

dárske účely fyzikálno-chemickými metódami. Diplomová práca (2023).

- [15] Nariadenie vlády SR č. 269/2010 Z.z, ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd (2010); upravená verzia z 15.11.2022 (2022).
- [16] Olejníková P., et al.: Laboratorné cvičenia z mikrobiológie. Bratislava: Nakladateľstvo STU (2015). ISBN 978-80-227-4457-2.
- [17] STN EN ISO 9308-1/A1: Kvalita vody. Stanovenie *Escherichia coli* a koliformných baktérií. Časť 1: Metóda membránovej filtrácie na stanovenie vo vodách s nízkou koncentráciou sprievodnej bakteriálnej mikroflóry. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR (2017).

Ing. Ines Vavrová (autorka pre korešpondenciu)  
Ing. Tomáš Lukáč  
Ing. Zuzana Imreová, PhD.  
prof. Ing. Igor Bodík, PhD.  
prof. Ing. Miloslav Drtil, PhD.  
Oddelenie environmentálneho inžinierstva  
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie  
STU v Bratislave  
Radlinského 9  
812 37 Bratislava  
ines.vavrova@stuba.sk

*Disinfection of treated wastewater from individual wastewater treatment systems (Vavrová, I.; Lukáč, T.; Bodík, I.; Drtil, M.)*

## Odstraňování mikropolutantů z nemocničních odpadních vod

Zuzana Sýkorová, Petr Sýkora, Robert Kvaček,  
Monika Heřmáňková, Michal Cypris, František Robek,  
Radek Kaláb

### Abstrakt

Případová studie popisuje instalaci pilotní technologie na dočištění nemocničních odpadních vod (OV) pomocí ozonizace a sorpce na granulovaném aktivním uhlí (GAU). Pilotní jednotka byla uvedena do provozu na čistírně odpadních vod Fakultní Thomayerovy nemocnice v Praze (ČOV FTN) v dubnu 2024. Jedná se o první realizaci technologie pro dočištění nemocničních odpadních vod v ČR. Financování projektu bylo podpořeno Státním fondem životního prostředí ČR (SFŽP) z Fondů EHP a Norska. Hlavním cílem projektu je snížit koncentrace léčiv mezi vstupem a výstupem z nemocniční ČOV minimálně o 90 %. Stávající ČOV má kapacitu 1 500 EO (ekvivalentních obyvatel), nátok obsahuje v neznámém poměru infekční a neinfekční nemocniční odpadní vody s vysokým obsahem buničiny. Průměrný denní přítok odpadních vod na ČOV je 200 m<sup>3</sup>/d s výrazně proměnlivými hodinovými nátoky během dne. Instalovaná pilotní jednotka na separaci léčiv byla navržena na výkon 5–10 m<sup>3</sup>/h. Pokud je nátok ČOV vyšší než 10 m<sup>3</sup>/h, je OV přesahující tento limit tak jako dosud hygienizována chlornanem sodným a odvedena do městské kanalizace. Pilotní technologie zahrnuje mikrosíto (velikost ok 10 μm), ozonizační jednotku (produkce ozonu až 210 g/h), celek filtrace přes GAU (2 filtry o kapacitě a = 5 m<sup>3</sup>/h naplněné granulovaným aktivním uhlím Filtrasorb 400). Vyčištěná odpadní voda je po průchodu pilotní jednotkou využívána částečně jako servisní voda v rámci ČOV, zbytek vyčištěné vody je po chloraci veden do městské kanalizace. Aktuálně je sledována účinnost odstraňování léčiv s výhledem intenzivnějšího využívání vyčištěné OV v rámci areálu nemocnice (závlahy).

### Klíčová slova

kvartérní čištění OV – mikropolutanty – farmaka – léčiva – ozonizace – sorpce na GAU

### Key words

disinfection – domestic wastewater treatment plant and constructed wetland – reuse of wastewater – UV radiation

### Abstract

Due to the growing problem of water shortages and increasing demands for resource protection, the efficient use of treated wastewater is becoming more and more important. The presented contribution deals with the issue of wastewater disinfection from small sources of pollution in individual wastewater treatment systems using UV radiation with the aim of reusing this water for irrigation. UV radiation, as a non-chemical method of disinfection, proves to be an effective and ecological alternative for the removal of microorganisms found in wastewater. The paper analyzes the main parameters of UV disinfection, such as intensity and exposure time for various samples of biologically treated wastewater from domestic wastewater treatment plants and constructed wetland, while the source of radiation was a UV lamp in a non-contact process, i.e. lamp placed above the water surface. For the required disinfection of biologically treated water from the domestic wastewater treatment plant, radiation was needed in tens of seconds. Lower radiation times were required for water from the constructed wetland, while disinfection was not even necessary for some irrigation water quality classes.

