

# Ověření a vyhodnocení technologií pro terciární dočištění komunálních odpadních vod

## CELKOVÉ VYHODNOCENÍ TECHNOLOGIE MIKROSÍTOVÉ FILTRACE S UV ZÁŘENÍM A DÁVKOVÁNÍM PEROXIDU VODÍKU

SOUHRN VÝSTUPŮ C1D1, C1D2 A C1D3  
PROJEKTU LIFE2WATER

SUMMARY OF DELIVERABLES C1D1, C1D2  
AND C1D3 OF LIFE2WATER PROJECT

DUBEN 2016

[www.life2water.cz](http://www.life2water.cz)

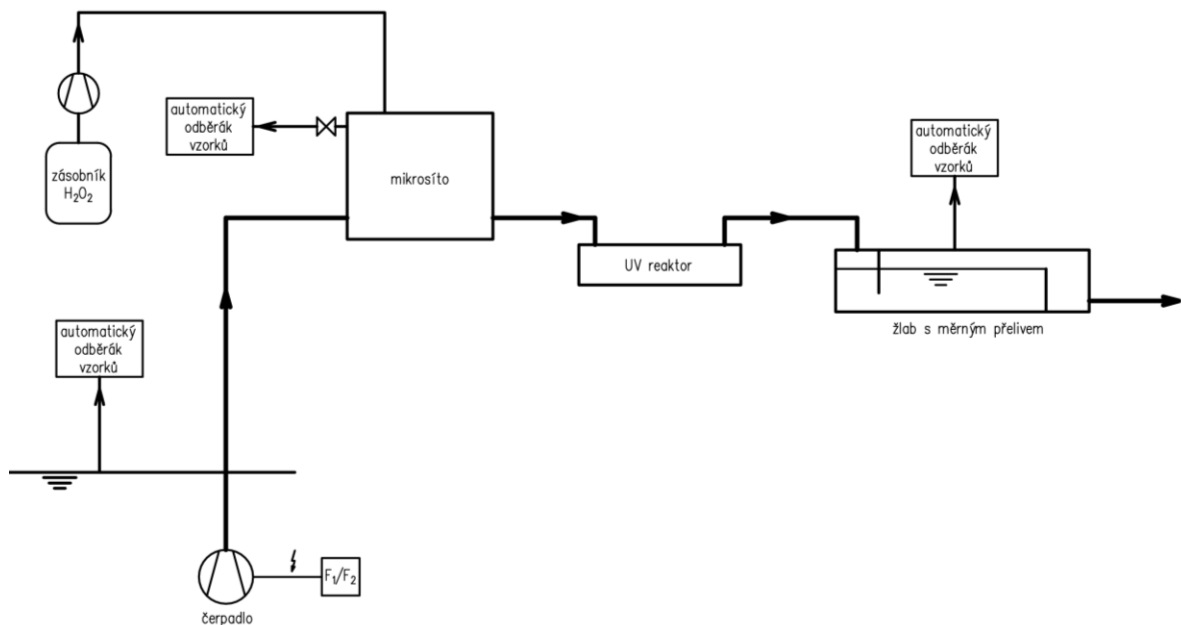
**OBSAH**

<b>1. POPIS POLOPROVOZNÍ PILOTNÍ JEDNOTKY MIKROSÍTA/UV.....</b>	<b>2</b>
<b>2. SLEDOVANÉ VELIČINY A PARAMETRY .....</b>	<b>3</b>
2.1 SLEDOVANÉ VELIČINY .....	3
2.2 SLEDOVANÉ PARAMETRY .....	3
<b>3. PROVOZOVANÉ STAVY .....</b>	<b>5</b>
<b>4. POŽADAVKY NA PROVOZ, OBSLUHU, ŽIVOTNOST .....</b>	<b>6</b>
4.1 POŽADAVKY NA PROVOZ.....	6
4.2 POŽADAVKY NA OBSLUHU.....	6
4.3 ŽIVOTNOST .....	7
<b>5. ÚČINNOSTI ODSTRANĚNÍ SLEDOVANÉHO ZNEČIŠTĚNÍ .....</b>	<b>8</b>
5.1 VSTUPNÍ KONCENTRACE SLEDOVANÉHO ZNEČIŠTĚNÍ .....	8
5.2 ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ .....	9
5.3 ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ MIKROBIÁLNÍHO ZNEČIŠTĚNÍ.....	11
<b>6. ZÁVĚR .....</b>	<b>12</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>13</b>

## 1. POPIS POLOPROVOZNÍ PILOTNÍ JEDNOTKY MIKROSÍTA/UV

Základními komponenty poloprovozní testovací jednotky mikrosít/UV jsou:

- čerpadlo odpadní vody;
- mikrosíto;
- dávkovací čerpadlo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>;
- UV reaktor;
- měrný žlab;
- měření, řízení a elektroinstalace.



