

Ověření a vyhodnocení technologií pro terciární dočištění komunálních odpadních vod

CELKOVÉ VYHODNOCENÍ TECHNOLOGIE SONOLÝZY OZONU

SOUHRN VÝSTUPŮ C2D1, C2D2 A C2D3
PROJEKTU LIFE2WATER
SUMMARY OF DELIVERABLES C2D1, C2D2
AND C2D3 OF LIFE2WATER PROJECT

ČERVEN 2016

www.life2water.cz

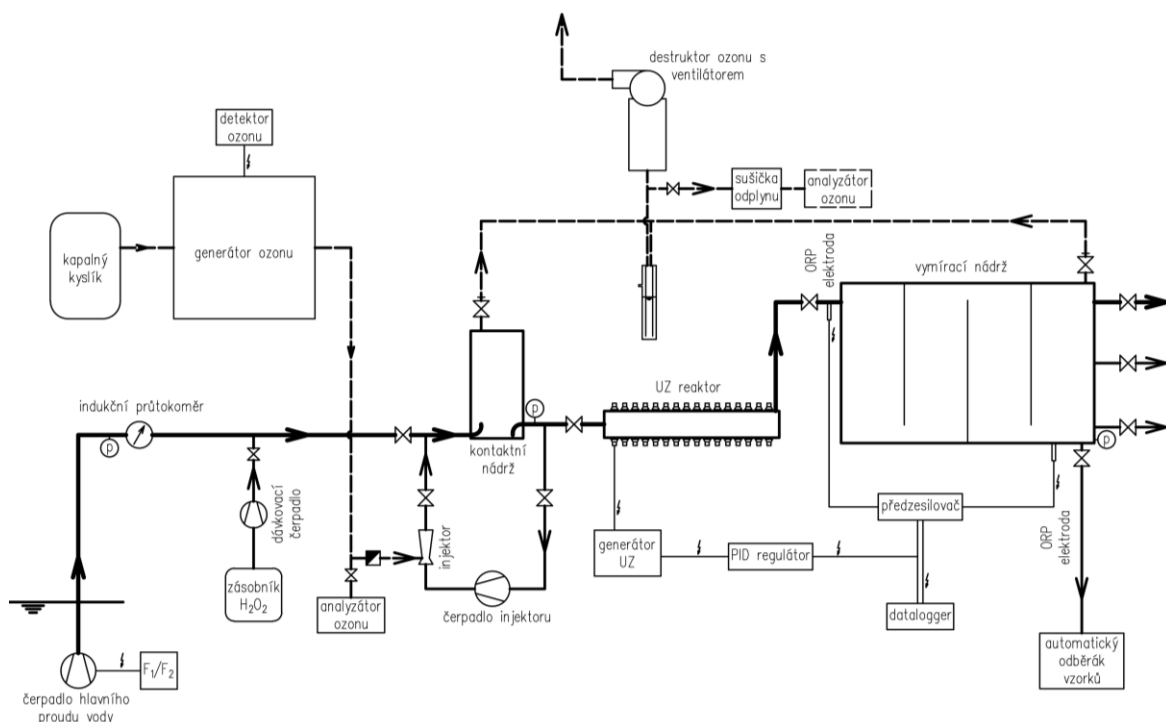
OBSAH

1. POPIS POLOPROVOZNÍ PILOTNÍ JEDNOTKY MIKROSÍTA/UV.....	2
2. SLEDOVANÉ VELIČINY A PARAMETRY	3
2.1 SLEDOVANÉ VELIČINY	3
2.2 SLEDOVANÉ PARAMETRY	3
3. PROVOZOVANÉ STAVY	5
4. POŽADAVKY NA PROVOZ, OBSLUHU, ŽIVOTNOST	6
4.1 POŽADAVKY NA PROVOZ.....	6
4.2 POŽADAVKY NA OBSLUHU.....	6
4.3 ŽIVOTNOST	7
5. ÚČINNOSTI ODSTRANĚNÍ SLEDOVANÉHO ZNEČIŠTĚNÍ	8
5.1 VSTUPNÍ KONCENTRACE SLEDOVANÉHO ZNEČIŠTĚNÍ	8
5.2 ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ	9
5.3 ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ MIKROBIÁLNÍHO ZNEČIŠTĚNÍ.....	11
5.4 ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ SLEDOVANÉHO CHEMICKÉHO ZNEČIŠTĚNÍ, PESTICIDŮ A LÉČIV.....	13
6. ZÁVĚR	16
SEZNAM OBRÁZKŮ	17

1. POPIS POLOPROVOZNÍ PILOTNÍ JEDNOTKY MIKROSÍTA/UV

Základními komponenty poloprovozní testovací jednotky sonolýzy ozonu (O_3/UV) jsou:

- čerpadlo hlavního proudu 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.



obr. 1 Schéma poloprovozní pilotní jednotky sonolýzy ozonu

Schéma zapojení všech komponent jednotky je uvedeno na obr. 1, podrobněji je pilotní jednotka popsána ve zprávě B2d1 Dokumentace k pilotní jednotce sonolýzy ozonu.

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 pilotní jednotky jako celku;
- celková spotřeba elektrické energie ultrazvukového reaktoru;
- celková spotřeba elektrické energie ozonizace (generátor ozonu, destruktor ozonu a odtahový ventilátor);
- celková spotřeba elektrické energie čerpadla injektoru;
- nastavení generátoru ozonu (výkon generátoru, průtok plynu);
- nastavení výkonu generátorů ultrazvuku;
- nastavení dávkovacího čerpadla peroxidu vodíku;
- tlak a stav hladiny ve zdroji kyslíku a tlak v kontaktní a vymírací nádrži.

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 (BSK₅);
- chemická spotřeba kyslíku dichromanem (CHSK_{Cr});
- nerozpuštěné látky (NL);
- celkový dusík (N_C);
- celkový fosfor (P_C);
- 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;

- estrogény a jejich metabolity (17- α -ethinylestradiol, 17- β -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, ciprofloxacin, 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 obsluhy za různých podmínek. Testovanými stavy byly:

- $2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3$;
- $2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3$;
- $2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3$;
- $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3$;
- $0,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3$;
- $2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3 + 2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ H}_2\text{O}_2$;
- $2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3 + 4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ H}_2\text{O}_2$;
- $2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3 + 625 \text{ J}\cdot\text{l}^{-1} \text{ UZ}$;
- $2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3 + 625 \text{ J}\cdot\text{l}^{-1} \text{ UZ}$;
- $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3 + 800 \text{ J}\cdot\text{l}^{-1} \text{ UZ}$;
- $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3 + 1250 \text{ J}\cdot\text{l}^{-1} \text{ UZ}$;
- $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3 + 1625 \text{ J}\cdot\text{l}^{-1} \text{ UZ}$;
- $2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3 + 2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ H}_2\text{O}_2 + 625 \text{ J}\cdot\text{l}^{-1} \text{ UZ}$;
- $2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} + 10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ O}_3 + 4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ H}_2\text{O}_2 + 625 \text{ J}\cdot\text{l}^{-1} \text{ UZ}$.