### Úvod

Odpadní vody z nemocnic, domovů pro seniory, zdravotnických a sociálních zařízení jsou významným zdrojem mikropolutantů (léčiv, antibiotik, hormonů a jejich metabolitů), které se kanalizací přes městské ČOV dostávají do povrchových i podzemních vod. Mikropolutanty jsou stávajícími mechanicko-biologickými ČOV odstraňovány pouze částečně. Tím dochází k narušování biologických pochodů a vzniku antibiotické rezistence v životním prostředí. Z toho důvodu je důležité léčivům v odpadních vodách věnovat pozornost, i když dosud nepatří mezi sledované ani zpoplatněné ukazatele při čištění městských OV. Pokud chceme efektivně snížit pronikání farmak do životního prostředí, je smysluplné instalovat specifické technologie přímo u zdroje znečištění, tj. na odtoku z nemocničních a sociálních zařízení. Jednu takovou technologii, prvního svého druhu v Česku, vám představíme v následujících řádcích.

### Stav ČOV FTN před realizací projektu

Stávající ČOV FTN má kapacitu 1 500 EO. Průměrný denní přítok na ČOV je 200 m<sup>3</sup>/d, maximální okamžitý přítok na ČOV je cca 500 m<sup>3</sup>/d. Při silných deštích byla veškerá přítékající voda na ČOV nad max. limit svedena do obtokového kanálu a následně do městské kanalizace. Tento stav nastává cca 10x za rok. Mechanicky předčištěná odpadní voda natéká gravitačně na sekundární biologický stupeň tvořený aktivačními nádržemi o objemu 2 x 150 m<sup>3</sup> (AN), dosazovací nádrží o objemu 380 m<sup>3</sup> (DN) a recyklací kalu z DN do AN. Dodávka vzduchu pro aeraci je dodávána dmychadly. Přebytkový kal je odčerpáván do stávající kalové nádrže (KN) o objemu 13 m<sup>3</sup>. Vyčištěná odpadní voda po hygienizaci (dávkování roztoku NaClO) odtéká přes měrný objekt (Parshallův žlab) do městské kanalizace.

Odpadní vody natékající na ČOV FTN, jejichž parametry jsou uvedeny v tab. 1, jsou tvořeny těmito proudy v neznámém poměru:

- infekční nemocniční odpadní vody;
- neinfekční nemocniční odpadní vody;

Tab. 1. Složení/Parametry vstupní vody (přítok na ČOV FTN)

| Parametr            | Jednotka          | Průměr  | Maximum |
|---------------------|-------------------|---------|---------|
| Přítok              | m <sup>3</sup> /d | 200     | 500     |
|                     | m <sup>3</sup> /h | 8,3     | -       |
| CHS <sub>KC</sub> r | mg/l              | 551     | 1 300   |
| BSK <sub>5</sub>    | mg/l              | 186     | 360     |
| NL                  | mg/l              | 131     | 350     |
| N-NH <sub>4</sub>   | mg/l              | 27      | 64      |
| pH                  | -                 | 6,9–7,5 |         |

- odpadní vody z restauračních zařízení (předčištěny vlastními lapáky tuků);
- odpadní vody ze zubařských ordinací;
- dešťové odpadní vody.

### **Příprava projektu – Dotační výzva SFŽP ve spolupráci s Norskými fondy**

Hlavním cílem prezentované případové studie bylo doplnění stávající technologie ČOV FTN o jednotku na dočištění odpadní vody s ambicí snížit koncentrace léčiv mezi vstupem a výstupem z nemocniční ČOV minimálně o 90 %. Nová technologická jednotka byla projektována jako pilotní na průměrný denní průtok s možností odstavení z provozu bez negativních vlivů na dosavadní kvalitu vypouštěných OV. Projekt byl finančně podpořen SFŽP ČR z programu „Životní prostředí, ekosystémy a změna klimatu“ financovaného z Norských fondů 2014–2021.

#### **Údaje o projektu**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Zadatel:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Pražské vodovody a kanalizace, a.s.    |
| Partner:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Fakultní Thomayerova nemocnice         |
| Dodavatel technologie:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | MEGA a.s., divize vodního hospodářství |
| Výše dotace:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 23 099 715 Kč                          |
| Délka realizace projektu:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 28 měsíců (01/22–04/24)                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 03/22–09/23 příprava zadávací dokumentace (ZD) podle zákona č. 134/2016 Sb., o zadávání veřejných zakázek, pro výběrové řízení na dodavatele technologie;</li> <li>• 09/23–11/23 veřejné výběrové řízení na dodavatele technologie podle ZD, evidenční číslo veřejné zakázky Z2023-040389;</li> <li>• 11/23–04/24 dodání a instalace technologie dle ZD.</li> </ul> |                                        |

### **Realizace a instalace pilotní technologie pro efektivní odstraňování léčiv z OV**

Realizace technologie zahrnovala vypracování realizační dokumentace, dodávku, instalaci a zprovoznění všech technologických celků v souladu se ZD, včetně armatur, měření, regulace a řídicího systému. Dodavatel technologie neřešil žádné stavební úpravy v jednotlivých objektech ani mimo ně. Všechny potřebné stavební úpravy byly zajišťovány objednatelům díla.