**obr. 1 Schéma poloprovozní pilotní jednotky mikrosíta/UV**

Schéma zapojení všech komponent jednotky je uvedeno na obr. 1, podrobněji je pilotní jednotka popsána ve zprávě B1d1 dokumentace k pilotní jednotce mikrosíta/UV.

## 2. SLEDOVANÉ VELIČINY A PARAMETRY

### 2.1 SLEDOVANÉ VELIČINY

Po celou dobu provozu pilotní jednotky byl sledován její provoz a dvakrát denně byl prováděn zápis nejdůležitějších provozních veličin:

- aktuální průtok odpadní vody;
- celkový proteklý objem odpadních vod;
- celková spotřeba elektrické energie podávacího čerpadla;
- celková spotřeba elektrické energie mikrosítového filtru (oplach a čerpání kalu);
- celková spotřeba elektrické energie mikrosítového filtru (čerpání kalu);
- celková spotřeba elektrické energie UV reaktoru;
- aktuální intenzita UV záření;
- nastavení dávkovacího čerpadla peroxidu vodíku.

Mimo výše uvedené číselné veličiny byly sledovány a zaznamenávány provozní stavy jednotlivých komponent (chod/stop, ostatní nastavení) a případné poruchové stavy.

### 2.2 SLEDOVANÉ PARAMETRY

Sledovanými základními a mikrobiologickými parametry byly:

- biochemická spotřeba kyslíku (BSK<sub>5</sub>);
- chemická spotřeba kyslíku dichromanem (CHSK<sub>Cr</sub>);
- nerozpuštěné látky (NL);
- celkový dusík (N<sub>C</sub>);
- celkový fosfor (P<sub>C</sub>);
- *Escherichia coli*;
- koliformní bakterie; a
- enterokoky.

Sledovanými průmyslovými látkami, pesticidy a léčivy byly:

- nonylfenol s metabolity (4-nonylfenol, nonylfenol (směs izomerů), nonylfenol diethoxylát (směs izomerů), nonylfenol monoethoxylát (směs izomerů), nonylfenol diethoxylát (směs izomerů));
- oktylfenol s metabolity (4-n-oktylfenol, 4-t-oktylfenol, 4-t-oktylfenol diethoxylát, 4-t-oktylfenol monoethoxylát, 4-t-oktylfenol ethoxylát);
- bisfenol A;
- estrogeny a jejich metabolity (17- $\alpha$ -ethinylestradiol, 17- $\beta$ -estradiol, estriol, estron, mestranol);
- pesticidy (2.4-D, acetochlor, atrazin, atrazin-2-hydroxy, atrazin-desethyl, atrazin-desisopropyl, azoxystrobin, karbofuran, karbofuran-3-hydroxy, chloridazon,

chloridazon-desphenyl, chlorpyrifos, diuron, diuron desmethyl (DCPMU), imidaclopid, Isoproturon, isoproturon-desmethyl, isoproturon-monodesmethyl, MCPA, MCPB, MCPP (izomery), terbuthylazin, terbuthylazin-desethyl, terbuthylazin-desethyl-2-hydroxy, terbuthylazin-hydroxy, terbutryn);

- léčiva (kofein, karbamazepin, ciprofloxacín, kyselina klofibrová, diazepam, diklofenak, furosemid, ibuprofen, iohexol, iomeprol, iopamidol, iopromid, naproxen, paracetamol, kyselina salicylová, sulfamethoxazol, tramadol, warfarin).

### 3. PROVOZOVANÉ STAVY

Během celého testování bylo několikrát otestováno několik provozních stavů s cílem ověřit účinnosti odstranění vybraného znečištění a nároky na provoz a obsluhu za různých podmínek. Testovanými stavy byly:

- průtok odpadní vody  $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření;
- průtok odpadní vody  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření;
- průtok odpadní vody  $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření;
- průtok odpadní vody  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření + peroxid vodíku o dávce  $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
- průtok odpadní vody  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření + peroxid vodíku o dávce  $3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
- průtok odpadní vody  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření + peroxid vodíku o dávce  $2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
- průtok odpadní vody  $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření + peroxid vodíku o dávce  $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
- průtok odpadní vody  $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření + peroxid vodíku o dávce  $2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
- průtok odpadní vody  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření + kyselina peroctová o dávce  $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
- průtok odpadní vody  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření + peroxid vodíku o dávce  $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  dávkovaný za UV reaktor;
- průtok odpadní vody  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření + peroxid vodíku o dávce  $3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  dávkovaný za UV reaktor;
- průtok odpadní vody  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV záření + peroxid vodíku o dávce  $2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  dávkovaný za UV reaktor.

