LIFE2Water

Ověření a vyhodnocení technologií pro terciární dočištění komunálních odpadních vod

ZÁPIS Z KONFERENCE MĚSTSKÉ VODY 2017

SOUČÁST VÝSTUPU D6d1 PROJEKTU LIFE2WATER

PART OF DELIVERABLE D6D1 OF LIFE2WATER PROJECT

ŘÍJEN 2017

www.life2water.cz

AQUA PROCON

Brněnské vodárny a kanalizace a.s.

ALS

1. INFORMACE O KONFERENCI

Ve dnech 5. a 6. října 2016 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) hospodaření s dešťovými vodami, (3) stokové sítě, objekty a materiály, (4) čištění odpadních vod, čerpací stanice, (5) pitná voda, nové technologie, (6) hospodaření s dešťovými vodami, výzkum a vývoj.

2. PŘÍSPĚVEK NA KONFERENCI

Na konferenci byl prezentován příspěvek a ve sborníku konference byl otištěn příspěvek LIFE2Water – 3 roky zkušeností s terciárními technologiemi.

Příspěvky ve sborníku konference:

HABR, V., STŘÍTESKÝ, L., PEŠOUTOVÁ, R., HALEŠOVÁ, T., HRICH, R., J. ŠEBEK LIFE2Water – 3 roky zkušeností s terciárními technologiemi. In *Městské vody 2017.* 1. Brno: ARDEC, s.r.o., 2017. s. 107-114. ISBN: 978-80-86020-85-3.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: LIFE2Water – 3 roky zkušeností s terciárními technologiemi

Příloha č.2: Prezentace na konferenci

LIFE2WATER – 3 ROKY ZKUŠENOSTÍ S TERCIÁRNÍMI TECHNOLOGIEMI

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

Abstrakt: V příspěvku jsou představeny výsledky ověření pilotních jednotek využívající sonolýzy ozonu, kombinace mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku a ultrafiltrační jednotky s adsorpcí na aktivní uhlí k dočištění komunálních odpadních vod realizovaného v rámci projektu LIFE2Water na ČOV Brno-Modřice. Během testování byla sledována účinnost odstranění znečištění (základní a mikrobiální parametry a koncentrace vybraných chemických látek) a vybrané provozní parametry. 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 (celkem 26 pesticidních látek a jejich metabolitů), vybrané průmyslové látky (bisfenol A, nonylfenol a oktylfenol a jejich metabolity), vybraná léčiva (celkem sledováno 23 látek) 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 byla 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 byl 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 je představeno vyhodnocení provozu pilotní jednotky sonolýzy ozonu, pilotní jednotky mikrosítové filtrace v kombinaci s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku a pilotní ultrafiltrační jednotky s adsorpcí na aktivní uhlí.

---

[1] Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., Pisárecká 555/1a, Brno-Pisárky
[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

Pilotní jednotky

První pilotní jednotka mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku (MFO/UV) využívá ultrafialové zářením k fotochemickému rozkladu organických polutantů a inaktivaci mikroorganismů. Účinnost UV záření byla podpořena přídavkem peroxidu vodíku, případně kyseliny peroctové (PAA) a předřazenou mikrosítovou filtrací.
Pilotní jednotka sonolýzy ozonu (O_3/UZ) využívá sonolýzy ozonu, která kombinuje ozonizaci s akustickou kavitací (sonolýzou). Při sonolýze ozonu dochází působením ultrazvuku ke zrychlenému rozkladu ozonu na hydroxylové radikály a ve srovnání se samotnou ozonizací nebo se samotnou sonolýzou se dosahuje rychlejšího rozkladu mnoha znečišťujících látek. Dodatečně bylo umožněno dávkování peroxidu vodíku za účelem srovnání kombinace peroxidu vodíku a ozonu se sonolýzou ozonu.
Pilotní ultrafiltrační jednotka (UF/PAC) využívá adsorpce zejména chemického znečištění na práškové aktivní uhlí s jeho následnou separací na ultrafiltrační membráně. Separací na membráně tedy dochází k odstranění chemického znečištění nasorbovaného na aktivním uhlí a k odstranění veškerých nerozpuštěných látek a mikrobiologického znečištění.
Pilotní jednotky byly umístěny na ČOV Brno-Modřice a po dobu jednoho roku provozovány. Průtoky zpracované pilotními jednotkami odpovídají v závislosti na konkrétním provozním stavu průtokům na ČOV velikosti od 400 do 3000 EO.

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 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 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 $\mu g \cdot l^{-1}$) nezbytných k posouzení míry odstranění sledovaných látek.

Odstranění sledovaného znečištění

Každá z pilotních jednotek byla testována v provozních podmínkách po dobu jednoho roku. Během testování je několikrát otestováno několik provozních stavů (změny průtoku vody pilotní jednotkou, dávky UV záření, ozonu a dalších chemikálií) s cílem ověřit účinnosti odstranění vybraného znečištění a nároky na provoz a obsluhu za různých provozních podmínek. Všechny provozované stavy jsou patrné z tab. 2, tab. 3 a tab. 4. Účinnosti

