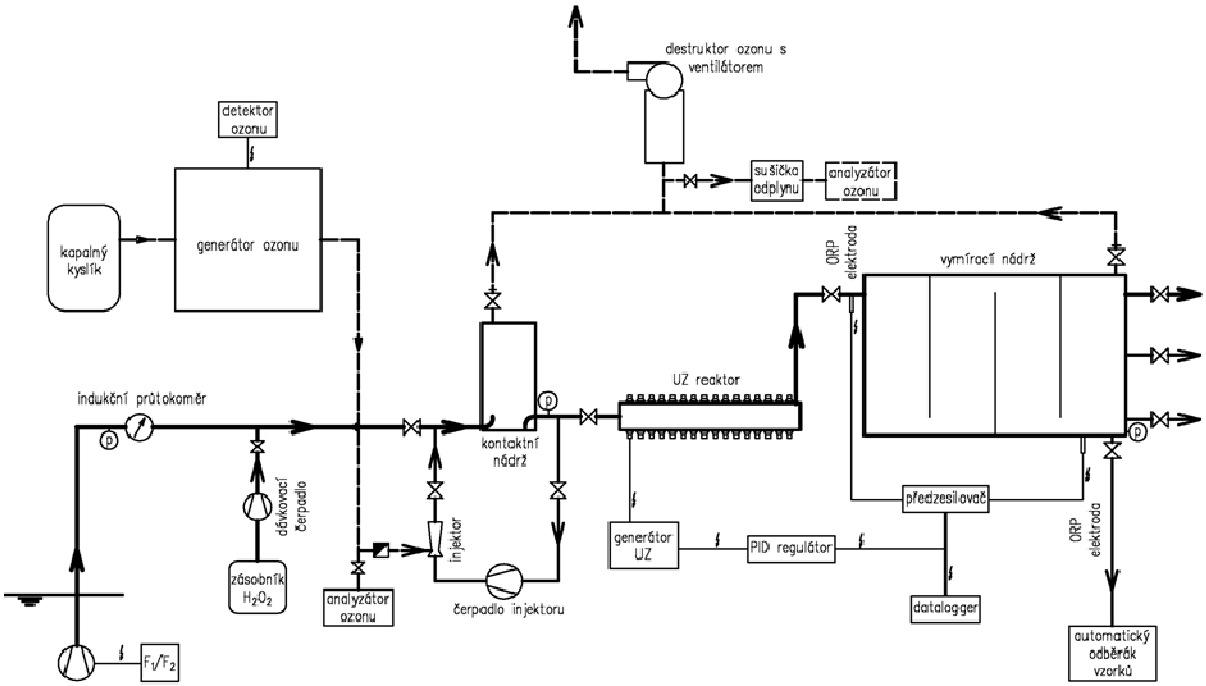
Pilotní jednotka sonolýzy ozonu

Sonolýzou ozonu se rozumí kombinace akustické kavitace (sonolýzy) s ozonizací. Při sonolýze dochází k odbourávání znečištění oxidací hydroxylovými radikály, pyrolýzou látek uvnitř kavitační bubliny, hydrodynamickou erozí a nadkritickou mokrou oxidací na povrchu kavitační bubliny. Sonolýzou ozonu se ve srovnání se samotnou ozonizací nebo se samotnou sonolýzou dosahuje rychlejšího rozkladu mnoha látek a umožňuje snížit dávky ozonu až na třetinu při zachování stejné efektivity čištění.
Základními komponenty pilotní jednotky sonolýzy ozonu jsou:

- čerpadlo biologicky vyčištěné odpadní vody.
- dávkovací čerpadlo H_2O_2;
- generátor ozonu;
- zdroj plynného kyslíku;
- systém vnosu plynu do vody;
- kontaktní nádrž;

- ultrazvukový reaktor s generátory ultrazvuku;
- vymírací nádrž;
- systém destrukce přebytečného ozonu;
- trubní rozvody; a
- měření, řízení a elektroinstalace.

Schéma zapojení všech komponent jednotky je uvedeno na následujícím obrázku (obr. 3).