Provozní stavy s dávkováním peroxidu vodíku byly testovány za účelem srovnání s kombinací ozonu s ultrazvukem. Důvodem pro dodatečnou volbu testování této kombinace (tzn. ozon s peroxidem vodíku a dále kombinace ozonu, peroxidu vodíku a ultrazvuku) je to, že přídavek peroxidu vodíku je nenáročný z hlediska technického i ekonomického. Kombinace s peroxidem vodíku tedy mohla být ekonomicky výhodnější, případně i výhodnější z hlediska odstranění sledovaného znečištění.

4. POŽADAVKY NA PROVOZ, OBSLUHU, ŽIVOTNOST

4.1 POŽADAVKY NA PROVOZ

Provoz jednotky sonolýzy ozonu má následující provozní požadavky:

- prostor;
- přípojka silové elektřiny a komunikační přípojka;
- napojení na upravovanou odpadní vodu;
- napojení na zásobník s kyslíkem;
- napojení na pitnou nebo technologickou vodu;
- napojení na kanalizaci (odvod úkapů);
- chemické hospodářství pro dávkování peroxidu vodíku;
- vzduchotechnika pro odtah vzduchu z budovy.

4.2 POŽADAVKY NA OBSLUHU

Požadavky na obsluhu generátoru ozonu s příslušenstvím:

- denně kontrola průtoku pracovního plynu a tlaku kyslíku;
- denně kontrola funkčnosti destruktora ozonu, ventilátoru odtahu a čerpadla injektoru;
- denně kontrola funkčnosti detektoru ozonu;
- denně kontrola tlakové ztráty na filtru čerpadla injektoru, případně jeho čištění;
- denně kontrola funkce a naplnění U trubice a nádrže na pěnu;
- týdně proplach U trubice a nádrže na pěnu vodou;
- měsíčně kontrola stavu zařízení, kontrola těsnosti, kontrola koroze kovových částí;
- měsíčně kontrola případně výměna vzduchových filtrů ventilátorů;
- ročně kontrola kabeláže;
- ročně kompletní revize (elektro i technologická);
- ročně kalibrace detektorů ozonu v ovzduší i v pracovním plynu.

Požadavky na obsluhu ultrazvukového reaktoru:

- denně vizuální kontrola těsnosti;
- denně kontrola chodu ventilátorů;
- denně kontrola správné funkce generátoru;
- měsíčně kontrola případně výměna vzduchových filtrů ventilátorů;
- ročně kompletní revize (elektro i technologická).

4.3 ŽIVOTNOST

Životnost kontaktní a reakční nádrže by v reálné aplikaci byla na úrovni životnosti stavební části. Obě nádrže je možné vyrobit jako monolitické betonové konstrukce, které jsou odolné ozonu. Případnou nižší životnost je možné očekávat pouze u těsnění nádrží (těsnění dilatačních spár, prostupů apod.).

Doba životnosti generátoru ozonu jako celku je minimálně 15 let. Během této doby je mimo oprav nutné počítat s případnou výměnou výbojových trubic. V případě, že se k chlazení generátoru nepoužije uzavřený chladicí okruh (např. tepelné čerpadlo s chladicím médiem inertním vůči generátoru ozonu), ale otevřený chladicí okruh využívající vodu, je možné snížení životnosti generátoru vlivem tvorby usazenin v chladicím plášti.

Životnost destruktora ozonu je při správném provozování srovnatelná s životností generátoru ozonu. Kratší životnosti je možné dosáhnout v případě, že společně s plynem do generátoru vstupují pevné částice (např. kal nebo pěna) a voda (mimo vlhkosti). Kal, pěnu ale i kapky vody je možné oddělit snížením rychlosti proudění např. umístěním nádrže na pěnu a kal před U trubici a dále vedením plynu z U trubice potrubím s dostatečným sklonem a velkým průřezovým profilem (případně uniklé kapky vodou nebudou plynem unášeny do destruktora, ale odtečou zpět do U trubice).

Životnost senzoru detektoru ozonu je přibližně jeden až dva roky. Preventivně je doporučeno senzor měnit každý rok (v závislosti na konkrétním výrobcu). Životnost analyzátoru plynu je dána životností UV výbojky, která se používá k měření. Při nepřetržitém provozu analyzátoru je interval její výměny přibližně jednou za dva roky.

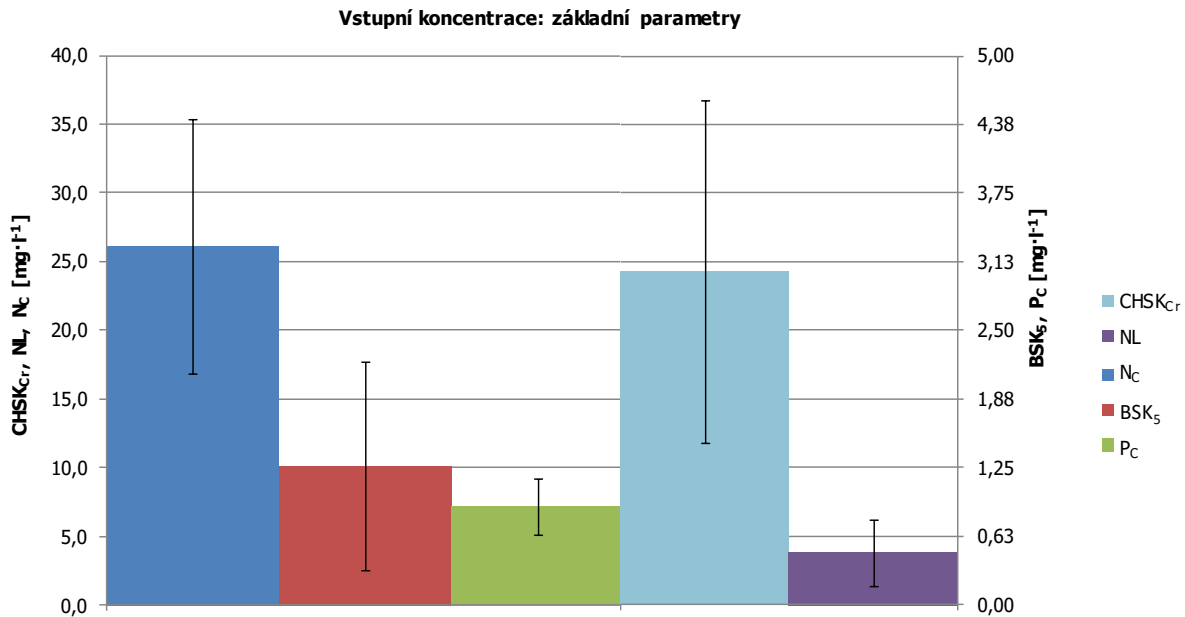
Životnost ultrazvukového reaktoru je srovnatelná s životností generátoru ozonu. U ultrazvukového reaktoru je možné předpokládat, že v průběhu jeho životnosti nebudou nutné jiné výdaje, než na jeho provoz (spotřeba elektřiny), pravidelné revize a běžnou údržbu generátoru ultrazvuku (rozvaděče).