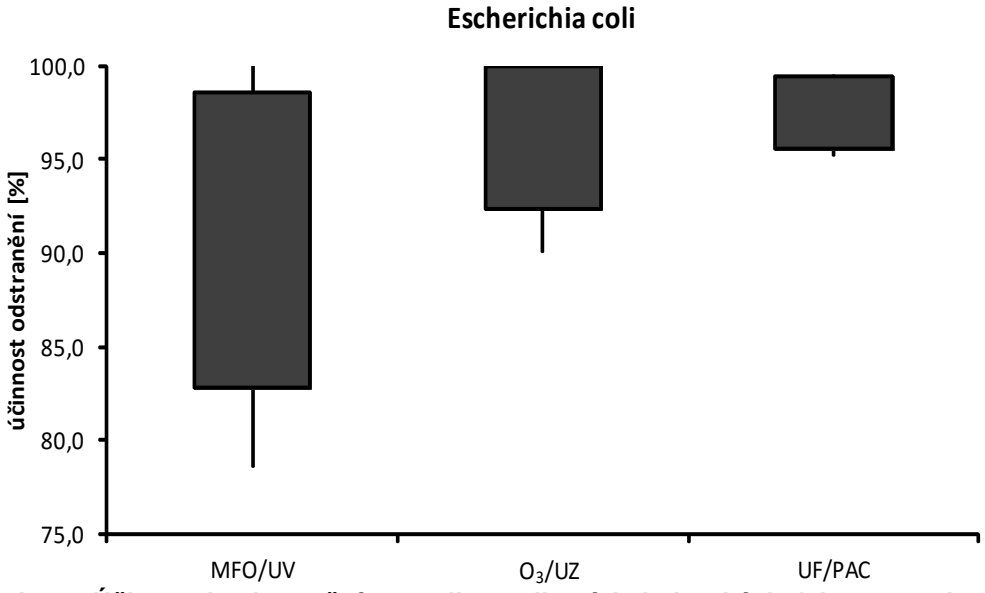
odstranění jsou pro jednotlivé provozní stavy v grafech uváděny jako průměry a jsou doplněny chybovými úsečkami reprezentující směrodatnou odchylku.
V případě dosažení limitů detekce jsou účinnosti odstranění chemického znečištění vypočítány za předpokladu, že koncentrace na odtoku jsou rovny limitům detekce. Zde uváděné účinnosti odstranění chemického znečištění jsou proto vždy menší než 100 %. Nejvýznamněji se toto projevuje tam, kde jsou koncentrace na vstupu jen málo odlišné od limitů detekce. Pro průměrné vstupní koncentrace a dané limity detekce jsou maximální vykazované účinnosti odstranění cca 75 % pro nonyl- a oktylfenoly a jejich metabolity, cca 88 % pro atrazin a jeho metabolity, cca 92 % pro sumu pesticidů, cca 90 % pro sumu pesticidy včetně sledovaných metabolitů a více jak 97 % pro ostatní sledované znečištění. To však nevylučuje, že k dalšímu odstranění látek nedochází.

Odstranění základních parametrů

Odstranění základních parametrů na jednotce MFO/UV bylo následující: do 30 % P_C, 10 až 50 % NL, do 20 % $CHSK_{Cr}$; BSK_5 a N_C bez významných změn mimo dávkování PAA, která zvyšuje BSK_5 odtoku o cca 5 $mg \cdot l^{-1}$. Odstranění základních parametrů na jednotce O_3/UZ bylo následující: 10 až 60 % NL, 15 až 45 % $CHSK_{Cr}$, -10 až -90 % BSK_5; P_C a N_C bez významných změn. Odstranění základních parametrů na jednotce UF/PAC bylo následující: 100 % NL, 42 až 68 % $CHSK_{Cr}$, 33 až 67 % BSK_5; 49 až 76 % a N_C bez významných změn.

Účinnost odstranění mikrobiálního znečištění

Účinnosti odstranění sledovaných mikrobiologických parametrů se u pilotní jednotky MFO/UV pohybovaly mezi 64 % a 100 %. Nejvyšších účinností odstranění mikrobiologického znečištění bylo dosaženo při použití samotného UV záření, kdy se účinnosti odstranění sledovaných ukazatelů pohybovaly mezi 87 % a 92 %. Nulových koncentrací mikrobiologických ukazatelů bylo dosaženo pouze v několika vzorcích s velkou dávkou UV (3300 $J \cdot m^{-2}$) a dále ve všech vzorcích s dávkováním kyseliny peroctové (1100 $J \cdot m^{-2}$ UV a 5 $mg \cdot l^{-1}$ PAA). Při dávkování peroxidu vodíku docházelo oproti všem předpokladům ke snižování účinnosti odstraňování mikrobiologického znečištění, a to pravděpodobně vlivem pohlcování UV záření molekulami peroxidu vodíku. Dodatečně bylo testováno i dávkování peroxidu vodíku za UV reaktor, čímž nebylo dosaženo zlepšení ve srovnání se samotným UV. V tomto případě je v odtoku přítomný nežádoucí peroxid vodíku.

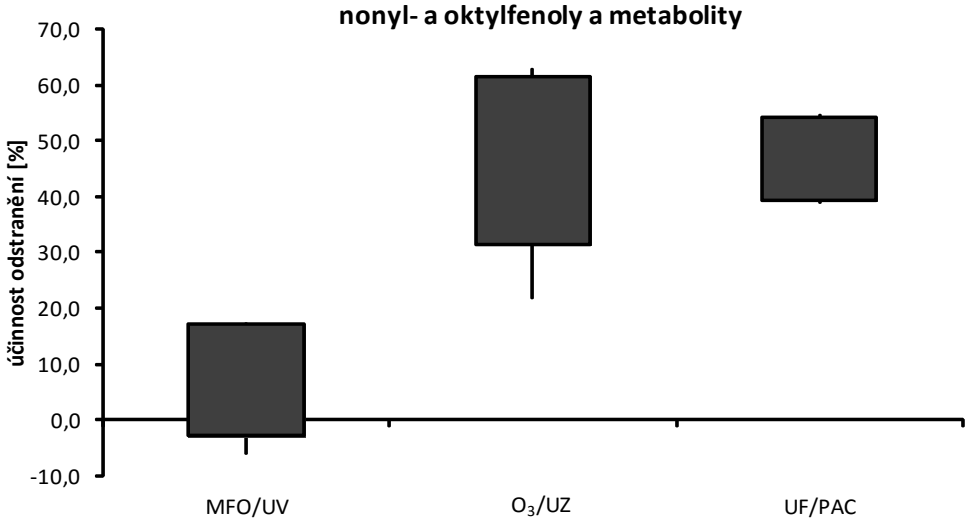


obr. 1 Účinnosti odstranění *E. coli* na pilotních jednotkách (sloupec = kvantil 5 % až 95 %, úsečka = minimum až maximum)