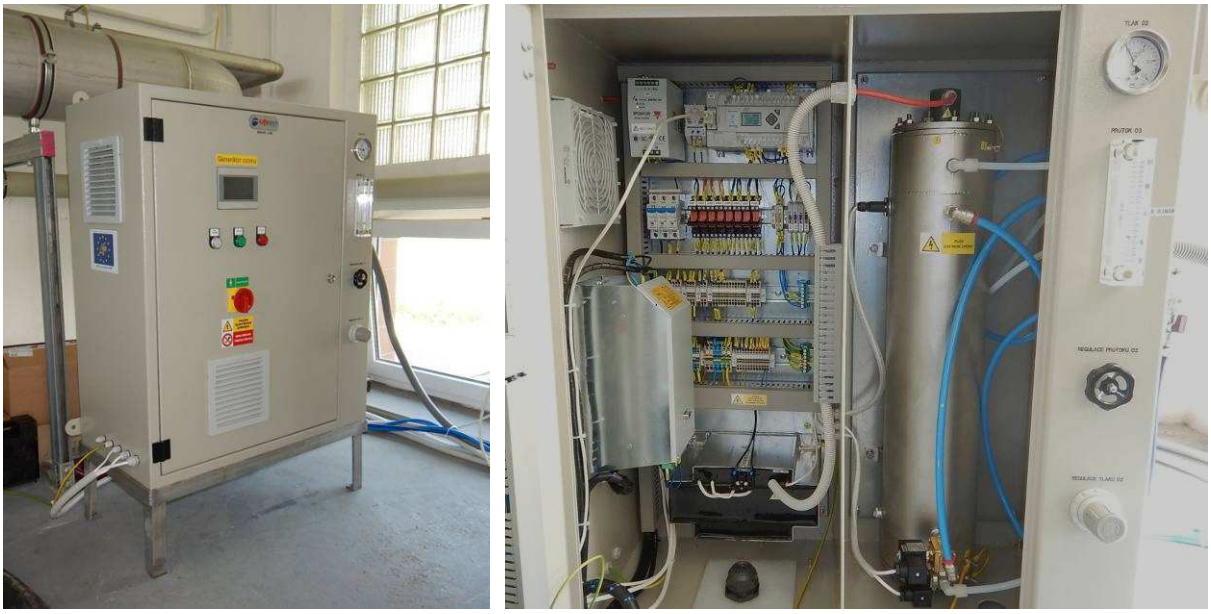


obr. 3 Technologické schéma pilotní jednotky sonolýzy ozonu

obr. 4 Pilotní jednotka sonolýzy ozonu (celkový pohled na pilotní jednotku vlevo, detail systému vnosu ozonu do vody vpravo)

Ponorné čerpadlo biologicky vyčištěné odpadní vody je osazeno v zásobní jímce automatické tlakové stanice technologické vody v koši společném s pilotní jednotkou mikrosítové filtrace. Čerpadlo je dimenzováno na maximální průtok nejméně 5 $l \cdot s^{-1}$ a je řízeno frekvenčním měničem. Jeho výtlak je pohyblivým potrubím veden přes indukční průtokoměr do kontaktní nádrže.

Jako dávkovací čerpadlo peroxidu vodíku bylo zvoleno peristaltické čerpadlo, ze stejných důvodů jako u první pilotní jednotky. Výtlak dávkovacího čerpadla peroxidu vodíku je zapojen před kontaktní nádrž.
K výrobě ozonu slouží generátor ozonu využívající čistého kyslíku. Zdrojem kyslíku je mobilní odpařovací stanice kyslíku tvořená nádobami o objemu 180 l současně sloužící jako odparník. Jmenovitý výkon generátoru je 100 g $O_3.h^{-1}$ a jeho chlazení je zajištěno průtokem vody. Generátor je dále vybaven detektorem ozonu v okolí, který odstaví generátor v případě překročení bezpečné koncentrace ozonu v okolí. Nezbytným doplňkem generátoru je katalytický destruktor ozonu sloužící k likvidaci nevyužitého ozonu (tzn. ozonu, který se nerozpustí ve vodě).



obr. 5 Generátor ozonu

Smísení vody s ozonem je realizováno ve vedlejším proudu vody, ve kterém je Venturiho injektor a čerpadlo zajišťující vhodné hydraulické podmínky v injektoru. Součástí systému pro vnos plynu do vody je i kontaktní nádrž, ve které za zvýšeného tlaku dochází k rozpouštění ozonu a k odvádění kyslíku s nerozpuštěným ozonem do destruktoru ozonu.