Životnosti ostatních částí pilotní jednotky (např. čerpadla, rozvadeče, armatury, atd.) a nároky na jejich údržbu jsou běžné pro daný druh zařízení. Výjimkou mohou být materiály ve styku s ozonem (plynným, nebo rozpuštěným ve vodě). Během provozu pilotní jednotky sonolýzy ozonu bylo totiž zjištěno, že některé materiály vykazují zkrácenou životnost i přes to, že jejich výrobce deklaruje plnou odolnost vůči ozonu.

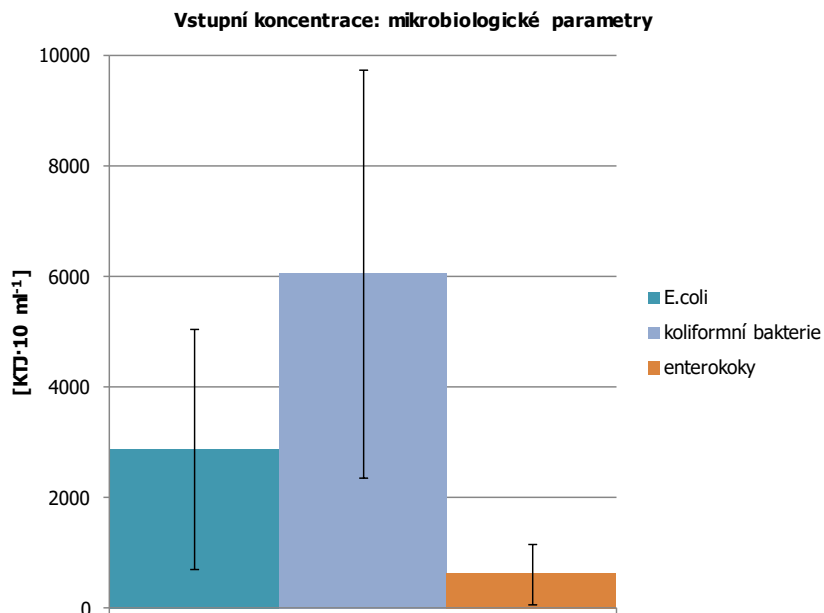
5. ÚČINNOSTI ODSTRANĚNÍ SLEDOVANÉHO ZNEČIŠTĚNÍ

5.1 VSTUPNÍ KONCENTRACE SLEDOVANÉHO ZNEČIŠTĚNÍ

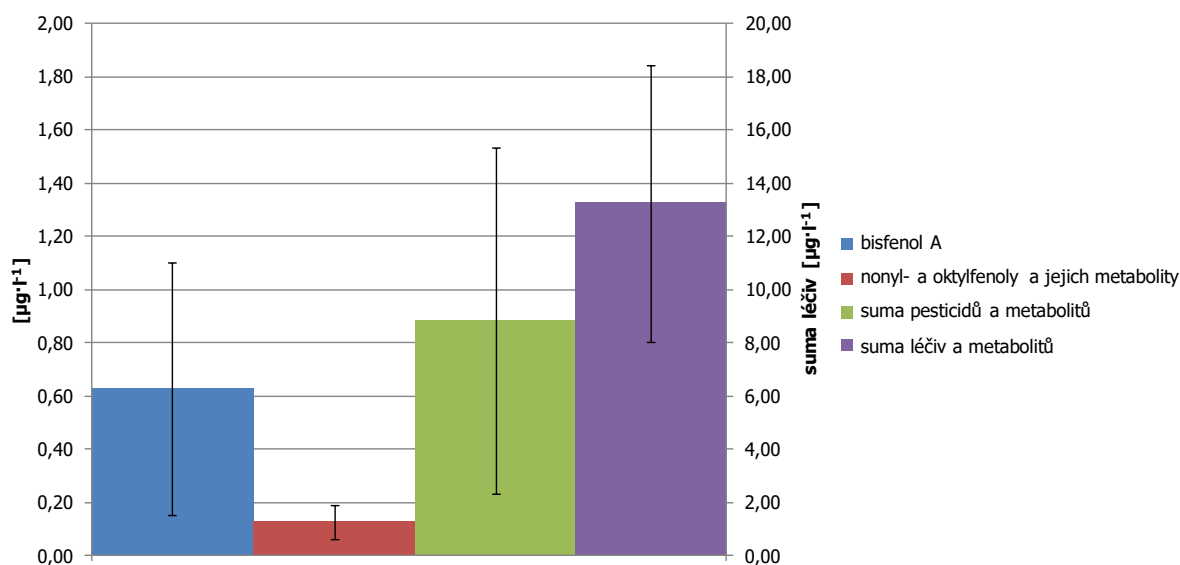
Na obr. 2 až obr. 4 jsou zobrazeny průměrné vstupní koncentrace všech sledovaných ukazatelů (viz výše). Grafy jsou dále doplněny chybovými úsečkami znázorňující variabilitu (směrodatnou odchylku) těchto hodnot v průběhu testování.



obr. 2 Vstupní koncentrace základních parametrů na pilotní jednotce B2



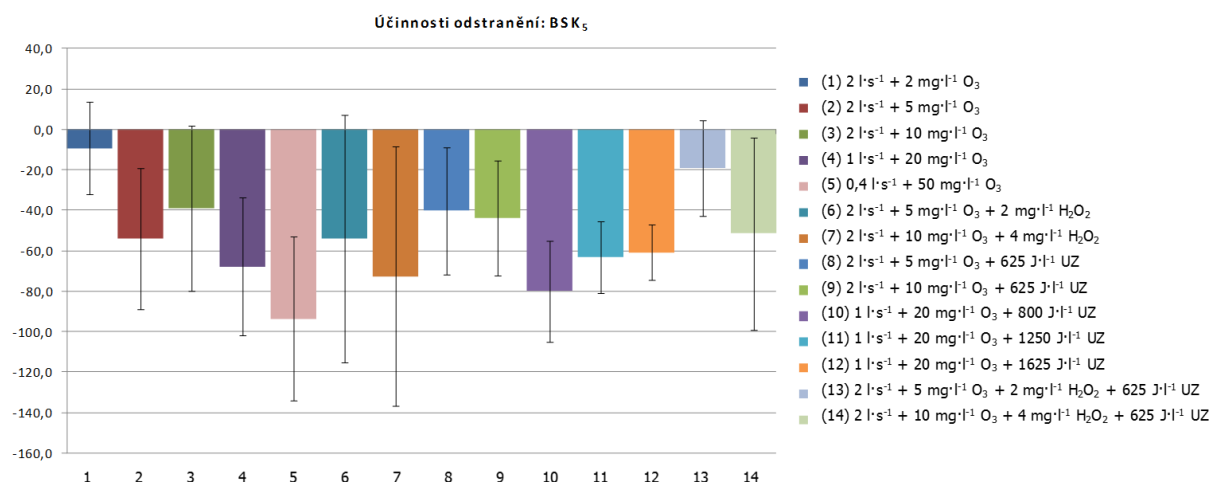
obr. 3 Vstupní koncentrace mikrobiálních parametrů na pilotní jednotce B2



obr. 4 Vstupní koncentrace sledovaného chemického znečištění, pesticidů a léčiv na pilotní jednotce B2