#### **Dodané technologické celky**

1. Hygienizace (chlorace) obtoku ČOV;
2. Doplnění mechanického předčištění vstupní OV na ČOV (předfiltrace);
3. Pilotní technologie odstraňování mikropolutantů;
  - 3a) předúprava – mikrosíto, optimalizace nátoků na ozonizaci;
  - 3b) ozonizační jednotka;
  - 3c) GAU filtrace.

Nově dodané technologické celky pracují po ručním nastavení v automatizovaném režimu. Všechny dodané technologické celky jsou napojeny na nový řídicí systém (ŘS) Siemens PLC s vizualizací TOMPACK/ProjectSoft. Nový ŘS pracuje paralelně se stávajícím ŘS Fiedler. Ovládání nového ŘS je umožněno přes počítač a monitor umístěné na velině v hale ČOV nebo přes sdílený vzdálený přístup. Systém dokáže řídit chod ČOV i v případě výpadku vizualizace na monitoru.

#### **Hygienizace obtoku ČOV**

Cílem nově instalované technologie je zajištění hygienizace obtoku ČOV při překročení max. kapacity ČOV. Odpadní vody v obtoku ČOV nebyly dosud před vstupem do městské kanalizace hygienizovány. Navrženo bylo jednoduché zajištění chlorace odlehčených OV do kanalizace. Na odlehčovacím kanále před kompresorovnou bylo umístěno měření hladiny radarem. Při výskytu „více než malého průtoku vody v odlehčovacím kanálu“ definovaného jako pevně nastavená hodnota dle výšky hladiny v kanálu (15 mm), se zapne dávkování 12% chlornanu sodného ( $\text{NaClO}$ ) s intenzitou 6 l/h do doby, než hladina v obtokovém kanálu opět klesne pod stanovenou hodnotu (10 mm) nebo do vyčerpání roztoku chlornanu. V objektu kompresorovny byla umístěna 200 l zásobní nádrž na 12%  $\text{NaClO}$  s dávkovacím čerpadlem, plná zásoba chlornanu vystačí na 33 h provozu. Technologický celek hygienizace je monitorován a řízen přes ŘS na velině.

#### **Doplnění mechanického předčištění**

Cílem doplnění mechanického předčištění je zvýšení účinnosti odstraňování nerozpuštěných látek z nátoků ČOV, zejména zvýšení účinnosti odstraňování vláken buničiny, která zbytečně zatěžují

biologický stupeň ČOV a mají negativní vliv na provoz nově instalovaného celku ozonizace. Před budovou mechanického předčištění v nátokovém kanálu jsou umístěny česle (viz **obr. 1**). Voda z česlí je vedena potrubím zavedeným do suterénu budovy mechanického předčištění. Stávající potrubí vedoucí od česlí do lapáku písku bylo v suterénu mechanického předčištění přerušeno a mezi vstup a výstup byla vložena tříkomorová nádrž. Další část stávajícího potrubí zajišťuje funkci bypassu tříkomorové nádrže. Tato nádrž slouží k akumulaci vody čerpané na rotační válcové síto a zároveň, jako vedlejší efekt, odseparuje část písku z přitékající OV. Do největší, prostřední komory, která má šikmé dno, natéká potrubím (DN 200) odpadní voda předčištěná na česlích. Následně voda přes sníženou přelivnou hranu nateče do úzké boční komory, ve které je na podstavci umístěno ponorné čerpadlo s frekvenčním měničem o kapacitě 20 m<sup>3</sup>/h. Ponorné čerpadlo čerpá vodu nahoru do rotačního bubnového síta s kapacitou 55 m<sup>3</sup>/h, šířkou průlin 0,5 mm a integrovaným lisem shrabků. Voda je po průchodu bubnovým rotačním sítím svedena do suterénu do třetí komory nádrže, odkud gravitačně odtéká do stávajícího potrubí vedoucího do lapáku písku a za ním řazeného biologického stupně ČOV. Rotační válcové síto je umístěno na plošině nad tříkomorovou nádrží. Shrabky jsou zachytávány v plastovém kontejneru. Pro oplach bubnového síta je využívána vyčištěná OV (odtok z GAU), která je přiváděna z hlavní budovy ČOV do budovy mechanického předčištění nově položeným potrubím (viz **obr. 2a, 2b**).