obr. 6 Ultrazvukový reaktor s generátory ultrazvuku

Další komponentou pilotní jednotky je ultrazvukový reaktor s generátory ultrazvuku s pracovní frekvencí 25 kHz. Výkon generátoru je možné řídit na místě nebo dálkově (dle hodnoty redox potenciálu pomocí PID regulátoru). Za ultrazvukovým reaktorem je umístěna

vymírací nádrž, kde dochází k reakci zbývajícího ozonu se znečištěním a tím ke snížení koncentrace ozonu na mez, kdy je možné vodu bezpečně vypouštět. Odtok z vymírací nádrže je ve třech výškových úrovních umožňující nastavení různé doby hydraulického zdržení.
V pilotní jednotce je měřeno několik veličin. Z důvodu vyhodnocení ekonomiky provozu je monitorována spotřeba elektrické energie jednotlivých komponent. Na přítoku a odtoku z vymírací nádrže je měřen redox potenciál. Obě hodnoty redox potenciálu jsou zaznamenávány počítačem. Dále je sledován průtok a celkový objem čištěné vody. Na přítoku a na odtoku z pilotní jednotky jsou instalovány automatické odběráky vzorků. Součástí pilotní jednotky je rovněž analyzátor koncentrace ozonu sloužící k přesnému stanovení množství vyráběného ozonu a ke stanovení množství nevyužitého ozonu (tzn. stanovení účinnosti přestupu ozonu do vody).

Poděkování

Projekt LIFE2Water (LIFE13 ENV/CZ/000475) je realizován z programu LIFE+ Evropské komise. Program LIFE+ je evropský finanční nástroj podporující projekty zaměřené na ochranu přírody a životního prostředí v Evropské unii. Program sdružuje zdroje a odborné zkušenosti, poskytuje platformu pro přípravu a výměnu osvědčených postupů a znalostí pro zlepšení stavu v prioritních oblastech daných Evropskou unií.

Příloha 3

LIFE2Water

LIFE2Water

Ověření a vyhodnocení technologií pro terciární dočištění komunálních odpadních vod

Ing. Vladimír HABR, Ph.D.
Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.

Obsah prezentace

- **Znečištění odpadních vod**
- **Základní informace o projektu LIFE2Water**
- **Pilotní jednotky**
- **Monitoring pilotních jednotek**
- **Vyhodnocení monitoringu pilotních jednotek**
- **Závěr**

Znečištění odpadních vod

- **Znečištění povrchových vod představuje ohrožení vodního prostředí → toxicita pro vodní organizmy, akumulace v ekosystému, úbytek biologické rozmanitosti, ohrožení lidského zdraví**
- **Významnými zdroji znečištění jsou čistírny odpadních vod – konvenční metody čištění zaměřeny na odstranění organických látek, snížení koncentrací dusíku a fosforu na míru přijatelnou pro ekosystém daného toku**
- **Omezená účinnost na odstranění léčiv, pesticidů, průmyslových látek a mikrobiálního znečištění → odstraňování je technicky možné – nutnost zařazovat terciární stupně čištění**

Cíle projektu LIFE2Water, hlavní aktivity

- **CÍLE PROJEKTU: Ověření a vyhodnocení perspektivních technologií pro terciární čištění komunálních odpadních vod s potenciálem pro významné zlepšení kvality odtoku**
- **HLAVNÍ AKTIVITY:**
  - ⇨ Návrh a konstrukce pilotních jednotek využívající sonolýzy ozonu, ultrafiltraci a kombinaci mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku
  - ⇨ Ověření účinnosti na odstranění sledovaného znečištění (mikrobiální znečištění, znečištění prioritními látkami – chemické látky, pesticidy a léčiva)
  - ⇨ Sledování, optimalizace a vyhodnocení odstranění sledovaného znečištění a vybraných provozních parametrů
  - ⇨ Propagace projektu a jeho výsledků, výměnu zkušeností a přenos dobré praxe

Příjemci projektu, doba trvání a rozpočet

- **PŘÍJEMCI PROJEKTU:**
  - ⇨ Koordinující příjemce: AQUA PROCON s.r.o.
  - ⇨ Přidružení příjemci: ALS Czech Republic, s.r.o. a Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.
- **Trvání projektu: 09/2014-12/2017**
- **Rozpočet projektu: 600,015 €**
- **Kofinancování Evropská komise (program LIFE)**
- **Místo realizace: ČOV Brno-Modřice**