5.2 ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ

Účinnosti odstranění BSK₅ (viz obr. 5) jsou ve všech případech záporné, tzn. na výstupu pilotní jednotky je BSK₅ vyšší než na vstupu do pilotní jednotky. Záporné účinnosti odstranění jsou způsobeny oxidací CHSK_{Cr}, jejíž produkty jsou biologicky rozložitelné. Ve všech provozních stavech tedy dochází ke zvyšování biologické rozložitelnosti odpadní vody (tzn. zvýšení poměru BSK₅/CHSK_{Cr}). Průměrný nárůst koncentrací BSK₅ se pohyboval mezi 9 % (provozní stav „2 l·s⁻¹ + 2 mg·l⁻¹ O₃“) a 94 % (provozní stav „0,4 l·s⁻¹ + 50 mg·l⁻¹ O₃“). Směrodatné odchylky jsou ve většině provozních stavů poměrně velké, tzn. míra nárůstu BSK₅ je nestabilní.

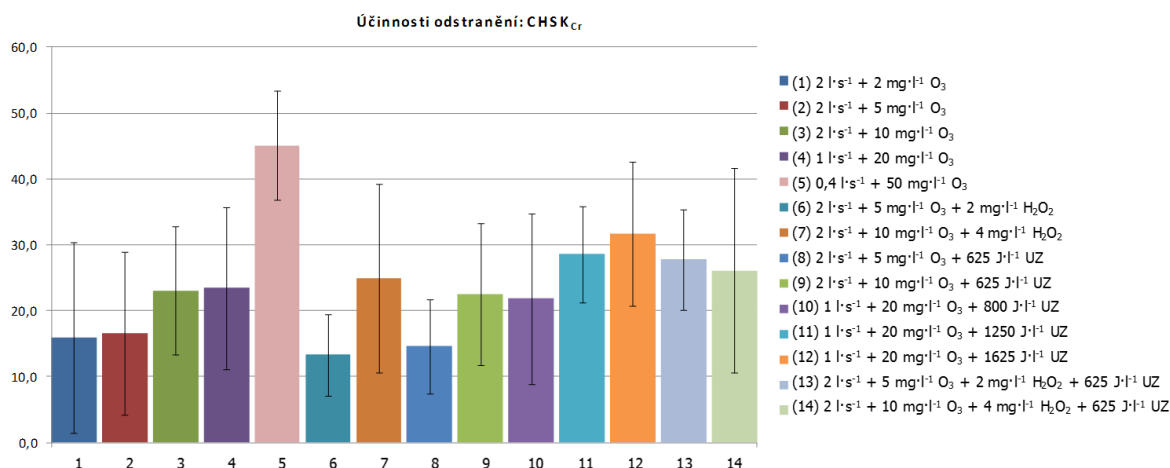


obr. 5 Účinnosti odstranění BSK₅ na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech

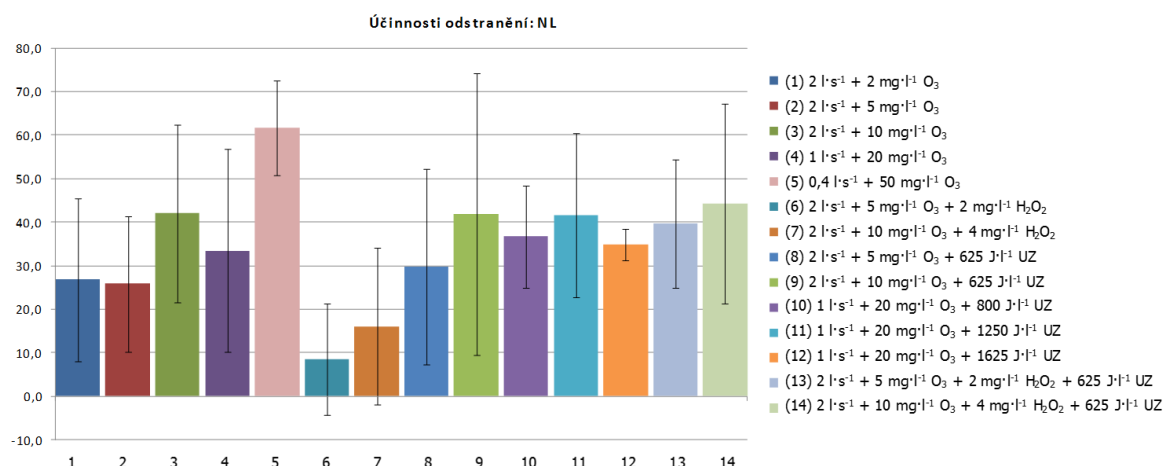
Účinnosti odstranění CHSK_{Cr} (viz obr. 6) se pohybují mezi 13 % (provozní stav „2 l·s⁻¹ + 5 mg·l⁻¹ O₃ + 2 mg·l⁻¹ H₂O₂“) a 45 % (provozní stav „0,4 l·s⁻¹ + 50 mg·l⁻¹ O₃“).

Dosažené účinnosti odstranění nerozpuštěných látek (viz obr. 7) jsou vysoké vzhledem k tomu, že v pilotní jednotce nedochází na rozdíl od pilotní jednotky mikrosíťové filtrace

k mechanické filtraci (pro srovnání viz zpráva C1d1). Hodnoty účinností se pohybují mezi 9 % (provozní stav „2 l·s⁻¹ + 5 mg·l⁻¹ O₃ + 2 mg·l⁻¹ H₂O₂“) a 62 % (provozní stav „0,4 l·s⁻¹ + 50 mg·l⁻¹ O₃“). Vyšších účinností odstranění bylo dosahováno při vyšších dávkách ozonu. Dávkováním peroxidu vodíku k ozonu naopak došlo ke snížení odstraňování nerozpuštěných látek. Malý pozitivní přínos z hlediska odstraňování nerozpuštěných látek má i přidavek ultrazvuku, tzn. sonolyza ozonu.