### **Pilotní technologie odstraňování mikropolutantů**

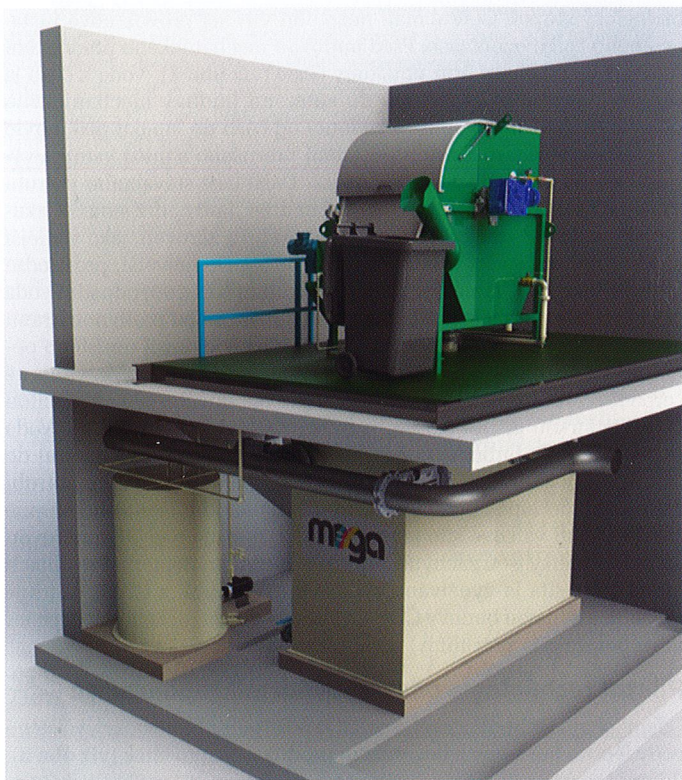
Cílem tohoto technologického celku je odstranit z biologicky vyčištěné vody léčiva, hormony a degradační produkty těchto látek (viz **obr. 3**). Pilotní technologii lze provozovat při průtoku 5–10 m<sup>3</sup>/h. Při nátoku nižším než 5 m<sup>3</sup>/h se technologie odstaví. Technologie odstraňování mikropolutantů nemá vliv na technologický proces stávající ČOV a může být kdykoliv odstavena bez negativních vlivů na dosavadní kvalitu vypouštěných OV.

Celek technologie odstraňování mikropolutantů obsahuje tyto jednotky:

- Akumulační nádrž pro biologicky vyčištěnou vodu z dosazovací nádrže realizovanou čtveřicí propojených válcových nádrží,  $V = 4 \times 2 \text{ m}^3$ ;
- Mikrosíťový bubnový filtr, velikost ok 10  $\mu\text{m}$ ;
- Čerpací nádrž pro ozonizaci,  $V = 2 \text{ m}^3$ ;
- Vymírací nerezovou nádrž,  $V = 5 \text{ m}^3$ ;
- Ozonizační jednotku, produkce ozonu až 210 g/h;



**Obr. 1. Prítok nemocničních OV na ČOV FTN**



Obr. 2a. 3D model instalace technologie v budově mechanického předčištění

- Filtraci přes GAU, 2 ks filtrů s náplní Filtrasorb 400, 1,25 m<sup>3</sup> v každém filtru;
- Nádrž prací vody, V = 8 m<sup>3</sup>.

#### Akumulace vody z dosazovací nádrže

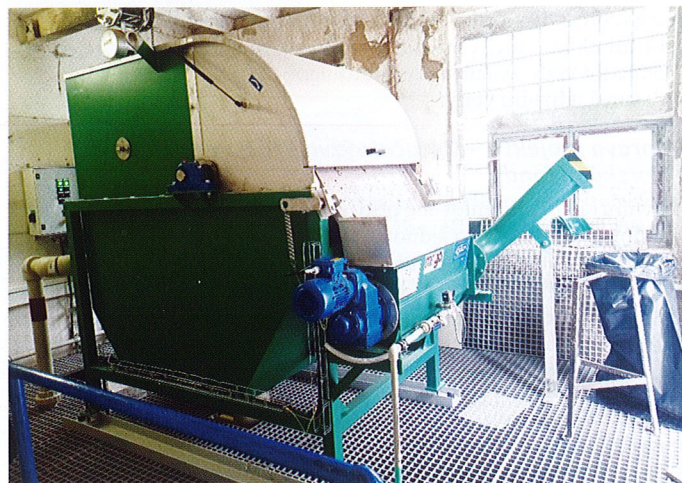
Účelem akumulace vody je snížení vlivu nerovnoměrnosti nátoky OV na chod pilotní technologie. V projektu bylo uvažováno s vybudováním venkovní jímky o objemu 10 m<sup>3</sup> umístěné do volného prostoru mezi dosazovací nádrž a hlavní budovu. Během přípravných stavebních prací se však ukázalo, že místo je pro vybudování jímky nevhodné, v plánovaném prostoru byly objeveny podzemní inženýrské sítě. Operativně bylo nalezeno alternativní řešení. Jímka ve formě čtveřice propojených válcových nádrží byla umístěna do suterénu haly ČOV. Do těchto nádrží natéká voda z dosazovací nádrže gravitačně přes jímací objekt.