Testovací lokalita ČOV Brno-Modřice

- **Čistění odpadních vod z města Brna a měst a obcí ze širokého okolí Brna**
- **Klasická mechanicko-biologická ČOV s anaerobní stabilizací kalu**
- **Kapacita ČOV: 630 tis. EO**
- **Pilotní jednotky umístěny v objektu 214 – slouží k přípravě technologické vody (zdroj biologicky vyčištěné odpadní vody)**

Pilotní jednotky (1/2)

- **Využití zkušeností projekční firmy a provozovatele vodárenské infrastruktury**
- **Technologie s potenciálem k eliminaci sledovaného znečištění, ale běžně nepoužívané na dočištění komunálních odpadních vod**
- **Spojením do unikátních celků byla posílena účinnost odstranění sledovaného znečištění**
- **Doposud byly v rámci řešení projektu navrženy a zkonstruovány 2 pilotní jednotky**
  - ⇨ Pilotní jednotka mikrosítové filtrace s UV zářením (MFO/UV)
  - ⇨ Pilotní jednotka sonolýzy ozonu (O_3/UZ)
- **Pilotní ultrafiltrační jednotka – návrh a realizace od 07/2015 do 03/2016**

Pilotní jednotky (2/2)

Pilotní jednotka MFO/UV

Pilotní jednotka O_3/UZ

Monitoring pilotních jednotek (1/4)

- **Monitoring každé z jednotek po dobu jednoho roku při různých provozních stavech**
- **Odstranění mikrobiálního znečištění (fekální koliformní bakterie, enterokoky a *Escherichia coli*)**
- **Odstranění sledovaných prioritních látek**
  - ⇨ Chemické látky (bisfenol A, nonylfenol a oktylfenol a jejich metabolity)
  - ⇨ Pesticidy (celkem 26 pesticidních látek a jejich metabolitů, mezi nimi atrazin a jeho metabolity, MCPA, MCPP, MCPB)
  - ⇨ Léčiva (celkem 23 látek, mezi nimi diclofenac, karbamazepin a naproxen)
- **Základní parametry na odtoku (CHSK, BSK_5, NL, $P_{celk.}$, $N_{celk.}$)**
- **Provozní aspekty (provozní náklady, nároky na obsluhu, nároky na údržbu)**

Monitoring pilotních jednotek (2/4)

- **Odběry vzorků**
  - ⇨ 24 hodinové slévané vzorky odebírané automatickými vzorkovači
  - ⇨ na vstupu do pilotní jednotky a na výstupu každé z pilotních jednotek
  - ⇨ nutno zamezit kontaminaci vzorků: používání sterilních skleněných nádob, připojení vzorkovačů teflonovým potrubím (velmi problematický je všudypřítomný bisfenol A).
- **Analýza vzorků**
  - ⇨ klasické laboratorní analýzy pro základní a mikrobiologické parametry
  - ⇨ chromatografické metody s hmotnostní detekcí (LC/MS/MS – pesticidní látky, steroidní hormony, léčiva; GC/MS/MS – alkylfenoly a bisfenol A)

Monitoring pilotních jednotek (3/4)

- **Vstupní koncentrace znečištění:**
  - ⇨ Základní parametry (mg/l):
    - BSK_5 2,27±0,67
    - $CHSK_{Cr}$ 22,7±3,9
    - NL 5,9±4,5
    - N_C 5,2±2,1
    - P_C 0,27±0,13
  - ⇨ Mikrobiologické znečištění (KTJ/10 ml):
    - E.coli 3460±1840
    - koliformní bakterie 7030±3340
    - enterokoky 400±320
  - ⇨ Chemické znečištění (µg/l):
    - alkylfenoly 0,55±0,23
    - pesticidy 1,17±0,46
    - léčiva 16,2±6,0

Monitoring pilotních jednotek (4/4)

- **Sledování a vyhodnocování vybraných provozních ukazatelů → průtok, spotřeba elektrické energie, spotřeba dalších chemikálií**
- **Provozní záznam (checklist) – vyplňován 2x denně**

Provozní záznam (pilotní jednotka mikrosita/UV)

datum: 11.5. čas: 14:14 kontroloval: BOUDRADEK

stav indukčního průtokoměru B1: aktuální průtok 5,03 l s⁻¹; celkový objem 4608 m³

stavy elektroměrů v rozvaděči E5: čerpadlo vstup 104,5 kWh; rozvaděč RMF 64,8 kWh; v. RMF, čerp. kalu 23 kWh; převaží — kWh; UV 40,15 kWh