Provozní stavy s dávkováním kyseliny peroctové a dále všechny stavy s dávkováním peroxidu vodíku za UV reaktor vznikly na základě zkušeností získaných během testování předchozích provozních stavů.

Dávkování kyseliny peroctové bylo testováno na základě zkušeností získané během předchozího provozu s dávkováním peroxidu vodíku. Dávkováním peroxidu vodíku před UV reaktor docházelo k podpoře vzniku anorganické sraženiny na stěnách křemenných trubic UV reaktoru, čímž docházelo k rychlému poklesu výkonu UV reaktoru. Na základě literární rešerše a tohoto poznatku byl na krátkém testování ověřen vliv kyseliny peroctové na vznik anorganických sraženin.

Toto testování ukázalo, že kyselina peroctová je sice vhodnější z hlediska odstranění znečištění, avšak z hlediska zanášení UV reaktoru látkami snižující jeho výkon je horší ve srovnání s peroxidem vodíku.

Na základě těchto zjištění bylo dále otestováno dávkování peroxidu vodíku za UV reaktor. Cílem tohoto testování bylo pouze ověření odstraňování mikrobiologického znečištění.

## 4. POŽADAVKY NA PROVOZ, OBSLUHU, ŽIVOTNOST

### 4.1 POŽADAVKY NA PROVOZ

Provoz mikrosítové filtrační jednotky s UV desinfekcí a dávkováním peroxidu vodíku má následující provozní požadavky:

- prostor;
- přípojka pitné či technologické vody;
- přípojka silové elektřiny a komunikační přípojka;
- napojení na upravovanou odpadní vodu;
- přípojka na odvod kalu;
- chemické hospodářství pro dávkování peroxidu vodíku;
- chemické hospodářství pro UV reaktor.

### 4.2 POŽADAVKY NA OBSLUHU

Požadavky na obsluhu mikrosítového filtru jsou následující:

- denně vizuální kontrola těsnosti;
- denně kontrola sepnutí oplachu;
- denně kontrola funkce kalového čerpadla;
- denně kontrola poškození filtrační plachetky;
- týdně čištění hladinových spínačů
- týdně čištění trysek oplachu.

Požadavky na obsluhu UV reaktoru jsou následující:

- denně vizuální kontrola těsnosti;
- denně kontrola chodu ventilátoru rozvaděče a funkce rozvaděče;
- týdně kontrola funkce mechanického stírání jeho ručním zapnutím;
- měsíčně vizuální kontrola koroze/poškození UV reaktoru;
- každý den až měsíčně (dle způsobu provozu) chemické čištění komory reaktoru;
- ročně (příp. dle potřeby) výměna UV lampy;
- ročně kalibrace UV senzoru;
- 2× ročně čištění vzduchového filtru v rozvaděči;
- 2× ročně až každých 5 let (dle četnosti stírání) výměna stíracích kroužků;
- každé dva roky výměna ventilátorů v rozvaděči.

### **4.3 ŽIVOTNOST**

Nejvyšší životnost v rámci pilotní jednotky má samotný mikrosítový filtr, u kterého se dá jako u celku očekávat životnost přibližně 15 let. Doba životnosti filtrační plachetky mikrosíta je značně individuální a je zcela závislá na charakteru filtrované vody a obsažených nerozpuštěných látkách. Na odtocích z čistíren odpadních vod se životnost plachetky pohybuje mezi 6 a 12 měsíci.