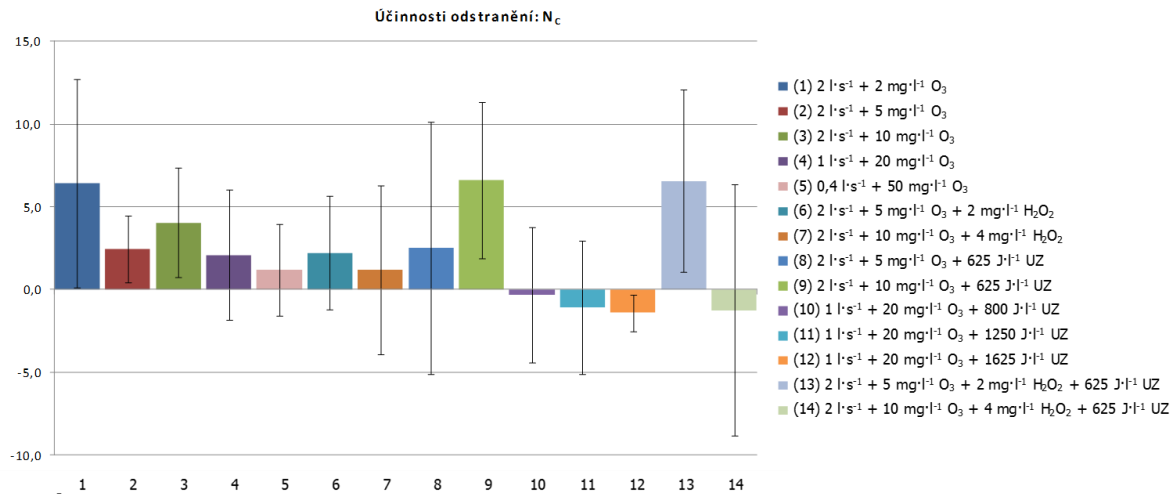


obr. 6 Účinnosti odstranění CHSK_{Cr} na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech

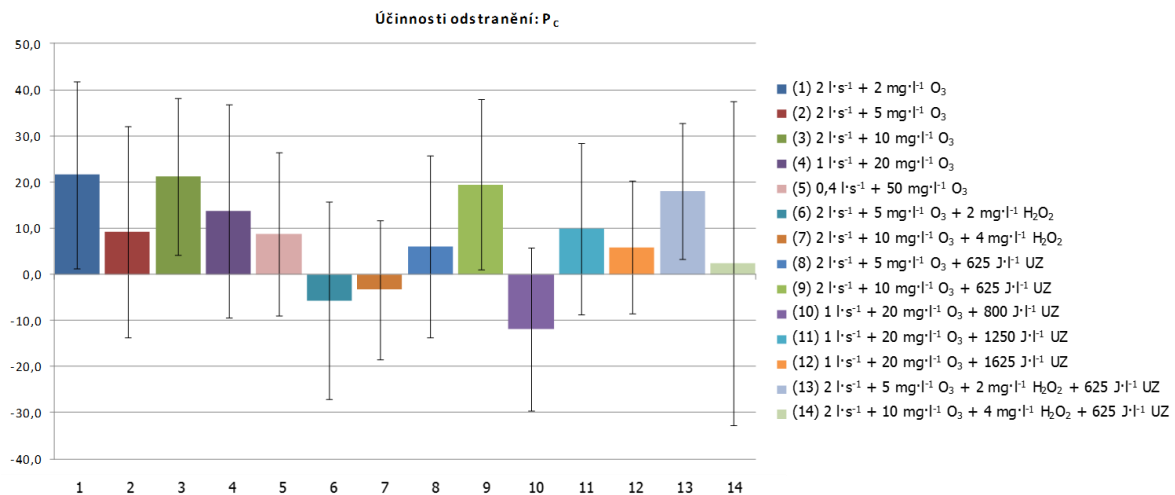


obr. 7 Účinnosti odstranění NL na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech

Účinnosti odstranění celkového dusíku (viz obr. 8) a celkového fosforu (viz obr. 9) jsou ve všech provozních stavech blízké nule. Je to dáno tím, že celkový dusík a fosfor není možné odstranit oxidací.



obr. 8 Účinnosti odstranění Nc na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech



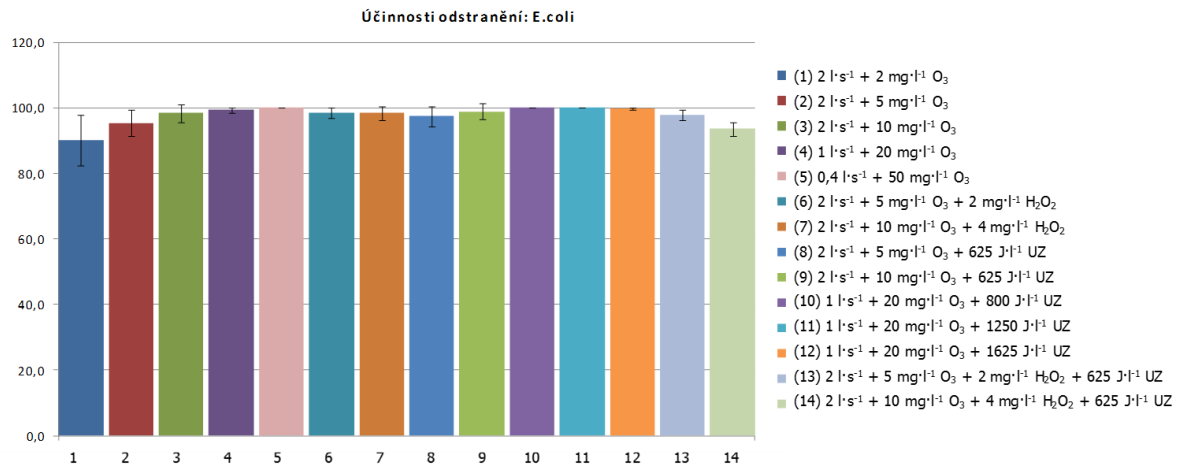
obr. 9 Účinnosti odstranění Pc na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech

5.3 ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ MIKROBIÁLNÍHO ZNEČIŠTĚNÍ