U pilotní jednotky sonolýzy ozonu byly účinnosti odstranění mikrobiologického znečištění blízké 100 %. Nulových koncentrací mikrobiologických ukazatelů bylo dosaženo při vysoké dávce ozonu (50 $mg \cdot l^{-1}$ O_3) a při sonolýze nižší dávky ozonu (20 $mg \cdot l^{-1}$ O_3 + 800 $J \cdot l^{-1}$ UZ). U pilotní jednotky UF/PAC bylo dosaženo nulových hodnot ve všech provozních stavech.

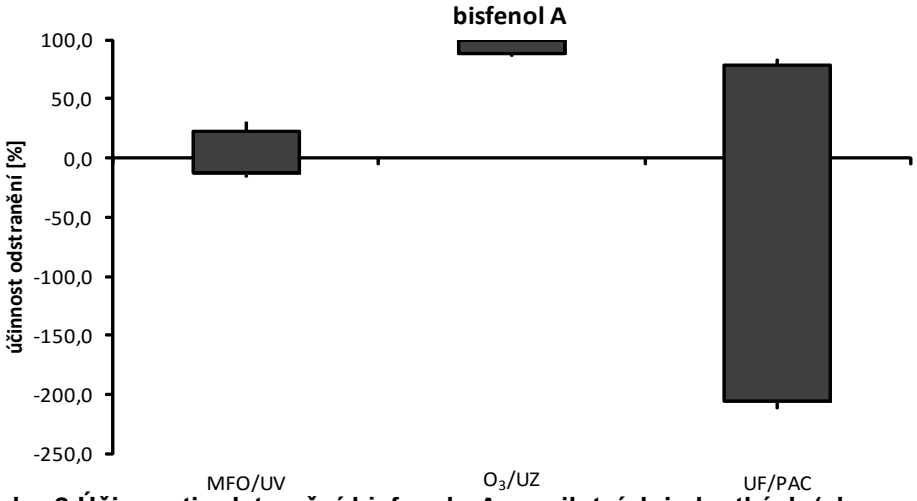
Odstranění znečištění průmyslovými chemikáliemi, pesticidy a léčivy

Rozdílná situace nastává při odstraňování znečištění sledovanými chemickými látkami - průmyslovými chemikáliemi, pesticidy a léčivy. Dosažené účinnosti odstranění průmyslových chemikálií a pesticidů pilotní jednotkou MFO/UV byly minimální, jednotlivá léčiva byla v závislosti na provozním stavu odstraňována maximálně do 50 %.



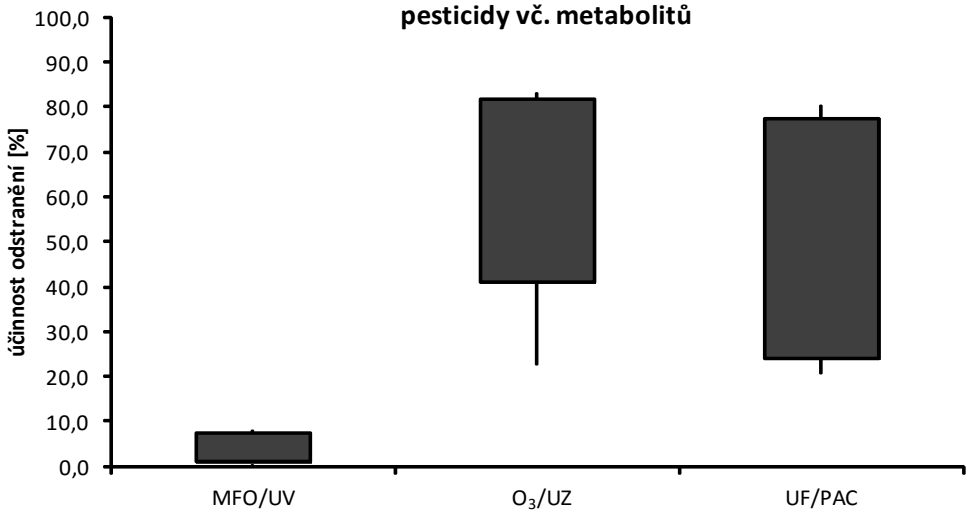
obr. 2 Účinnosti odstranění nonyl- a oktyl-fenolů a jejich metabolitů na pilotních jednotkách (sloupec = kvantil 5 % až 95 %, úsečka = minimum až maximum)

Rozsahy účinností odstranění nonylfenolů a oktylfenolů a jejich metabolitů (obr. 2) byly poměrně malé a účinnosti odstranění byly rovněž nízké. U pilotní jednotky MFO/UV byly účinnosti odstranění pod chybou stanovení, tj. k jejich odstraňování nedocházelo. U zbylých pilotních jednotek byly účinnosti odstranění průměrně cca 50 %. Kvantily účinností odstranění jsou $Q_{0,05}$ = 32,2 % a $Q_{0,95}$ = 61,4 % pro pilotní jednotku O_3/UZ; a $Q_{0,05}$ = 39,3 % a $Q_{0,95}$ = 54,1 % pro pilotní jednotku UF/PAC.