V jímacím objektu je voda odtékající z dosazovací nádrže usměřována pomocí betonové vestavby a hradítka tak, aby přednostně natékala do nátokového potrubí. Teprve při průtoku vody přesahujícím požadovaný výkon pilotní technologie (10 m<sup>3</sup>/h), je nadlimitní voda tak jako dosud hygienizována a svedena do městské kanalizace. Nátok lze v případě potřeby (oprava, povodeň apod.) zavřít pomocí ručně ovládané armatury umístěné v suterénu haly ČOV.

Akumulovaná voda je čerpána na mikrosítový bubnový filtr čerpadlem s frekvenčním měničem umístěným ve třetí z čtveřice čerpacích nádrží, kde je umístěno i hladinové čidlo pro indikaci výšky hladiny.

#### Mikrosítový bubnový filtr

Mikrosítový bubnový filtr funguje jako samostatný celek s vlastním rozvaděčem a ŘS (viz obr. 4). Na tomto filtru jsou odstraňovány zbytkové nerozpuštěné látky z biologicky vyčištěné vody (uniklé vločky aktivovaného kalu, vlákna buničiny...). Účinnost mikrosítové filtrace je kontrolována pomocí dvojice zákaloměrů na vstupní a výstupní vodě. Tkanina filtru je čistěna integrovaným oplachovým systémem pomocí trysek napojených na produkovaný filtrát mikrosíta. Díky tomu mikrosíto nepotřebuje pevné připojení oplachové vody. Spotřeba oplachové vody při standardním provozu tvoří 4 % z nátoky na filtr, cyklování oplachu je řízeno vlastním ŘS (s vizualizací do velína). Odseparovaný tekutý kal z mikrosíta je zaústěn jako kalová voda do kanalizace odpadních pracích vod vedené do stávajícího kalového hospodářství.



Obr. 2b. Reálné provedení instalace



Obr. 3. 3D model instalace technologie čištění mikropolutantů



Obr. 4. Realizace – mikrosítový bubnový filtr 10 µm

#### Čerpací nádrž na ozonizaci

Filtrát z mikrosíta je gravitačně sveden do čerpací nádrže vody pro ozonizaci umístěné v suterénu budovy ČOV. Z této nádrže je voda čerpána čerpadlem s frekvenčním měničem (10 m<sup>3</sup>/h; 2,5 bar) na ozonizační jednotku. Nádrž je vybavena dvěma hladinovými plovákovými čidly pro indikaci minimální a maximální hladiny a také havarijním přetokem.

## Vymírací nádrž

Vymírací nádrž má funkci reaktoru sloužícího k oxidaci mikropolutantů ozonem. Doba zdržení vody v nádrži je cca 30 min. Nezreagovaný ozon se spolu s dalšími plyny kumuluje ve vymírací nádrži nad hladinou vody. Při poklesu hladiny je přes solenoidový ventil odváděna plynná fáze z hlavy nádrže do destruktoru ozonu. V něm dochází k rozkladu toxického a reaktivního ozonu na zdravotně nezávadný plyn s obsahem zbytkového ozonu  $< 0,1$  ppm, který je následně odváděn potrubím mimo budovu ČOV. Na výstupu vody z vymírací nádrže je měření rozpuštěného zbytkového ozonu v ozonizované vodě. V případě indikace nenulové koncentrace ozonu na výstupu z vymírací nádrže začíná řídicí systém snižovat výkon generátoru ozonu. Dojde-li k překročení hodnoty koncentrace ozonu  $0,3$  mg/l na výstupu z vymírací nádrže, řídicí systém vypne produkci ozonu. Vymírací nádrž patří technologicky do jednotky ozonizace, je vyrobena kompletně z materiálu nerez AISI 316L. Její užitečný objem je  $5 \text{ m}^3$ , celkový objem  $5,825 \text{ m}^3$ . Nádrž je vybavena nerezovou válcovou vestavbou. Nátok vody je veden nerezovým potrubím ke dnu středové vestavby. Voda je odváděna z dolní části vymírací nádrže na filtraci přes GAU. Nádrž má ve dně instalovány dva kulové kohouty pro odkalení vnitřní vestavby a prostoru vně vestavby. V nádrži je umístěno radarové hladinové čidlo pro kontrolu hladiny.