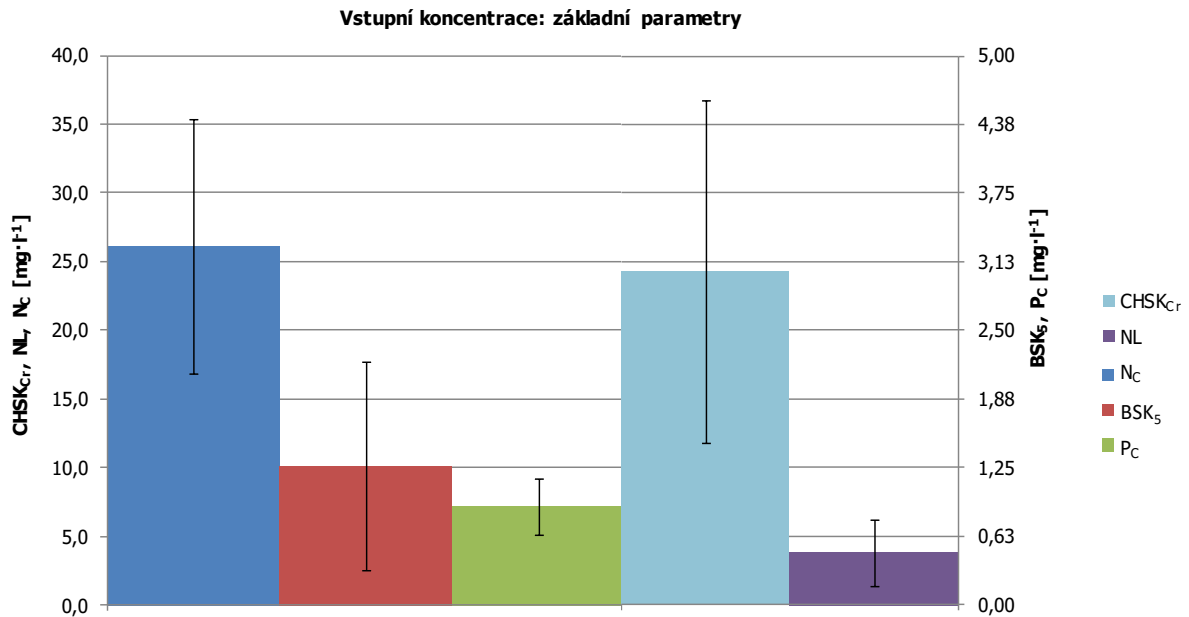
Životnost UV reaktoru je omezena životností UV lamp a dále životností mechanického stírání křemenných trubic. Životnost stěrače (stíracích kroužků) je závislá na četnosti stírání trubic. Při četnosti stírání 1× za hodinu je předpokládaná životnost stíracích kroužků 2 roky. Předpokládaná životnost UV lamp je 1 rok nepřetržitého provozu. Výrobci UV lamp jako konec životnosti lampy uvažují buď její selhání, nebo pokles jejího výkonu na úroveň cca 70 % původního UV výkonu.



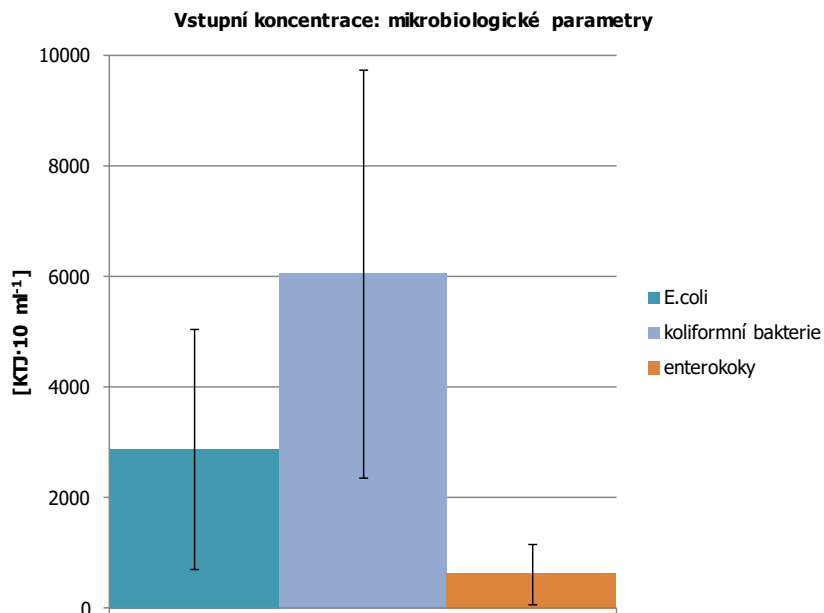
## 5. ÚČINNOSTI ODSTRANĚNÍ SLEDOVANÉHO ZNEČIŠTĚNÍ