Rozvaděč RMF:
Hlavní spínač sepnut ☒ ANO ☐ NE[1]
kontrolky poruchy (zablikcová světla) ☐ HLTAR KALU[1] ☐ PUMP 1 KALU[1] ☐ PUMP 2 KALU[1]
všechny přepínače musí být v poloze AUTO

Rozvaděč UV Wedeco:
Hlavní spínač sepnut ☒ ANO ☐ NE (pokusit se fázat, rozvaděč RMF!)
otočný přepínač v poloze ☐ Fase[1] ☐ 0[1] ☑ Normal
hodnota na displeji (první řádek) ..... W/m²

Rozvaděč RFM1:
Hlavní spínač sepnut ☒ ANO ☐ NE[1]
kontrolka chodi/poruchy ☒ zelená ☐ žlutá[1] ☐ ne[1]

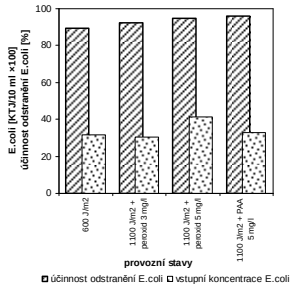
Dávkovací čerpadlo peroxidu vodíku
spínač na zadní straně v poloze „I" ☐ ANO ☐ NE (pokusit se fázat, AAV!)
čerpadlo běží ☐ ANO ☐ NE[1]
nastavení potenciometru číslo v okénku ..... nastavení ..... (mezi 0-10, nebo ne 0-100)

Kontrola těsnosti hydraulických spojů a nádrží: ☐ OK ☐ netěsní[1]

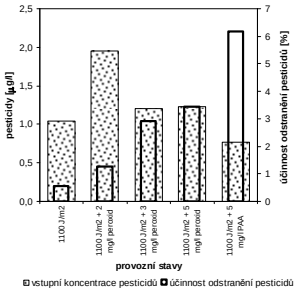
Vyhodnocení monitoringu MFO/UV

- **Různá intenzita UV záření (600 J/m², 1 100 J/m²), dávky peroxidu vodíku (3-5 mg/l) nebo kyseliny peroctové (5 mg/l)**
- **Velmi výhodné při použití na dezinfekci, nutno řešit možné zanášení UV reaktoru anorganickými usazeninami (nutnost zařazovat chemické hospodářství)**
- **Provozní náklady na dočištění UV zářením (pouze elektřina na provoz UV a mikrosíta) 0,06 Kč/m³ (dávka UV 600 J/m²)**
- **Dle předpokladu samotné UV neodstraňuje sledované chemické znečištění**
- **Minimální odstranění pesticidů a léčiv při současném dávkování peroxidu vodíku nebo kyseliny peroctové**

Vyhodnocení monitoringu MFO/UV: odstranění *Escherichia coli*



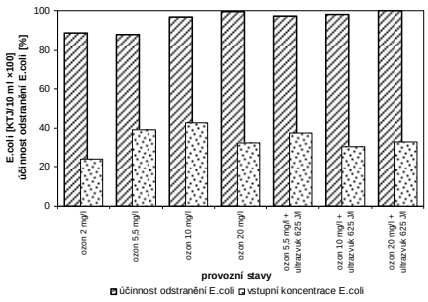
Vyhodnocení monitoringu MFO/UV: odstranění sledovaných pesticidů



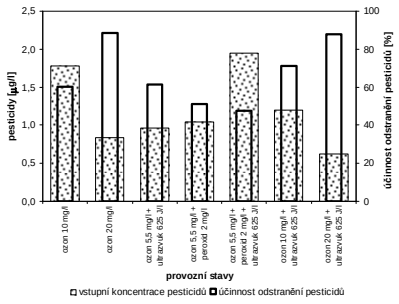
Vyhodnocení monitoringu O_3/UZ

- **Dávky ozonu (2-20 mg/l O_3), intenzita ultrazvuku (625 J/l), dávkování peroxidu vodíku (2 mg/l)**
- **Srovnatelné výsledky na dezinfekci jako u MFO/UV při dávkách ozonu 2 mg/l**
- **Provozní náklady samotné ozonizace vyšší: 0,31 Kč/m³ (započítána pouze spotřeba elektrické energie a kyslíku) → výhodné při současném odstraňování chemického znečištění**
- **Přínos dávkování ultrazvuku a peroxidu vodíku při odstraňování alkylfenolů a pesticidů (možno snížit dávky ozonu)**
- **Metabolity pesticidů (např. atrazin) se odstraňují při velmi vysokých dávkách ozonu (20 mg/l O_3)**
- **Léčiva – všeobecně se dosahuje vysokých účinností odstranění při použití samotného ozonu (snadná oxidovatelnost), zůstávají rentgenové kontrastní látky**