## Ozonizační jednotka

Ozonizační stanice je dodávána jako samostatný celek od výrobce s vlastním rozvaděčem a vlastním ŘS. Ozonizační jednotka (viz obr. 5) obsahuje kompresor vzduchu, sušičku vzduchu, generátor kyslíku (čistota 93 %), generátor ozonu (produkce ozonu  $210 \text{ g/h}$ , koncentrace ozonu v plynu  $100 \text{ g/Nm}^3$ , rozsah výkonu 10–100 %, katalytický destruktor ozonu, čtyřkanálový analyzátor ozonu v ovzduší a systém chlazení ozonizace. Na ozonizační stanici je čerpána OV z čerpací jímky pro ozonizaci. Podle intenzity přítoku do čtveřice akumulčních nádrží je řízen výkon generátoru ozonu (vysílá proudový signál 4–20 mA pro výkon měniče generátoru ozonu 10–100 %). Tlak vody natékající na ozonizační stanici musí být konstantní, je kontrolován tlakoměrem (počáteční nastavení na 2,5 bar, může být mírně upraveno).

Vnos ozonu do odpadní vody je řešen následovně: z hlavního proudu vody je za vymírací nádrží a analyzátozem rozpuštěného  $\text{O}_3$  odebrán dílčí proud (tzv. hnací voda,  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ , 2 bar) do sání čerpadla. V čerpadle dochází k navýšení tlaku dílčího proudu vody na hodnotu potřebnou pro správnou funkci následně zařazeného injektoru. V injektoru dojde k nasátí plynné směsi z generátoru ozonu a jejímu prvotnímu rozptýlení v dílčím proudu vody. Tento dílčí proud je poté zaveden zpět do potrubí hlavního proudu odpadní vody před statickým míšič, ve kterém jsou zajištěny optimální podmínky pro rozpuštění ozonu ve vodě. Z výstupu statického míšiče je hlavní proud odpadní vody s ozonem zaváděn do reakční nádrže ozonizace (tzv. vymírací nádrž – viz výše). Proud hnací vody zajišťuje dostatečný míchací gradient a zároveň i dostatečný tlak v tryskách injektoru, a to i při nižších průtocích vody. Cílem ŘS je řídit výkon generátoru ozonu a přítoku vody na ozonizaci tak, aby k odstavení generátoru ozonu docházelo co nejméně. Při dlouhodobě nízkých nátocích na ČOV pod  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  však k odstavení musí dojít.

Celé zapojení jednotky ozonizace je v materiálu AISI 316L. Stanice ozonizace je umístěna ve zvýšeném přízemí haly hlavní budovy, vymírací nádrže a některé armatury a měření jsou umístěny v suché jímce (v hale). Voda je z jednotky ozonizace vedena dále na dvojici GAU filtrů, kde probíhá závěrečná fáze úpravy odpadní vody.

## Kontrola úniku ozonu do ovzduší – BOZP

Z důvodu zajištění bezpečných pracovních podmínek pro obsluhu dle BOZP je jednotka ozonizace vybavena analyzátozem ozonu v ovzduší. Instalované zařízení (analyzátor ozonu, čtyři čidla ozonu, výstražný systém propojený s ŘS jednotky ozonizace) slouží ke sledování koncentrace ozonu v místnostech a uzavřených prostorách podle požadovaných limitů pro koncentraci ozonu v pracovním prostředí ( $\text{O}_3 > 0,1$  ppm). V místech



Obr. 5. Realizace – část jednotky ozonizace, v pozadí GAU filtry

s možným výskytem úniku byly umístěny čtyři senzory ozonu – dva jsou umístěny u jednotky ozonizace ve zvýšeném přízemí, dva v suché jímce, protože ozon je těžší než vzduch (1. čidlo u generátoru  $\text{O}_3$  ve zvýšeném přízemí, 2. čidlo u injektoru ozonu v suché jímce, 3. čidlo u paty vymírací nádrže v suché jímce, 4. čidlo u destruktoru ozonu ve zvýšeném přízemí.) V případě úniku plynného ozonu vydává zařízení světelný a zvukový poplachový signál s následným výstupem do řídicího systému ozonizace. Při překročení bezpečné hodnoty koncentrace ozonu  $0,1$  ppm je vyhlášen alarm 1 = výstraha doprovázená světelným signálem, automaticky se zapíná vzduchotechnika v suché jímce hlavní budovy (odtah vzduchu ze dna suché jímky mimo budovu). Při překročení hodnoty koncentrace ozonu  $0,2$  ppm je vyhlášen alarm 2 doprovázený světelným a zvukovým signálem. Při alarmu 2 je okamžitě odstaven generátor  $\text{O}_3$ , vzduchotechnika odvádí vzduch ze dna suché jímky mimo budovu. Rozsah měření  $\text{O}_3$  ve vzduchu je 0 až 1 ppm. Životnost elektrochemického senzoru je 1 až 2 roky v závislosti na četnosti využití.