### 5.1 VSTUPNÍ KONCENTRACE SLEDOVANÉHO ZNEČIŠTĚNÍ

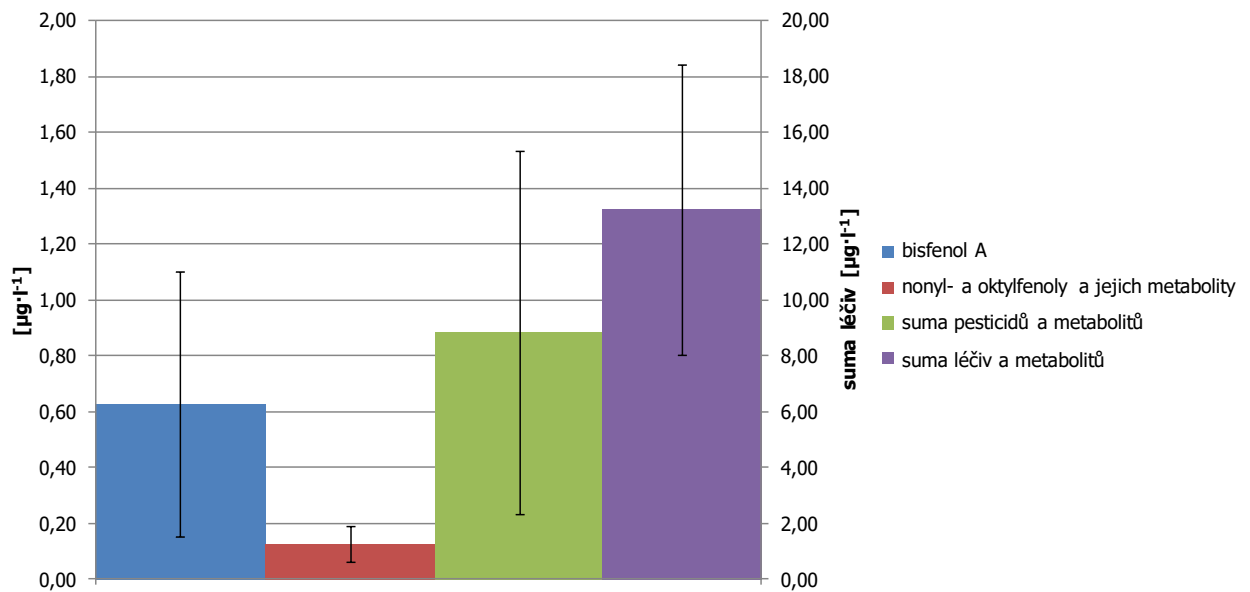
Na obr. 2 až obr. 4 jsou zobrazeny průměrné vstupní koncentrace všech sledovaných ukazatelů (viz výše). Grafy jsou dále doplněny chybovými úsečkami znázorňující variabilitu (směrodatnou odchylku) těchto hodnot v průběhu testování.



**obr. 2 Vstupní koncentrace základních parametrů na pilotní jednotce B1**



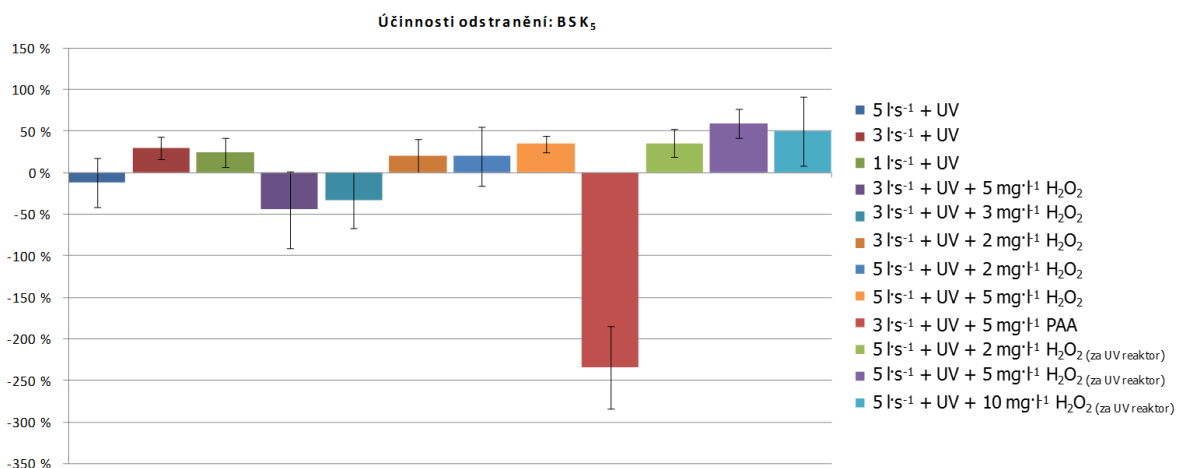
**obr. 3 Vstupní koncentrace mikrobiálních parametrů na pilotní jednotce B1**



obr. 4 Vstupní koncentrace sledovaného chemického znečištění, pesticidů a léčiv na pilotní jednotce B1