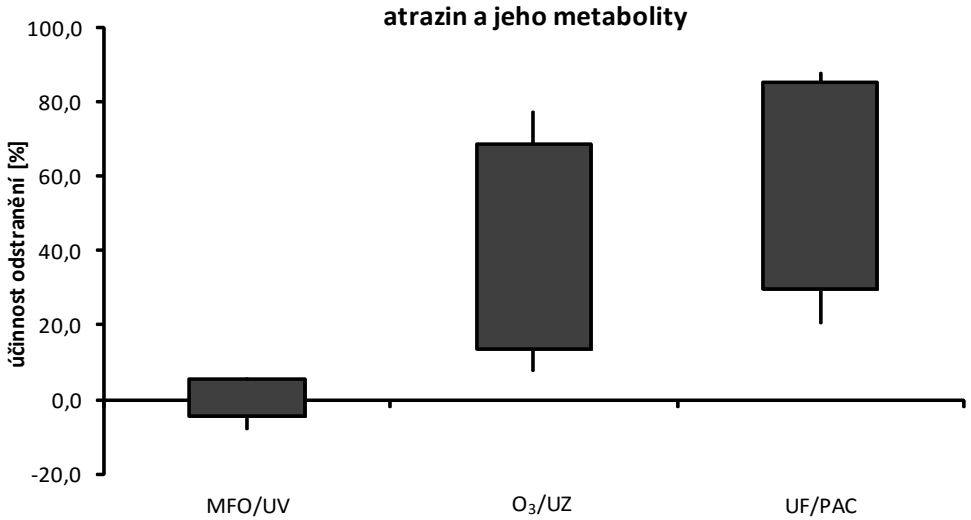


obr. 3 Účinnosti odstranění bisfenolu A na pilotních jednotkách (sloupec = kvantil 5 % až 95 %, úsečka = minimum až maximum)

V případě bisfenolu A (obr. 3) jsou výsledky z každé pilotní jednotky diametrálně odlišné od těch zbývajících. V případě pilotní jednotky MFO/UV byly změny v koncentraci bisfenolu A na výstupu z jednotky menší než je nejistota stanovení. U pilotní jednotky O_3/UZ byly účinnosti odstranění bisfenolu A velmi vysoké, kvantily jsou $Q_{0,05}$ = 88,5 % a $Q_{0,95}$ = 99,1 %. Rozsah účinností odstranění bisfenolu A je pro poslední pilotní jednotku UF/PAC velmi velký ($Q_{0,05}$ = -206 % a $Q_{0,95}$ = 78 %), protože ve výsledcích jsou dva z hlediska bisfenolu A odlišné stavy: 1) stavy, kdy byly na přítoku nízké koncentrace bisfenolu A a současně vysoké koncentrace na odtoku díky kontaminaci membránou; 2) stavy, kdy na odtoku byly nízké koncentrace (tj. po výměně membrány) a na přítoku byly v zimním období koncentrace bisfenolu A zvýšené.
Pesticidy včetně metabolitů (viz obr. 4) nebyly u pilotní jednotky MFO/UV odstraněny na úroveň vyšší než je nejistota stanovení. Účinné látky pesticidů a jejich metabolitů byly pilotními jednotkami O_3/UZ i UF/PAC odstraněny v podobně velké míře, u pilotní jednotky UF/PAC byly účinnosti odstranění nepatrně menší, avšak méně kolísaly. Kvantily účinností odstranění u pilotní jednotky O_3/UZ jsou $Q_{0,05}$ = 41,1 % a $Q_{0,95}$ = 82,0 %. Pro pilotní jednotku UF/PAC jsou $Q_{0,05}$ = 24,2 % a $Q_{0,95}$ = 77,4 %.



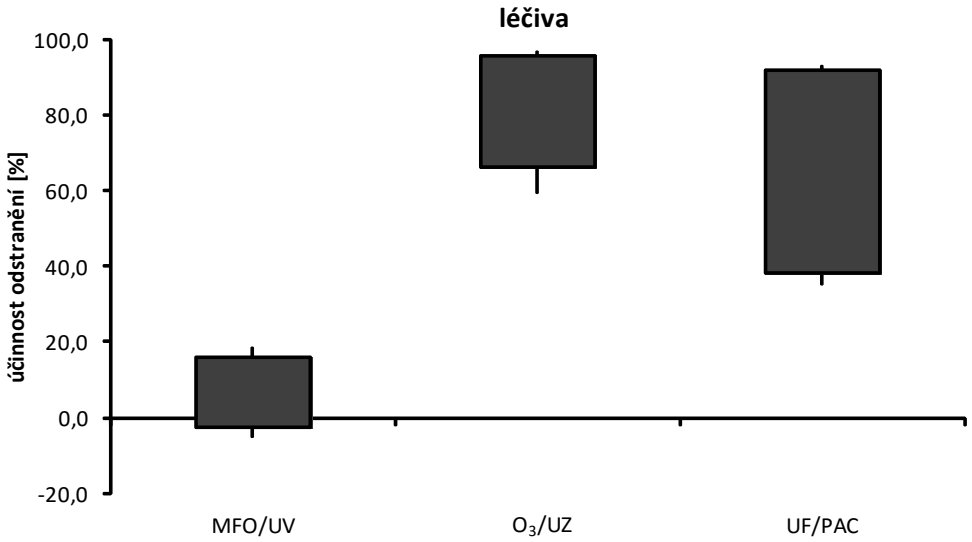
obr. 4 Účinnosti odstranění sledovaných pesticidů a jeho metabolitů na pilotních jednotkách (sloupec = kvantil 5 % až 95 %, úsečka = minimum až maximum)



obr. 5 Účinnosti odstranění atrazinu a jeho metabolitů na pilotních jednotkách (sloupec = kvantil 5 % až 95 %, úsečka = minimum až maximum)