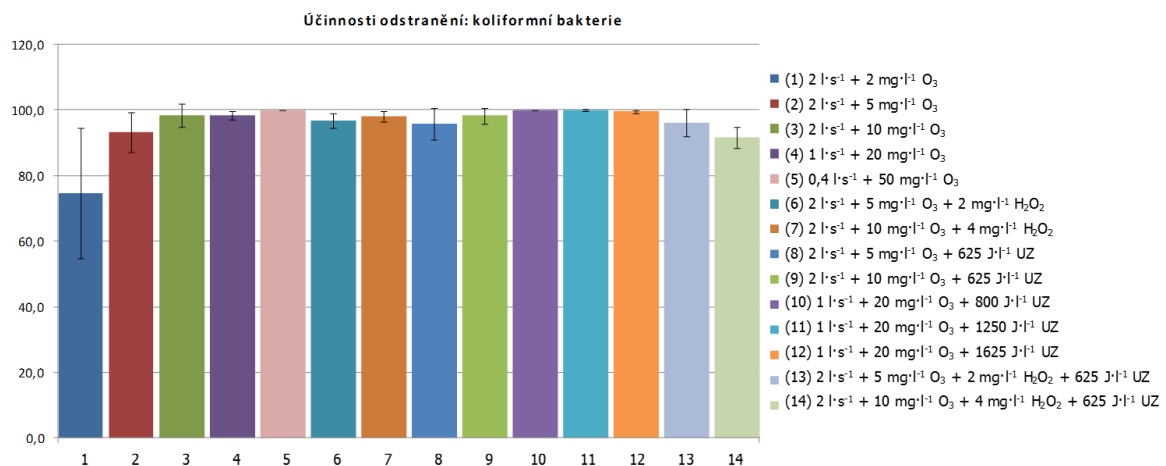
Účinnosti odstranění *Escherichia coli* (viz obr. 10) jsou ve všech provozních stavech vysoké a ve většině provozních stavů průměry přesahují 95 %. V provozním stavu „0,4 l·s⁻¹ + 50 mg·l⁻¹ O₃“ byly počty kolonií *E. coli* ve všech odebraných vzorcích rovny nule. Stejných výsledků bylo dosaženo i u většiny vzorků v provozních stavech „1 l·s⁻¹ + 20 mg·l⁻¹ O₃ + 800 J·l⁻¹ UZ“ a „1 l·s⁻¹ + 20 mg·l⁻¹ O₃ + 1250 J·l⁻¹ UZ“. Sonolýza ozonu je tedy k odstraňování *E. coli* vhodnější než samotná ozonizace. Totéž platí i pro kombinaci ozonu s peroxidem vodíku, např. v provozním stavu „2 l·s⁻¹ + 5 mg·l⁻¹ O₃“ bylo dosaženo průměrného odstranění 95,4 %, kdežto v provozním stavu „2 l·s⁻¹ + 5 mg·l⁻¹ O₃ + 2 mg·l⁻¹ H₂O₂“ bylo dosaženo průměrného odstranění 98,4 %.

Účinnosti odstranění koliformních bakterií (viz obr. 11) jsou podobné jako účinnosti odstranění *Escherichia coli*, pouze jsou o několik procent nižší. Nejlepších výsledků bylo dosaženo opět v provozním stavu „0,4 l·s⁻¹ + 50 mg·l⁻¹ O₃“ (ve všech vzorcích účinnost odstranění 100 % a odtokové koncentrace 0 KTJ/10 ml). Dále bylo výborných výsledků dosaženo při kombinaci nižší dávky ozonu s ultrazvukem (tzn. při sonolýze ozonu), provozní stavy „1 l·s⁻¹ + 20 mg·l⁻¹ O₃ + 800 J·l⁻¹ UZ“, „1 l·s⁻¹ + 20 mg·l⁻¹ O₃ + 1250 J·l⁻¹ UZ“, „1 l·s⁻¹ + 20 mg·l⁻¹ O₃ + 1630 J·l⁻¹ UZ“, účinnost odstranění 100 %, 99,9 %, respektive 99,5 %.

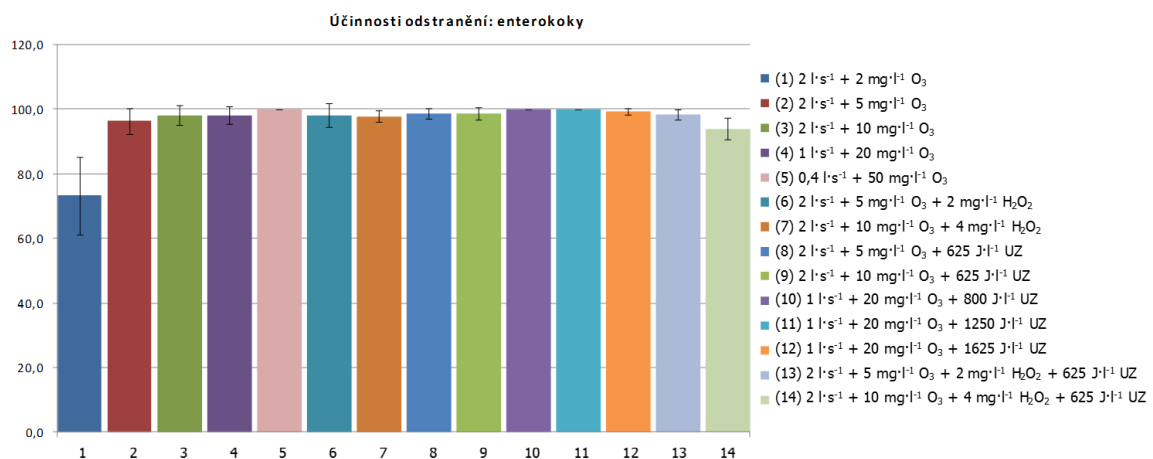
Podobně jako u odstraňování *Escherichia coli* bylo při dávkování peroxidu vodíku i sonolýze ozonu dosaženo vyšších účinností odstranění ve srovnání se samotnou ozonizací. U odstraňování koliformních bakterií i *E. coli* je efektivnější sonolýza ve srovnání s přidavkem peroxidu vodíku.



obr. 10 Účinnosti odstranění *E. coli* na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech



obr. 11 Účinnosti odstranění koliformních bakterií na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech

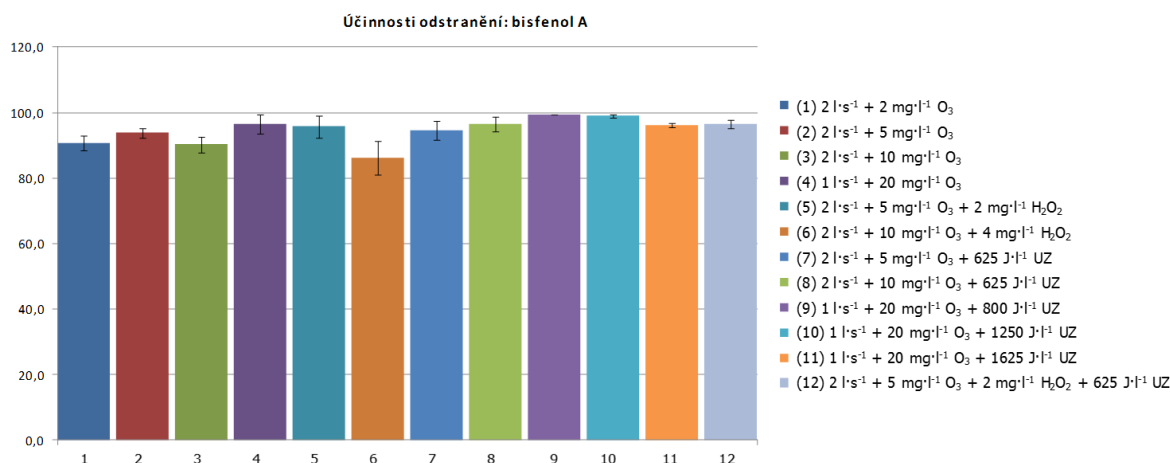


obr. 12 Účinnosti odstranění enterokoků na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech

Účinnosti odstranění enterokoků (viz obr. 12) jsou srovnatelné s účinnostmi odstranění koliformních bakterií. Pro výsledky platí totéž, co pro účinnosti odstranění koliformních bakterií (tzn. nejvýhodnější je sonolýza ozonu, nejvyšších účinností odstranění bylo dosaženo v provozním stavu „0,4 l·s⁻¹ + 50 mg·l⁻¹ O₃“ a při sonolýze ozonu o dávce 20 mg·l⁻¹ O₃.