## 5.2 ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ

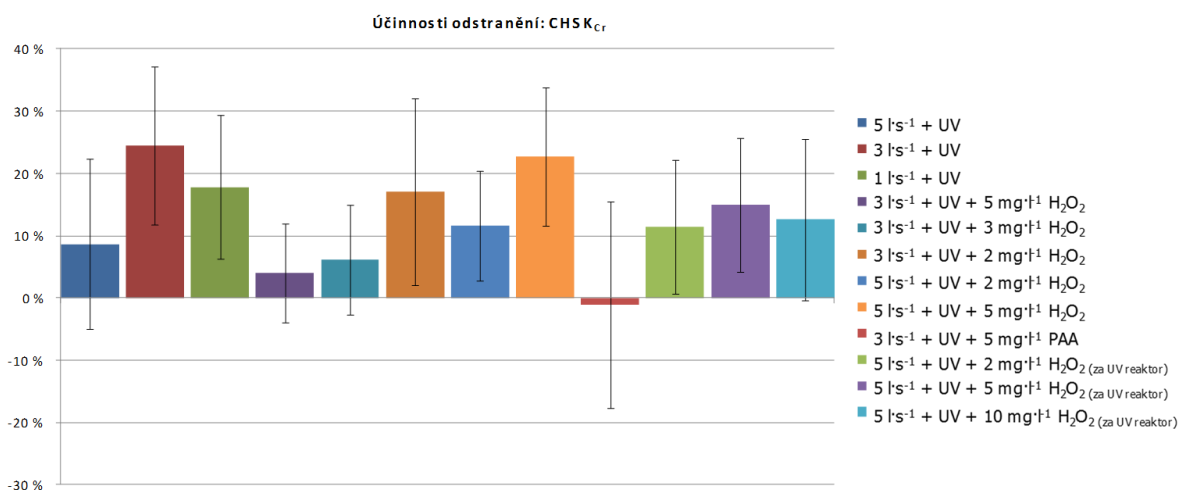
Účinnosti odstranění BSK<sub>5</sub> (viz obr. 5) jsou poměrně variabilní a korespondují se vstupními koncentracemi BSK<sub>5</sub>. Jsou-li vstupní koncentrace BSK<sub>5</sub> vyšší jsou i vyšší účinnosti odstranění. Naopak jsou-li vstupní koncentrace nižší, jsou zpravidla účinnosti odstranění nižší (či záporné). V provozním stavu „3 l·s<sup>-1</sup> + UV + 5 mg·l<sup>-1</sup> PAA“ jsou účinnosti odstranění výrazně záporné pravděpodobně vlivem přítomností kyseliny octové, která zvyšuje biologickou spotřebu kyslíku.



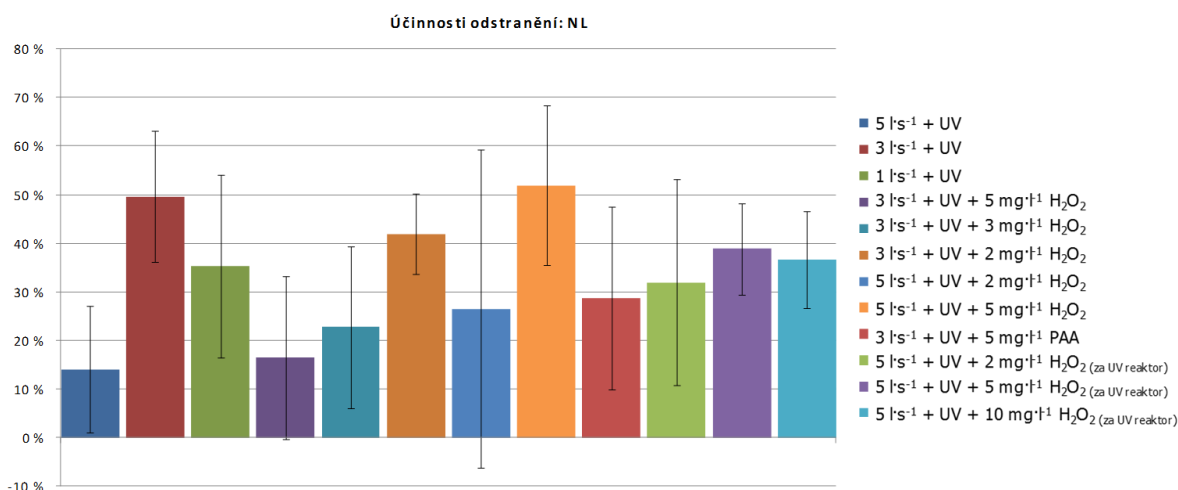
obr. 5 Účinnosti odstranění BSK<sub>5</sub> na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech

Účinnosti odstranění CHSK<sub>Cr</sub> (viz obr. 6) se pohybují nejčastěji kolem 10 % až 20 % s velkou směrodatnou odchylkou. Lze tedy předpokládat, že k odstranění CHSK<sub>Cr</sub> s výjimkou provozního stavu „3 l·s<sup>-1</sup> + UV“, „1 l·s<sup>-1</sup> + UV“ a „5 l·s<sup>-1</sup> + UV + 5 mg·l<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>“ nedocházelo. U výše zmíněných provozních stavů docházelo k odstranění od 17,8 % do 24,5 % CHSK<sub>Cr</sub>.

Účinnosti odstranění nerozpuštěných látek (viz obr. 7) jsou poměrně variabilní a korespondují se vstupními koncentracemi NL. Jsou-li vstupní koncentrace NL vyšší jsou i vyšší účinnosti odstranění. Naopak jsou-li vstupní koncentrace nižší, jsou zpravidla účinnosti odstranění nižší. Toto je dáno tím, že mikrosítový filtr má schopnost udržovat přibližně konstantní koncentraci NL na odtoku v širokém rozmezí vstupních koncentrací NL. Např. v provozním stavu „3 l·s<sup>-1</sup> + UV“ byla na vstupu cca 3× vyšší koncentrace NL ve srovnání s provozním stavem „5 l·s<sup>-1</sup> + UV“, čemuž odpovídá i cca třikrát vyšší účinnost odstranění NL.