Atrazin ani jeho metabolity nebyly jednotkou MFO/UV ve větší míře odstraňovány (viz obr. 5). U ostatních jednotek jsou rozsahy účinností odstranění velké díky odolnosti těchto

látek k oxidaci a špatné sorbovatelnosti. Kvantily účinností odstranění jsou $Q_{0,05}$ = 13,4 % a $Q_{0,95}$ = 68,4 % pro pilotní jednotku O_3/UZ; a $Q_{0,05}$ = 29,6 % a $Q_{0,95}$ = 85,2 % pro pilotní jednotku UF/PAC.
Suma sledovaných léčiv (viz obr. 6) na odtoku z pilotní jednotky MFO/UV se nijak výrazně nemění, dochází pouze k odstraňování většího množství diklofenaku a iomeprolu a ve velmi malém množství dochází i k odstraňování většiny ostatních sledovaných léčiv. Kvantily účinností odstranění sumy léčiv jsou pro pilotní jednotku MFO/UV $Q_{0,05}$ = -2,5 % a $Q_{0,95}$ = 16,1 %. Účinnosti odstranění léčiv pilotní jednotkou O_3/UZ jsou vysoké, rozsah účinností odstranění je poměrně malý a jako špatně odstranitelné i při vysokých dávkách ozonu lze označit rentgenové kontrastní látky. Kvantily účinností odstranění sumy léčiv jsou pro pilotní jednotku O_3/UZ $Q_{0,05}$ = 66,5 % a $Q_{0,95}$ = 95,6 %. Pilotní jednotka UF/PAC dosahuje horších účinností odstranění a vyššího rozsahu účinností odstranění ve srovnání s pilotní jednotkou O_3/UZ. Kvantily účinností odstranění sumy léčiv jsou pro pilotní jednotku O_3/UZ $Q_{0,05}$ = 38,2 % a $Q_{0,95}$ = 91,7 %. Pro pilotní jednotku UF/PAC jsou rovněž špatně odstranitelné rentgenové kontrastní látky, ale navíc i např. furosemid, diklofenak, tramadol nebo sulfametoxazol.



obr. 6 Účinnosti odstranění sledovaných léčiv na pilotních jednotkách (sloupec = kvantil 5 % až 95 %, úsečka = minimum až maximum)

Ekotoxicita a AOX

V rámci testování pilotní jednotky sonolýzy ozonu bylo dodatečně odebráno několik vzorků pro stanovení AOX a dále pro stanovení ekotoxicity vyčištěné vody. Testy ekotoxicity byly provedeny na perloočkách (*Daphnia magna*), luminiscenčních bakteriích (*Vibrio fischeri*), zelené mikrořase (*Scenedesmus subspicatus*) a na vyšší rostlině (*Sinapis alba*).
Luminiscenční bakterie *Vibrio fischeri* jsou z vybraných organismů nejcitlivější na produkty oxidace ozonem. Nárůst inhibicí na odtoku z pilotní jednotky sonolýzy ozonu je výrazný a mimo provozního stavu „1 $l \cdot s^{-1}$ + 20 $mg \cdot l^{-1}$ O_3“ vzrůstá se vzrůstající dávkou ozonu od 10 % do 52 %. Nárůst ekotoxicity odtoku z ultrafiltrační pilotní jednotky vůči *Vibrio fischeri* je přibližně stejný bez ohledu na dávku PAC a pohybuje se kolem -5 %.
Dále bylo sledováno odstraňování AOX. U pilotní jednotky mikrosítové filtrace s UV zářením byly účinnosti odstranění AOX na úrovni chyby stanovení. Lze tedy předpokládat, že na této pilotní jednotce nedochází k odstraňování AOX. Účinnosti odstranění AOX u pilotní jednotky sonolýzy ozonu se pohybují v průměru od 23 % do 44 % pro dávky ozonu od 2 $mg \cdot l^{-1}$ O_3 do 50 $mg \cdot l^{-1}$ O_3. Pro ultrafiltrační pilotní jednotku je to od 14 % do 40 % pro dávky od 10 $mg \cdot l^{-1}$ PAC do 100 $mg \cdot l^{-1}$ PAC.
U obou pilotních jednotek účinnosti odstranění AOX korespondují s účinnostmi odstranění sumy sledovaných kontrastních látek (iohexol, iomeprol, iopamidol a iopromid). Účinnosti

odstranění AOX lze tedy pro ostatní provozní stavy, kde nebylo odstranění sledováno odhadnout na základě účinnosti odstranění kontrastních látek.

Provozní a celkové náklady na dočištění odpadních vod

V tabulkách 2, 3 a 4 jsou uvedeny provozní a celkové náklady na dočištění odpadních vod pomocí MFO/UV, O_3/UZ a UF/PAC na provozovaných pilotních jednotkách. V provozních nákladech jsou zahrnuty náklady na elektrickou energii, kyslík, PAC, chemikálie (peroxid vodíku, kyselina peroctová a čistící roztok pro UV lampy), vodu, výměnu UV lamp a plachetky mikrosíta a osobní náklady. V celkových nákladech jsou zahrnuty náklady provozní a odpisy ze stavební a strojní části společně s náklady na údržbu. Níže uvedené náklady jsou relevantní pro ČOV velikostní kategorie blízké k velikostem pilotních jednotek, tj. pro ČOV o kapacitě v řádu jednotek tisíců EO.