Vyhodnocení monitoringu O_3/UZ: odstranění *Escherichia coli*



Vyhodnocení monitoringu O_3/UZ: odstranění sledovaných pesticidů



Závěr

- **Při dostatečném dávkování UV záření, ozonu nebo dalších chemikálií jsou vybrané technologie jsou vhodné pro odstraňování mikrobiologického a/nebo chemického znečištění**
  - ⇨ UV velmi výhodné na použití na dezinfekci – nízké provozní náklady (spotřeba elektrické energie), nutno řešit možné zanášení UV reaktoru anorganickými usazeninami
  - ⇨ Současné odstraňování chemického znečištění – ozonizace a pro snížení dávek ozonu kombinace s ultrazvukem a/nebo peroxidem vodíku
- **Není problém udělat analýzy vzorků (i velmi nízké koncentrace látek jsou detekovatelné), klíčové je vzorky správně odebrat, aby byla zajištěna reprezentativnost vzorků**
  - ⇨ Použití materiálů vzorkovačů (zamezení kontaminace chemickými látkami) a čistota odběrných nádob (zamezení mikrobiální kontaminace)
  - ⇨ Správná manipulace se vzorkem (i když je to „špinavá" voda)

LIFE2Water

Příloha 4

Poloprovozní jednotky pro dočištění komunálních odpadních vod

Luboš STŘÍTESKÝ[1], Vladimír HABR[2], Robert HRICH[2], Radka PEŠOUTOVÁ[1]
[1]AQUA PROCON s.r.o., Palackého tř. 12, 612 00 Brno
[2]Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., Hybešova 254/16, 657 33 Brno

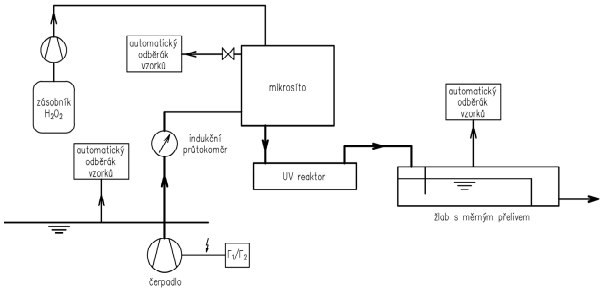
ÚVOD

Konvenční metody čištění odpadních vod jsou zaměřeny na snížení koncentrací organických látek, dusíku a fosforu na míru přijatelnou pro ekosystém daného toku. Zatížení toků mikrobiálním znečištěním a dalšími negativně působícími látkami (léčiva, pesticidy, průmyslové chemikálie, jejich metabolity a další) zůstává vysoké, jelikož nedochází k technologickým opatřením na jeho minimalizaci. V rámci projektu LIFE2Water je řešeno nedostatečné odstranění zbytkových koncentrací celé řady chemických látek a mikrobiálního znečištění v rámci třetího stupně čištění.

V rámci řešení projektu byly vytipovány technologie s potenciálem k odstranění sledovaného znečištění, ale běžně se na dočištění komunálních odpadních vod nepoužívají. Spojením těchto technologií do unikátních celků byla posílena účinnost odstranění sledovaného znečištění. Z celkem tří pilotních jednotek byly doposud navrženy a zkonstruovány pilotní jednotky využívající sonolýzy ozonu a kombinace mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku.