**obr. 6 Účinnosti odstranění CHSK<sub>Cr</sub> na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech**

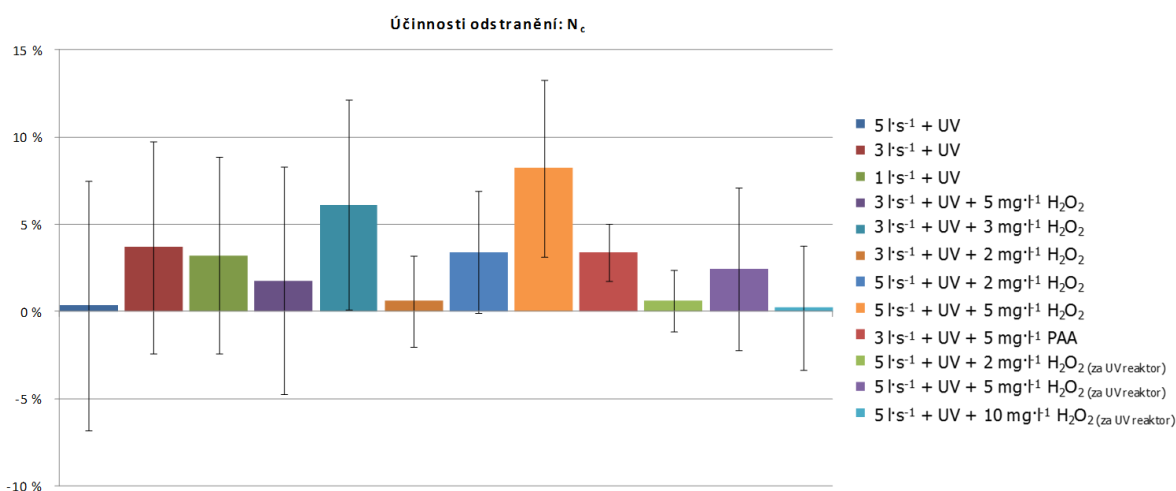


**obr. 7 Účinnosti odstranění NL na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech**

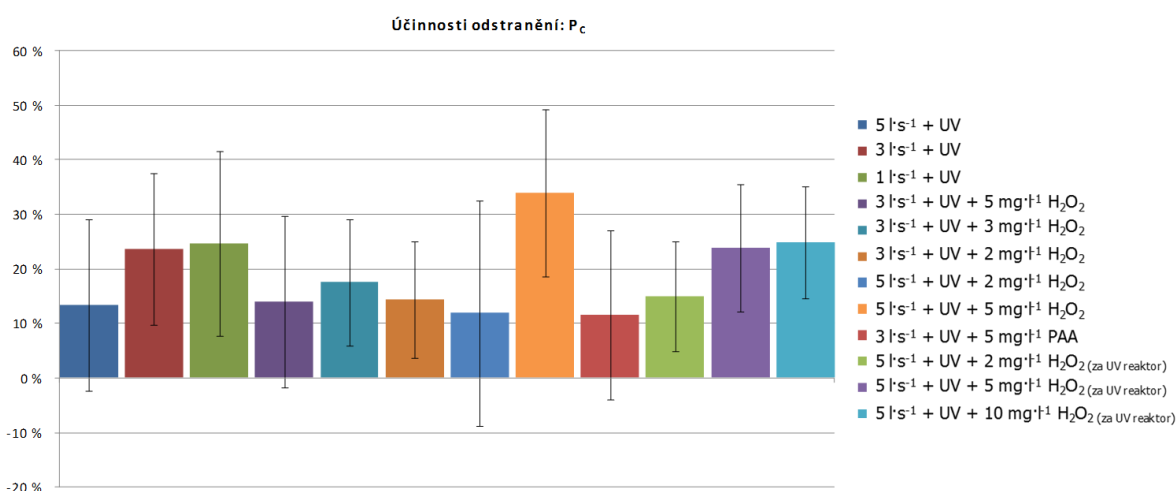
Účinnosti odstranění celkového dusíku (viz obr. 8) jsou ve všech provozních stavech blízké nule. To je způsobeno tím, že většina dusíku je v rozpuštěné formě, kterou není možné odstranit na mikrosítovém filtru ani UV zářením v kombinaci s peroxidem vodíku.