tab. 2 Provozní a celkové náklady na dočištění odpadní vody pomocí MFO/UV

Provozní stav	Provozní náklady	Celkové náklady
	[Kč·m^{-3}]	
5 l·s^{-1} + UV 650 J·m^{-2}	0,75	2,38
3 l·s^{-1} + UV 1100 J·m^{-2}	1,22	3,52
1 l·s^{-1} + UV 3300 J·m^{-2}	3,53	8,93
3 l·s^{-1} + UV 1100 J·m^{-2} + 5 mg·l^{-1} H_2O_2	1,66	4,13
3 l·s^{-1} + UV 1100 J·m^{-2} + 3 mg·l^{-1} H_2O_2	1,53	4,00
3 l·s^{-1} + UV 1100 J·m^{-2} + 2 mg·l^{-1} H_2O_2	1,43	3,89
5 l·s^{-1} + UV 650 J·m^{-2} + 2 mg·l^{-1} H_2O_2	0,94	2,64
5 l·s^{-1} + UV 650 J·m^{-2} + 5 mg·l^{-1} H_2O_2	1,15	2,85
3 l·s^{-1} + UV 1100 J·m^{-2} + 5 mg·l^{-1} PAA	1,70	4,16
5 l·s^{-1} + UV 650 J·m^{-2} + 2 mg·l^{-1} H_2O_2 (za UV reaktor)	0,88	2,49
5 l·s$_{-1}$ + UV 650 J·m^{-2} + 5 mg·l^{-1} H_2O_2 (za UV reaktor)	1,07	2,69
5 l·s^{-1} + UV 650 J·m^{-2} + 10 mg·l^{-1} H_2O_2 (za UV reaktor)	1,40	3,01

tab. 3 Provozní a celkové náklady na dočištění odpadní vody pomocí O_3/UZ

Provozní stav	Provozní náklady	Celkové náklady
	[Kč·m^{-3}]	
2 l·s^{-1} + 2 mg·l^{-1} O_3	0,48	1,40
2 l·s^{-1} + 5 mg·l^{-1} O_3	1,08	3,16
2 l·s^{-1} + 10 mg·l^{-1} O_3	2,07	5,89
1 l·s^{-1} + 20 mg·l^{-1} O_3	4,05	11,11
0,4 l·s^{-1} + 50 mg·l^{-1} O_3	10,00	26,28
2 l·s^{-1} + 5 mg·l^{-1} O_3 + 2 mg·l^{-1} H_2O_2	1,29	3,43
2 l·s^{-1} + 10 mg·l^{-1} O_3 + 4 mg·l^{-1} H_2O_2	2,51	6,48
2 l·s^{-1} + 5 mg·l^{-1} O_3 + 625 J·l^{-1} UZ	1,60	3,86
2 l·s^{-1} + 10 mg·l^{-1} O_3 + 625 J·l^{-1} UZ	2,67	6,89
1 l·s^{-1} + 20 mg·l^{-1} O_3 + 800 J·l^{-1} UZ	4,94	12,46
1 l·s^{-1} + 20 mg·l^{-1} O_3 + 1250 J·l^{-1} UZ	5,25	12,95
1 l·s^{-1} + 20 mg·l^{-1} O_3 + 1625 J·l^{-1} UZ	5,51	13,26
2 l·s^{-1} + 5 mg·l^{-1} O_3 + 2 mg·l^{-1} H_2O_2 + 625 J·l^{-1} UZ	1,81	3,95
2 l·s^{-1} + 10 mg·l^{-1} O_3 + 4 mg·l^{-1} H_2O_2 + 625 J·l^{-1} UZ	3,11	7,41

tab. 4 Provozní a celkové náklady na dočištění odpadní vody pomocí UF/PAC

provozní stav	náklady provozní	náklady celkové
	[Kč·m^{-3}]	
2 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 2 hod	1,02	5,57
5 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 2 hod	1,26	5,84
10 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 1 hod	1,66	6,23
20 mg·l^{-1} PAC, 0 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 1 hod	2,46	7,04
50 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 1 hod	4,86	9,62
20 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 2 hod	2,46	7,27
20 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 1 hod	2,46	7,10
50 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 5 hod	4,86	9,94
20 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 5 hod	2,46	7,54
100 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 5 hod	8,86	13,98
50 mg·l^{-1} PAC, 0 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 2 hod	4,86	9,61
10 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 3 hod	1,66	6,47

Závěr

Po ročním testování byly patrné rozdíly v míře odstranění sledovaného znečištění a provozní náročnosti obou pilotních jednotek, což se promítá do nákladů na vlastní dočištění biologicky čištěné odpadní vody.
K odstraňování mikrobiologického znečištění je vhodná zejména pilotní jednotka UF/PAC s provozními náklady od 1,02 Kč·m^{-3}. Na kvalitu užitkové vody je možné biologicky vyčištěnou odpadní vodu upravit v pilotní jednotce MFO/UV dávkou UV 3300 J·m^{-2} s provozními náklady 3,53 Kč·m^{-3}. Podobných výsledků je možné jednotkou O_3/UZ dosáhnout při dávce 5 mg·l^{-1} O_3 + 625 J·m^{-3} UZ nebo 5 mg·l^{-1} O_3 + 2 mg·l^{-1} H_2O_2 při provozních nákladech 1,60 Kč·m^{-3}, respektive 1,29 Kč·m^{-3}. V případě pilotní jednotky O_3/UZ navíc dochází k odstranění cca 95 % bisfenolu A, 68 % účinných látek pesticidů a 73 % léčiv. Podobné odstranění chemického znečištění je možné dosáhnout i u pilotní jednotky UF/PAC. Více informací a další výsledky testování jsou k dispozici na webových stránkách projektu www.life2water.cz.