## Filtrace přes GAU

Celek filtrace přes GAU obsahuje 2 ks filtrů, průměr  $a = 1400$  mm, o kapacitě  $a = 5 \text{ m}^3/\text{h}$  s náplní granulovaného aktivního uhlí (Filtrisorb 400) o objemu  $1,25 \text{ m}^3$  v každém filtru. Oba filtry jsou vybaveny automatickým řízením provozu a proplachu pomocí armatur s elektropohonem. Zapínání automatického režimu provoz/praní je řízeno dle průtoku vody na ozonizaci nebo dle tlakové ztráty na filtrech. Praní filtrů je postupné, vždy je alespoň jeden z filtrů ve filtrační fázi. Pro praní GAU filtrů je využívána vyčištěná odpadní voda jímáná v nádrži prací vody. Odpadní voda po praní GAU filtrů je odváděna potrubím odděleným od ostatních odpadních vod přímo do městské kanalizace. Po zjištění pronikání mikropolutantů do vyčištěné výstupní vody nad stanovený limit (účinnost odstranění



Obr. 6. Odběr vzorků vody v den předání technologie objednateli – 16. 4. 2024. 1 – přítok na biologický stupeň po mechanickém předčištění; 2 – odtok z dosazovací nádrže; 3 – vyčištěná odpadní voda po průchodu pilotní jednotkou pro odstraňování mikropolutantů.

farmak alespoň 90 %) je potřeba granulované uhlí z filtrů odsát, ekologicky zlikvidovat, naplnit filtry novou náplní a poté filtry opět uvést do provozu.

### Nádrž prací vody

Vyčištěná voda z GAU filtrů je odváděna do nádrže prací vody umístěné v suterénu hlavní budovy. Voda z této nádrže je využívána primárně jako servisní voda pro potřeby ČOV. Prací voda se využívá na pravidelné praní GAU filtrů, pravidelné oplachy rotačního válcového síta v objektu mechanického předčištění a pro občasné čištění mikrosíta (v hale ČOV). Teprve nevyužitá/nadbytečná voda z nádrže prací vody odtéká přes chloraci a stávající Parshallův žlab do městské kanalizace.

### Účinnost technologie

Účinnost technologie byla testována vzorkovací kampaní o 15 odběrech (3 směsné časové vzorky, 12 bodových vzorků). Vzhledem k vysoké korelaci dat byly všechny odběry hodnoceny dohromady. Vzorky byly odebrány ze tří profilů: v nátoku do aktivací nádrže (profil „nátok ČOV“), v odtoku z dosazovací nádrže (profil „odtok z DN“) a v akumulaci vyčištěné vody z kvartérní technologie (profil „odtok z GAU“), viz obr. 6. U standardních fyzikálně-chemických ukazatelů dosáhla kvartérní technologie výborné účinnosti odstranění mezi profily „odtok z DN“ a „odtok z GAU“ přesahující 80 % u parametru NL (8 odběrů), CHSK<sub>Cr</sub> (15 odběrů) a TOC (8 odběrů). Výsledky jsou zpracovány v tab. 2. Výsledné průměrné koncentrace ukazatelů NL a CHSK<sub>Cr</sub> jsou výrazně pod limitem potřebným k vypouštění OV do recipientu dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. v platném znění.

K posouzení účinnosti odstranění mikropolutantů byl využit indikativní seznam látek poskytovatele dotace, který obsahoval následující analyty ze skupiny léčiv a jejich metabolitů: acebutulol, atenolol, azithromycin, carbamazepin, clarithromycin, diclofenac-4-hydroxy, diclofenac, furosemid, gabapentin, hydrochlorothiazide, ibuprofen, ibuprofen-2-hydroxy, ibuprofen-carboxy, iopromid, ketoprofen, metformin, metoprolol, naproxen, naproxen-o-desmethyl, oxypurinol, paracetamol, paraxanthine, ranitidine, sotalol, sulfamethoxazol, sulfapyridin, telmisartan, tramadol, trimethoprim, venlafaxin (viz tab. 3). Tyto analyty byly stanoveny ve všech 15 odběrech. Účinnost odstranění průměrné sumární koncentrace mezi profily „odtok z DN“ a „odtok z GAU“ dosáhla 99,4 %. Z nátokových koncentrací na ČOV přesahujících 0,5 mg/l se díky kvartérní technologii podařilo snížit odtokové koncentrace pod 0,2 µg/l.

Na odtoku z GAU bylo v 15 odběrech detekováno alespoň jedenkrát pouze 5 analytů. Jednalo se o látky gabapentin, sulfamethoxazole, telmisartan a paracetamol, které byly nad mezí stanovitelnosti nalezeny pouze 1x či 2x, vždy v koncentracích mírně přesahující jejich mez detekce (10 ng/l u paracetamolu a gabapentinu a 20 ng/l u telmisartanu a 3 ng/l u sulfamethoxazolu). Jedinou problematickou látkou byl metformin, který byl stanoven nad mezí stanovitelnosti u 13 z 15 odběrů s průměrnou koncentrací 95 ± 62 ng/l.