Účinnosti odstranění celkového fosforu (viz obr. 9) korespondují s účinnostmi odstranění nerozpuštěných látek. Většina odstraněného fosforu se tedy odstraňuje na mikrosítovém filtru ve formě nerozpuštěných látek (vlivem nedokonalé separace chemického kalu na ČOV). Účinnosti odstranění celkového fosforu se pohybují v rozmezí 11,5 % až 33,9 % v závislosti na koncentraci celkového fosforu a nerozpuštěných látek na přítoku (vyšších účinností

odstranění celkového fosforu je dosahováno při vyšších vstupních koncentracích celkového fosforu a nerozpuštěných látek).



obr. 8 Účinnosti odstranění  $N_c$  na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech



obr. 9 Účinnosti odstranění  $P_c$  na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech

### 5.3 ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ MIKROBIÁLNÍHO ZNEČIŠTĚNÍ

Účinnost odstranění bisfenolu A jsou zanedbatelné s výjimkou provozního stavu „3 l·s<sup>-1</sup> + UV + 5 mg·l<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>“, kde bylo dosaženo průměrné účinnosti odstranění 30,1 %. V ostatních případech jsou směrodatné odchylky účinností odstranění vyšší než průměrné účinnosti odstranění. S jistotou tedy není možné konstatovat jiný závěr, než že k odstranění bisfenolu A nedochází. Dosažené účinnosti odstranění nonyl- a oktylfenolů a jejich metabolitů jsou zanedbatelné ze stejných důvodů jako většina výsledků odstraňování bisfenolu A.

Účinnosti odstranění účinných látek pesticidů včetně jejich metabolitů jsou pod 15 %, respektive 10 %. Vzhledem k nejistotám metod stanovení těchto látek je možné opět konstatovat, že k odstranění těchto látek nedochází. Účinnosti odstranění sledovaných léčiv jsou zanedbatelné z důvodů uvedených výše.

## 6. ZÁVĚR

Pilotní jednotka mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku je schopna ve velké míře odstraňovat mikrobiologické znečištění. Tohoto je navíc dosaženo pouze v provozním stavu se samotným UV zářením při nižším průtoku (tzn. běžná UV desinfekce s předřazenou mikrosítovou filtrací), nebo v provozním stavu s dávkováním kyseliny peroctové namísto peroxidu vodíku. Peroxid vodíku není pro odstraňování mikrobiologického znečištění vhodný. Naopak při jeho dávkování před UV reaktor dochází proti všem předpokladům ke snižování účinnosti odstraňování mikrobiologického znečištění pravděpodobně vlivem pohlcování UV záření molekulami peroxidu vodíku. Rozklad peroxidu na hydroxylové radikály za pomoci UV záření ani v nejvyšších testovaných dávkách není dostatečný k rozkladu sledovaného chemického znečištění. Celkové jednotkové ceny za vyčištěný 1 m<sup>3</sup> odpadní vody se za předpokladu čerpání odpadní vody čerpadlem (dopravní výška cca 2,5 m), použití jednotky velikostně odpovídající testované pilotní jednotce a stejné spotřeby energií a chemikálií jako při testování pohybuje v závislosti na provozním stavu mezi 2,38 Kč·m<sup>-3</sup> a 8,93 Kč·m<sup>-3</sup>.

Tato zpráva je souhrnem výstupů C1d1, C1d2 a C1d3 projektu LIFE2Water (LIFE13 ENV/CZ/000475, Ověření a vyhodnocení technologií pro terciární dočištění komunálních odpadních vod). Ve zprávě je vyhodnoceno roční testování pilotní jednotky mikrosítové filtrace s UV zářením a dávkováním peroxidu vodíku. Pro více informací o projektu a jeho výstupech kontaktujte prosím příjemce projektu.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

obr. 1 Schéma poloprovozní pilotní jednotky mikrosíta/UV .....	2
obr. 2 Vstupní koncentrace základních parametrů na pilotní jednotce B1 .....	8
obr. 3 Vstupní koncentrace mikrobiálních parametrů na pilotní jednotce B1 .....	8
obr. 4 Vstupní koncentrace sledovaného chemického znečištění, pesticidů a léčiv na pilotní jednotce B1 .....	9
obr. 5 Účinnosti odstranění BSK <sub>5</sub> na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech .....	9
obr. 6 Účinnosti odstranění CHSK <sub>Cr</sub> na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech ..	10
obr. 7 Účinnosti odstranění NL na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech .....	10
obr. 8 Účinnosti odstranění N <sub>c</sub> na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech.....	11
obr. 9 Účinnosti odstranění P <sub>c</sub> na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech .....	11
obr. 10 Účinnosti odstranění E.coli na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
obr. 11 Účinnosti odstranění koliformních bakterií na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
obr. 12 Účinnosti odstranění enterokoků na pilotní jednotce B1 při různých provozních stavech .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>