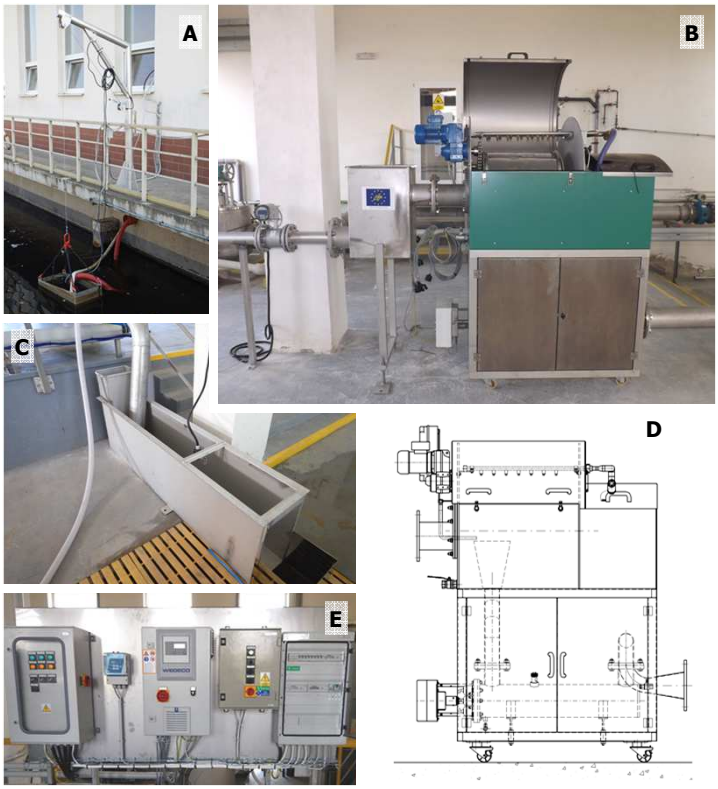
Pilotní jednotka mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním H_2O_2

Technologické schéma této pilotní jednotky je uvedeno na obrázku 1. Biologicky vyčištěná odpadní voda (provozní průtok 2 až 5 $l \cdot s^{-1}$) je čerpána ponorným čerpadlem umístěným v sacím koši v čerpací jímce provozní vody (viz obrázek 2A). Výtlak čerpadla je veden hadicí přes indukční průtokoměr a uklidňovací komoru do mikrosítového bubnového filtru (viz obrázek 2B, D).



Obrázek 1 Technologické schéma pilotní jednotky mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku

Mikrosítový filtr s nerezovou filtrační tkaninou s průlinami o velikosti 63 µm je sériovým výrobkem o kapacitě 10 $l \cdot s^{-1}$. K dávkování H_2O_2 před UV reaktor je použito peristaltické čerpadlo zajišťující rovnoměrný přítok peroxidu vodíku do odpadní vody. Zdrojem UV záření je sériově vyráběný zářič s dávkou UV cca 220 $J \cdot m^{-2}$ (při 10 $l \cdot s^{-1}$ a UV transmisi 60%). Čištění zářičů z křemenného skla je realizováno pomocí automatického mechanického stěrače a dále chemicky pomocí recirkulačního pracího čerpadla. Poproudně posledním objektem je měrný žlab s trojúhelníkovým přelivem (obrázek 2C) a ultrazvukovým hladinoměrem sloužící současně jako místo odběru vzorků na výstupu.



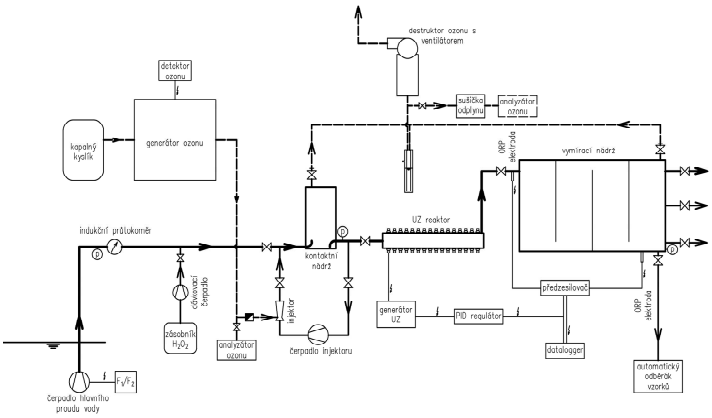
Obrázek 2 Pilotní jednotka mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním H_2O_2: A) sací koš s čerpadly obou pilotních jednotek; B) mikrosítový filtr s UV reaktorem; C) měrný žlab; D) mikrosítový filtr s UV reaktorem – řez; E) rozvaděče pilotní jednotky

PODĚKOVÁNÍ

Projekt LIFE2Water (LIFE13 ENV/CZ/000475) je realizován z programu LIFE+ Evropské komise. Program LIFE+ je evropský finanční nástroj podporující projekty zaměřené na ochranu přírody a životního prostředí v Evropské unii. Program sdružuje zdroje a odborné zkušenosti, poskytuje platformu pro přípravu a výměnu osvědčených postupů a znalostí pro zlepšení stavu v prioritních oblastech daných Evropskou unií.