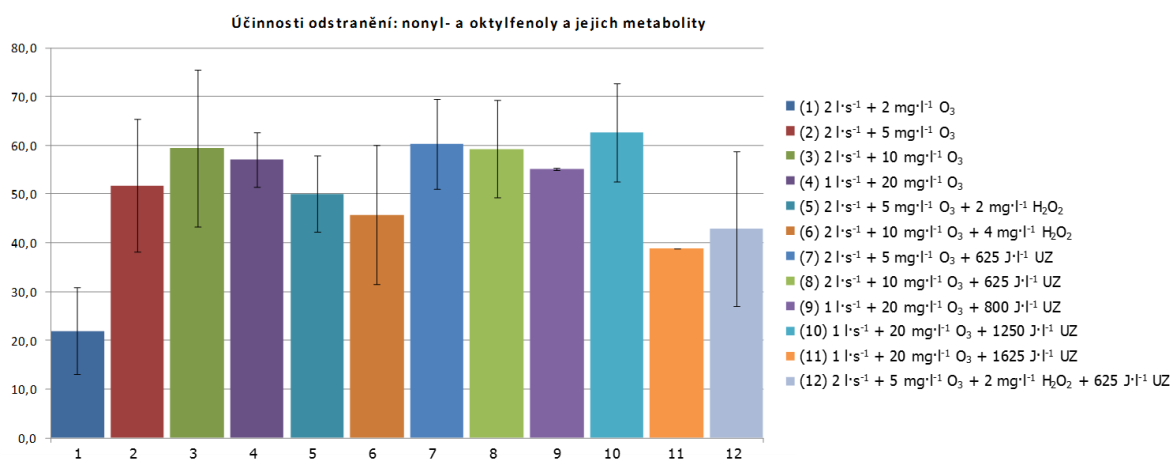
5.4 ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ SLEDOVANÉHO CHEMICKÉHO ZNEČIŠTĚNÍ, PESTICIDŮ A LÉČIV

Účinnosti odstranění bisfenolu A (viz obr. 13) jsou velmi vysoké i při malých dávkách ozonu a mají malý rozptyl. Např. v provozním stavu „2 l·s⁻¹ + 2 mg·l⁻¹ O₃“ byla průměrná účinnost odstranění 90,7 %. Nejvyšších účinností odstranění bylo dosaženo při sonolýze ozonu. V provozním stavu „1 l·s⁻¹ + 20 mg·l⁻¹ O₃ + 800 J·l⁻¹ UZ“ a „1 l·s⁻¹ + 20 mg·l⁻¹ O₃ + 1250 J·l⁻¹ UZ“ byly koncentrace bisfenolu A pod mezí detekce.



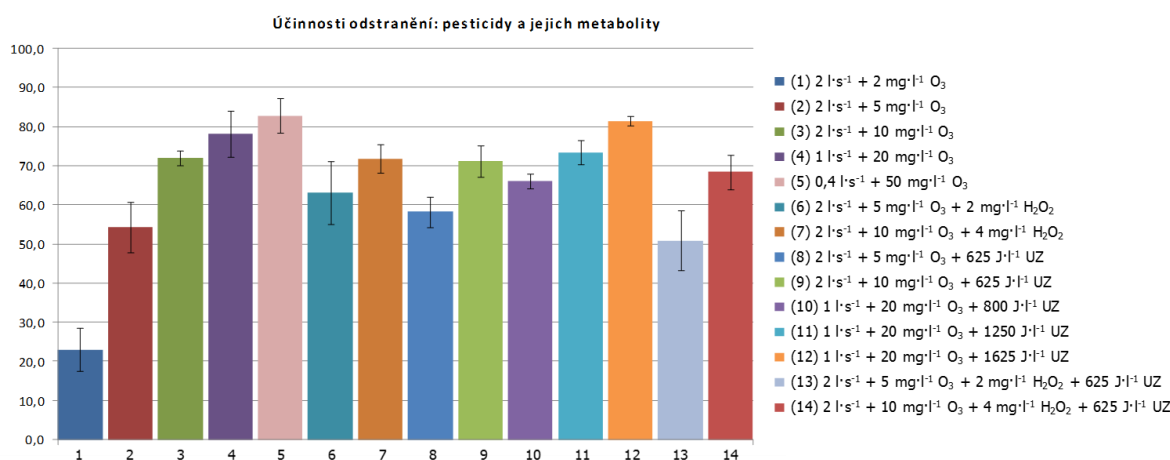
obr. 13 Účinnosti odstranění bisfenolu A na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech

Kvantifikované účinnosti odstranění nonyl- a oktylfenolů a jejich metabolitů (viz obr. 14) jsou výrazně nižší, než účinnosti odstranění bisfenolu A. Důvodem je jednak jejich vyšší odolnost vůči oxidaci a dále jejich relativně nižší koncentrace ve srovnání s limity detekce. Při malé dávce ozonu v provozním stavu „2 l·s⁻¹ + 2 mg·l⁻¹ O₃“ jsou průměrné účinnosti odstranění pouze 22 %. Při vyšších dávkách ozonu se účinnosti odstranění pohybují mezi 39 % a 63 %. Přídavek peroxidu nemá na odstranění látek z této skupiny pozitivní vliv. Naopak sonolýza ozonu vykazuje dobré výsledky.



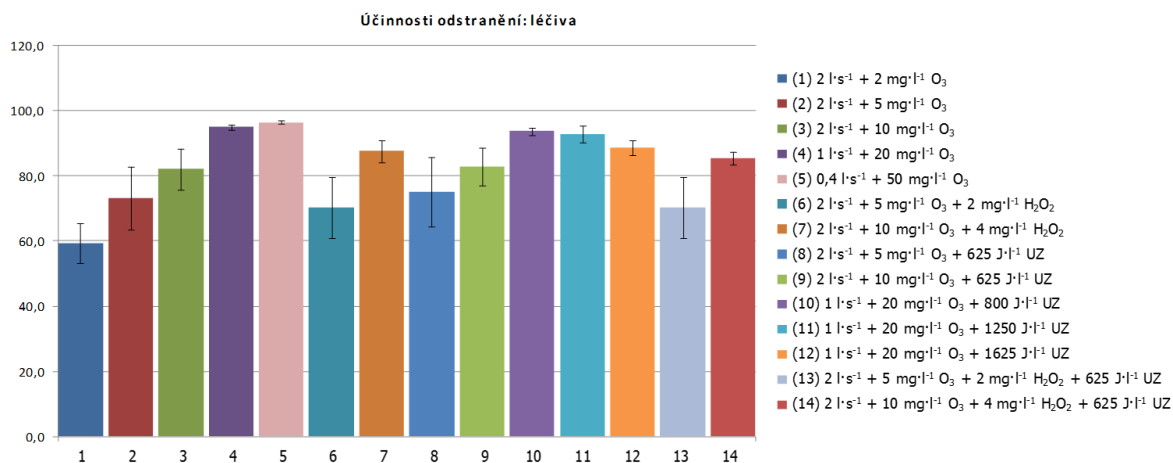
obr. 14 Účinnosti odstranění nonyl- a oktylfenolů a jejich metabolitů na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech