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.

LIFE2Water

LIFE2Water

LIFE2Water – 3 roky zkušeností s terciárními technologiemi

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

Znečištění odpadních vod, LIFE2Water

- **Znečištění povrchových vod → úbytek biologické rozmanitosti, ohrožení vodního prostředí a lidského zdraví**
- **Konvenční metody čištění mají omezenou účinnost na odstranění léčiv, pesticidů, průmyslových látek a mikrobiálního znečištění**
- **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 tří pilotních jednotek
  - ⇨ Optimalizace a vyhodnocení účinnosti odstranění sledovaného znečištění a vybraných provozních parametrů
  - ⇨ Propagace projektu, výsledků, zkušeností a přenos dobré praxe

Projekt LIFE2Water, testovací lokalita

- **Trvání projektu: 09/2014-12/2017**
- **50% kofinancování Evropskou komisí**
- **PŘÍJEMCI PROJEKTU:**

AQUA PROCON, ALS, Brněnské vodárny a kanalizace a.s.

- **Testovací lokalita ČOV Brno-Modřice (klasická mechanicko-biologická ČOV s kapacitou 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 k tomuto nepoužívané**
- **Spojením do unikátních celků byla posílena účinnost odstranění sledovaného znečištění**
- **Navrženy a zkonstruovány 3 pilotní jednotky**
  - ⇨ Pilotní jednotka mikrosítové filtrace s UV zářením (MFO/UV)
  - ⇨ Pilotní jednotka sonolýzy ozonu (O_3/UZ)
  - ⇨ Ultrafiltrační pilotní jednotka s adsorpcí na aktivní uhlí (UF/PAC)

Pilotní jednotky (2/2)

MFO/UV

UF/PAC

O_3/UZ

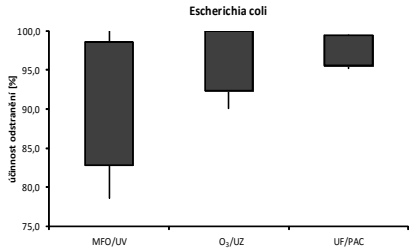
Monitoring pilotních jednotek (1/2)

- **Základní parametry** (BSK_5, $CHSK_{Cr}$, NL, N_C, P_C)**, AOX**
- **Mikrobiologické parametry** (fekální koliformní bakterie, enterokoky, *Escherichia coli*)
- **Znečištění chemickými látkami:**
  - ⇨ Alkylfenoly (bisfenol A, nonyl- a oktylfenoly a jejich metabolity)
  - ⇨ Pesticidy (celkem 26 látek vč. vybraných metabolitů)
  - ⇨ Léčiva (celkem 23 látek)
- **Ekotoxicita** (*Daphnia magna, Vibrio fischeri, Scenedesmus subspicatus, Sinapis alba*)
- **Provozní aspekty** (provozní náklady, nároky na obsluhu a údržbu)
- **Celkem v každé pilotní jednotce analyzováno:**
  - ⇨ cca 200 párů vstup-výstup (základní a mikrobiologické parametry)
  - ⇨ cca 100 párů vstup-výstup (chemické znečištění)

Monitoring pilotních jednotek (2/2)

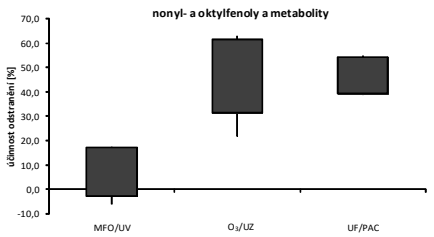
- **Odběry vzorků**
  - ⇨ 24 hodinové slévané vzorky odebírané automatickými vzorkovači
  - ⇨ Na vstupu do pilotní jednotky a na výstupu každé z pilotních jednotek
  - ⇨ Nutno zamezit kontaminaci vzorků: používání sterilních skleněných nádob, připojení vzorkovačů teflonovým potrubím (velmi problematický je všudypřítomný bisfenol A).
- **Analýza vzorků**
  - ⇨ Standardní 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)

Vybrané výsledky – mikrobiální znečištění



- **Nulové koncentrace při vysokých dávkách UV, O_3 nebo O_3/UZ a u UF/PAC ve všech provozních stavech**

Vybrané výsledky – průmyslové látky

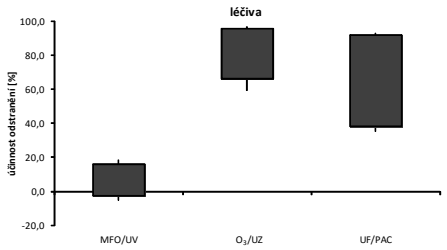


- **U MFO/UV k odstraňování nedocházelo, O_3/UZ a UF/PAC odstranění průměrně cca 50 %.**

Vybrané výsledky – pesticidy a jejich metabolity

- **U MFO/UV k odstraňování nedocházelo, O_3/UZ a UF/PAC odstranění v podobně velké míře.**

Vybrané výsledky – léčiva



- **Účinnosti odstranění u O_3/UZ jsou vysoké, u UF/PAC účinnosti odstranění horší. Rentgenové kontrastní látky špatně odstranitelné u obou jednotek.**