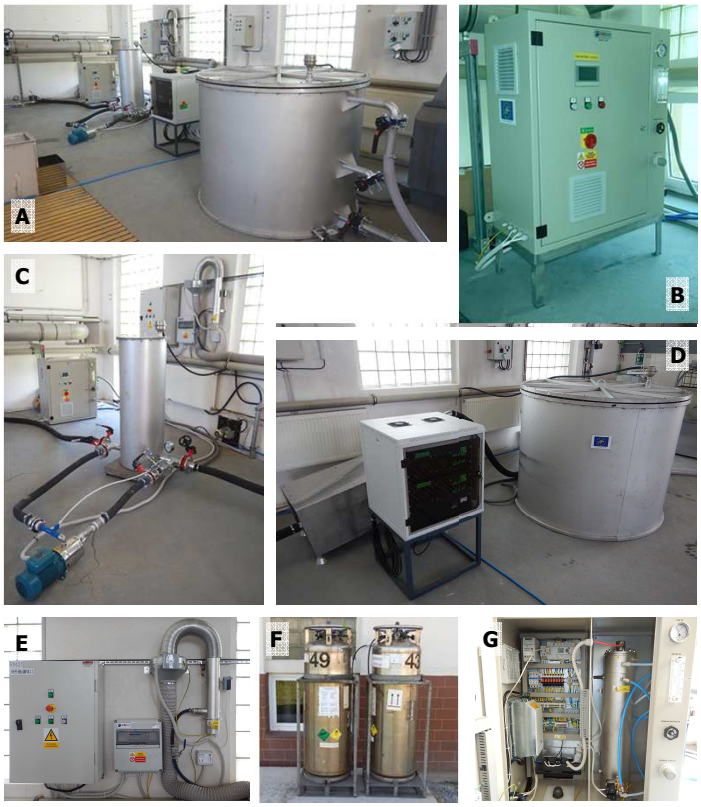
Pilotní jednotka sonolýzy ozonu

Technologické schéma pilotní jednotky sonolýzy ozonu je uvedeno na obrázku 3. Provozní průtok pilotní jednotkou je uvažován 1 až 5 $l \cdot s^{-1}$. Ponorné čerpadlo biologicky vyčištěné odpadní vody je osazeno v sacím koši společném s pilotní jednotkou mikrosítové filtrace (viz obrázek 2A). Jeho výtlak je pohyblivým výtlakem veden přes indukční průtokoměr do kontaktní nádrže. Za indukčním průtokoměrem je peristaltické dávkovací čerpadlo peroxidu vodíku. K výrobě ozonu slouží generátor ozonu (viz obrázek 4B, G) o výkonu 100 g $O_3 \cdot h^{-1}$, ozon je do vody vnášen Venturiho injektorem a rozpouštěn v kontaktní nádrži (viz obrázek 4C).



Obrázek 3 Technologické schéma pilotní jednotky sonolýzy ozonu

Zdrojem kyslíku je mobilní odpařovací stanice tvořená dvojicí nádob o užitném objemu 180 l (viz obrázek 4F). Nerozpuštěný ozon je odplyňovacími ventily odváděn z obou nádrží do destruktoru ozonu (viz obrázek 4E). Další komponentou je ultrazvukový reaktor s generátorem s pracovní frekvencí 25 kHz a výkonem 2,5 kW (viz obrázek 4D). Za ultrazvukovým reaktorem je umístěna vymírací nádrž, kde dochází k reakci zbývajícího ozonu se znečištěním.



Obrázek 4 Pilotní jednotka sonolýzy ozonu: A) celá pilotní jednotka; B) generátor ozonu; C) systém vnosu ozonu (v pozadí destruktor a generátor ozonu a rozvaděče); D) vlevo generátor ultrazvuku a ultrazvukový reaktor, vpravo vymírací nádrž; E) destruktor ozonu, ventilátor odplynu a rozvaděče; F) mobilní odpařovací stanice; G) pohled do generátoru ozonu.