### Závěr

Díky spolupráci všech partnerů byla pilotní technologie odstraňování mikropolutantů instalována, uvedena do provozu a předána zadavateli. Z prvotního ověření účinnosti technologie vyplývá, že zvolené technologické uspořádání dokáže významně snížit koncentrace léčiv a jejich metabolitů, stejně jako koncentrace nerozpuštěných látek či organických látek. Provoz technologie bude dále monitorován. Pevně věříme, že tato instalace v budoucnu poslouží jako inspirace pro další intenzifikaci čištění nemocničních odpadních vod nejen v České republice a pomůže odstraňovat problém v podobě vnosu mikropolutantů do životního prostředí přímo u největších zdrojů tohoto znečištění.

Tab. 2. Vyhodnocení odstraňování ukazatelů NL, CHSK<sub>Cr</sub> a TOC v technologii ČOV FTN

| odběrný profil | NL          |      | CHSK <sub>Cr</sub> |      | TOC         |      |
|----------------|-------------|------|--------------------|------|-------------|------|
|                | [ng/l]      | [%]  | [ng/l]             | [%]  | [ng/l]      | [%]  |
| nátok ČOV      | 230 ± 99    | -    | 687 ± 157          | -    | -           | -    |
| odtok z DN     | 72,3 ± 35,9 | -    | 133 ± 110          | -    | 34,3 ± 12,0 | -    |
| odtok z GAU    | 4,0 ± 1,7   | 94,5 | 9,5 ± 5,3          | 92,9 | 5,8 ± 1,7   | 83,0 |

Tab. 3. Koncentrace 30 léčiv z indikativního seznamu ve třech profilech ČOV

| odběrný profil | detekované analyty | průměrná koncentrace [ng/l] | účinnost odstranění DN – GAU [%] |
|----------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| nátok ČOV      | 29 z 30            | 518 188                     | -                                |
| odtok z DN     | 28 z 30            | 46 761                      | -                                |
| odtok z GAU    | 5 z 30             | 153                         | 99,4                             |

Dr. Ing. Monika Heřmánková (autorka pro korespondenci)

Ing. František Robek

Ing. Michal Cypris

MEGA, a.s.

Ke Klíčovu 191/9

Monika.Hermankova@mega.cz

190 00 Praha 9 – Vysočany

Ing. Radek Kaláb

Fakultní Thomayerova nemocnice

Vídeňská 800

140 59 Praha 4 – Krč

*Removal of Micropollutants from Hospital Wastewater (Sýkorová, Z.; Sýkora, P.; Kvaček, R.; Heřmánková, M.; Cypris, M.; Robek, F.; Kaláb, R.)*

### Abstract

This case study describes the installation of a pilot technology for the post-treatment of hospital wastewater (WW) using ozonation and adsorption on granular activated carbon (GAC). The pilot unit was commissioned at the wastewater treatment plant of the Thomayer University Hospital in Prague (Fakultní Thomayerova nemocnice v Praze; WWTP) in April 2024. This is the first implementation of a technology for the hospital wastewater post-treatment in the Czech Republic. The project was funded by the State Environmental Fund of the Czech Republic (Státní fond životního prostředí ČR; SFŽP) from the EEA and Norway Grants. The main goal of the project is to reduce the concentrations of pharmaceuticals by at least 90 % between the influent and effluent of the hospital WWTP. The existing WWTP has a capacity of 1,500 PE (population equivalent), and the influent contains an unknown ratio of infectious and non-infectious hospital wastewater together with a high cellulose content. The average daily inflow of wastewater to the WWTP is 200 m<sup>3</sup>/day, with significantly variable hourly inflows during the day. The installed pilot unit for pharmaceutical separation was designed for a capacity of 5–10 m<sup>3</sup>/hour. If the WWTP inflow exceeds 10 m<sup>3</sup>/hour, the excess WW is disinfected with sodium hypochlorite and discharged into the municipal sewer system as before. The pilot technology includes a microscreen (mesh size 10 µm), an ozone generation unit (ozone production up to 210 g/h), and a GAC filtration unit (2 filters with a capacity of 5 m<sup>3</sup>/hour each, filled with Filtrasorb 400 granular activated carbon). The treated wastewater is partially reused as service water within the WWTP, the remaining treated water is chlorinated and discharged into the municipal sewer system. The efficiency of pharmaceutical removal is currently being monitored with a perspective to more intensive use of treated WW within the hospital premises (irrigation).

### Key words

quaternary WW treatment – micropollutants – pharmaceuticals – ozonation – GAC adsorption

Ing. Zuzana Sýkorová

Ing. Petr Sýkora

Ing. Robert Kvaček

Pražské vodovody a kanalizace, a. s.

Ke Kablu 971/1

102 00 Praha 10 – Hostivař