Ekonomické zhodnocení

- **Provozní náklady: elektrická energie, kyslík, PAC, chemikálie (peroxid vodíku, kyselina peroctová a čistící roztok pro UV lampy), voda, výměna UV lamp a plachetky mikrosíta a osobní náklady.**
- **Celkové náklady: náklady provozní a odpisy ze stavební a strojní části společně s náklady na údržbu.**
- **Celkové náklady (v závislosti na provozovaném stavu):**
  - ⇨ MFO/UV: 2,38-8,93 Kč·m^{-3}
  - ⇨ O_3/UZ: 1,40-26,28 Kč·m^{-3}
  - ⇨ UF/PAC: 5,57-13,98 Kč·m^{-3}
- **Náklady relevantní pro ČOV blízké velikostem pilotních jednotek (kapacita v řádu jednotek tisíců EO).**

MFO/UV: ekonomické zhodnocení

provozní stav	náklady provozní	náklady celkové
	[Kč·m^{-3}]	
5 l·s^{-1} + UV	0,75	2,38
3 l·s^{-1} + UV	1,22	3,52
1 l·s^{-1} + UV	3,53	8,93
3 l·s^{-1} + UV + 5 mg·l^{-1} H_2O_2	1,66	4,13
3 l·s^{-1} + UV + 3 mg·l^{-1} H_2O_2	1,53	4,00
3 l·s^{-1} + UV + 2 mg·l^{-1} H_2O_2	1,43	3,89
5 l·s^{-1} + UV + 2 mg·l^{-1} H_2O_2	0,94	2,64
5 l·s^{-1} + UV + 5 mg·l^{-1} H_2O_2	1,15	2,85
3 l·s^{-1} + UV + 5 mg·l^{-1} PAA	1,70	4,16
5 l·s^{-1} + UV + 2 mg·l^{-1} H_2O_2 (za UV reaktor)	0,88	2,49
5 l·s$_{-1}$ + UV + 5 mg·l^{-1} H_2O_2 (za UV reaktor)	1,07	2,69
5 l·s^{-1} + UV + 10 mg·l^{-1} H_2O_2 (za UV reaktor)	1,40	3,01

O_3/UZ: ekonomické zhodnocení

provozní stav	náklady provozní	náklady celkové
	[Kč·m^{-3}]	
2 l·s^{-1} + 2 mg·l^{-1} O_3	0,48	1,40
2 l·s^{-1} + 5 mg·l^{-1} O_3	1,08	3,16
2 l·s^{-1} + 10 mg·l^{-1} O_3	2,07	5,89
1 l·s^{-1} + 20 mg·l^{-1} O_3	4,05	11,11
0,4 l·s^{-1} + 50 mg·l^{-1} O_3	10,00	26,28
2 l·s^{-1} + 5 mg·l^{-1} O_3 + 2 mg·l^{-1} H_2O_2	1,29	3,43
2 l·s^{-1} + 10 mg·l^{-1} O_3 + 4 mg·l^{-1} H_2O_2	2,51	6,48
2 l·s^{-1} + 5 mg·l^{-1} O_3 + 625 J·l^{-1} UZ	1,60	3,86
2 l·s^{-1} + 10 mg·l^{-1} O_3 + 625 J·l^{-1} UZ	2,67	6,89
1 l·s^{-1} + 20 mg·l^{-1} O_3 + 800 J·l^{-1} UZ	4,94	12,46
1 l·s^{-1} + 20 mg·l^{-1} O_3 + 1250 J·l^{-1} UZ	5,25	12,95
1 l·s^{-1} + 20 mg·l^{-1} O_3 + 1625 J·l^{-1} UZ	5,51	13,26
2 l·s^{-1} + 5 mg·l^{-1} O_3 + 2 mg·l^{-1} H_2O_2 + 625 J·l^{-1} UZ	1,81	3,95
2 l·s^{-1} + 10 mg·l^{-1} O_3 + 4 mg·l^{-1} H_2O_2 + 625 J·l^{-1} UZ	3,11	7,41

UF/PAC: ekonomické zhodnocení

provozní stav	náklady provozní	náklady celkové
	[Kč·m^{-3}]	
2 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 2 hod	1,02	5,57
5 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 2 hod	1,26	5,84
10 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 1 hod	1,66	6,23
20 mg·l^{-1} PAC, 0 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 1 hod	2,46	7,04
50 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 1 hod	4,86	9,62
20 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 2 hod	2,46	7,27
20 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 1 hod	2,46	7,10
50 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 5 hod	4,86	9,94
20 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 5 hod	2,46	7,54
100 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 5 hod	8,86	13,98
50 mg·l^{-1} PAC, 0 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 2 hod	4,86	9,61
10 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 3 hod	1,66	6,47
2 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 2 hod	1,02	5,57
5 mg·l^{-1} PAC, 2 mg·l^{-1} Fe^{3+} a doba zdržení 2 hod	1,26	5,84

Závěry provozu pilotních jednotek

- **MFO/UV vhodné pouze k odstraňování mikrobiologického znečištění – částečné desinfekci.**
- **O_3/UZ univerzální technologií.**
- **UF/PAC srovnatelná s O_3/UZ.**
- **Odstraňování mikrobiologického znečištění:**
  - ⇨ Vhodná zejména UF/PAC (celkové náklady od 5,57 Kč·m^{-3}).
  - ⇨ O_3/UZ při dávce 5 mg·l^{-1} O_3 + 625 J·m^{-3} UZ nebo 5 mg·l^{-1} O_3 + 2 mg·l^{-1} H_2O_2 (celkové náklady 3,86 Kč·m^{-3}, respektive 3,43 Kč·m^{-3}). Navíc dochází k odstranění cca 95 % bisfenolu A, 68 % účinných látek pesticidů a 73 % léčiv.
  - ⇨ Kvalita užitkové vody: MFO/UV při dávce UV 3300 J·m^{-2} s celkovými náklady 8,93 Kč·m^{-3}.
- **Více informací a další výsledky testování jsou na webových stránkách projektu (www.life2water.cz).**

LIFE2Water