Účinnosti odstranění sledovaných pesticidů včetně jejich metabolitů (viz obr. 15) se zvyšují s rostoucí dávkou ozonu. Přídavek peroxidu má malý pozitivní vliv. Např. při provozním stavu „2 l·s⁻¹ + 5 mg·l⁻¹ O₃ + 2 mg·l⁻¹ H₂O₂“ bylo dosaženo průměrné účinnosti odstranění pesticidů a jejich metabolitů 63,1 %, kdežto u provozního stavu „2 l·s⁻¹ + 5 mg·l⁻¹ O₃“ bylo dosaženo odstranění pouze 54,4 %. Rovněž sonolyza ozonu má malý pozitivní vliv. Např. při provozním stavu „2 l·s⁻¹ + 5 mg·l⁻¹ O₃ + 1250 J·l⁻¹ UZ“ bylo dosaženo průměrné účinnosti odstranění pesticidů a jejich metabolitů 58,3 %, kdežto u provozního stavu „2 l·s⁻¹ + 5 mg·l⁻¹ O₃“ bylo dosaženo odstranění pouze 54,4 %.



obr. 15 Účinnosti odstranění pesticidů a jejich metabolitů na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech

Účinnosti odstranění sumy sledovaných léčiv (viz obr. 16) jsou výrazně nižší ve srovnání s účinnostmi odstranění samotného diklofenaku, karbamazepinu nebo naproxenu. Nejvíce se na tomto snížení podílí rentgenové kontrastní látky (iohexol, iomeprol, iopamidol a iopromid), které jsou těžko rozložitelné a na vstupu do pilotní jednotky tvoří průměrně cca 36 % hm. ze všech sledovaných léčiv. V případě samotné ozonizace jsou účinnosti odstranění léčiv od 59,4 % do 96,5 % pro dávky ozonu od 2 mg·l⁻¹ O₃ do 50 mg·l⁻¹ O₃. Sonolyza ozonu, ani kombinace ozonu s peroxidem vodíku nemají na účinnosti celkových léčiv výrazný pozitivní vliv.



obr. 16 Účinnosti odstranění léčiv na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech

6. ZÁVĚR

Pilotní jednotka sonolýzy ozonu je schopna odstraňovat mikrobiologické znečištění jak do úrovně kvality vody užitkové (tzn. 200 KTJ·100 ml⁻¹), tak i na úroveň vody pitné (tzn. 0 KTJ·100 ml⁻¹). V mnoha provozních stavech bylo dosaženo kvality vody užitkové pouze v některých vzorcích, přičemž v jiných vzorcích byly koncentrace mikrobiálního znečištění výrazně vyšší. Tato nestabilita se projevovala v mnoha provozních stavech a není závislá na mikrobiálním znečištění na přítoku. V reálné aplikaci by tedy bylo v případě požadavku na čištění na kvalitu užitkové vody nutné navýšit dávky ozonu, čímž už by bylo s největší pravděpodobností dosahováno 0 KTJ·100 ml⁻¹. Chemické znečištění tato pilotní jednotka odstraňuje ve velké míře (v závislosti na dávce ozonu). Průmyslové látky tato pilotní jednotka odstraňuje v závislosti na dávce ozonu až pod mez detekce. Totéž platí i pro většinu léčiv (výjimkou jsou rentgenové kontrastní látky, kofein nebo další látky, které se na vstupu do pilotní jednotky nacházely ve výrazně vyšších koncentracích). U sledovaných pesticidů a jejich metabolitů lze dosáhnout podobného výsledku, výjimkou jsou pouze metabolity atrazinu, které není možné odstranit ani při nejvyšších testovaných dávkách ozonu. Základní parametry jsou ovlivněny pouze v parametru BSK₅, kde dochází k poměrně velkému navýšení (až na dvojnásobek), dále CHSK_{Cr}, kde dochází k malému snížení a nakonec v parametru nerozpuštěné látky, kde dochází k poklesu až na polovinu.

Celkové jednotkové ceny za vyčištěný 1 m³ odpadní vody se za předpokladu čerpání odpadní vody čerpadlem a vytvoření malého přetlaku v reakční nádrži (dopravní výška cca 7 m), použití generátoru ozonu odpovídající velikosti testovaného generátoru ozonu při uvažovaném výkonu 75 % a stejné spotřebě energií a chemikálií jako při testování pohybuje v závislosti na provozním stavu mezi 1,40 Kč·m⁻³ a 26,28 Kč·m⁻³.

Tato zpráva je souhrnem výstupů C2d1, C2d2 a C2d3 projektu LIFE2Water (LIFE13 ENV/CZ/000475, Ověření a vyhodnocení technologií pro terciární dočištění komunálních odpadních vod). Ve zprávě je vyhodnoceno roční testování pilotní jednotky mikrosíťové 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 sonolýzy ozonu.....	2
obr. 2 Vstupní koncentrace základních parametrů na pilotní jednotce B2.....	8
obr. 3 Vstupní koncentrace mikrobiálních parametrů na pilotní jednotce B2.....	8
obr. 4 Vstupní koncentrace sledovaného chemického znečištění, pesticidů a léčiv na pilotní jednotce B2	9
obr. 5 Účinnosti odstranění BSK ₅ na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech	9
obr. 6 Účinnosti odstranění CHSK _{Cr} na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech ..	10
obr. 7 Účinnosti odstranění NL na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech	10
obr. 8 Účinnosti odstranění N _C na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech.....	11
obr. 9 Účinnosti odstranění P _C na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech	11
obr. 10 Účinnosti odstranění E.coli na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech...	12
obr. 11 Účinnosti odstranění koliformních bakterií na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech.....	12
obr. 12 Účinnosti odstranění enterokoků na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech	12
obr. 13 Účinnosti odstranění bisfenolu A na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech	13
obr. 14 Účinnosti odstranění nonyl- a oktylfenolů a jejich metabolitů na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech.....	14
obr. 15 Účinnosti odstranění pesticidů a jejich metabolitů na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech.....	14
obr. 16 Účinnosti odstranění léčiv na pilotní jednotce B2 při různých provozních stavech	15