17. POKRAČOVÁNÍ KONFERENCÍ

Pitná voda z údolních nádrží

PITNÁ VODA 2024

SBORNÍK PŘEDNÁŠEK

3. – 6. června 2024

Hotel Palcát Tábor

Prohlášení:
Za věcnou správnost, obsahovou, jazykovou a grafickou úroveň příspěvků v tomto sborníku zodpovídají autoři. Stanoviska a doporučení obsažená v příspěvcích jsou názory a doporučení jejich autorů a nemusí nezbytně vyjadřovat stanoviska společnosti ENVI-PUR, s.r.o.

Kolektiv autorů, 2024

Editor: Ing. Pavel Dobiáš, Ph.D.

GENERÁLNÍ PARTNEŘI KONFERENCE

GRUNDFOS

ČEVAK

technoprocur cz

HLAVNÍ PARTNEŘI KONFERENCE

xylem Let's Solve Water

wilo 30 LET WILO CS

HECKL

ELMONTIA

gdf

SKUPINA SEVEROČESKÁ VODA

SčVK

PARTNEŘI KONFERENCE

MEDIÁLNÍ PARTNEŘI KONFERENCE

OBSAH

Základní informace 7

Využití technologie digitálního dvojčete a umělé inteligence v úpravě vody 8
Ing. Jindřich PROCHÁZKA, Ph.D.

Význam organoleptických vlastností vody – provozní zkušenosti se změnou technologie úpravny vody 14
Ing. Petr SÝKORA, Ph.D.; Ing. Lenka VAVRUŠKOVÁ; MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.; Mgr. Petr PUMANN; Ing. Jiří MRKVA; Ing. Eva RIEDEROVÁ

Kvalita organických látek v řece Otavě, surové vodě pro ÚV Písek 22
doc. Ing. Petr PORCAL, Ph.D.

Mikrobiální společenstva v pitných vodách 28
RNDr. Dana BAUDIŠOVÁ, Ph.D.

Využitie ekotoxikologických metód jako alternatívného spôsobu monitorovania kvality vod 32
RNDr. Viera NAGYOVÁ, PhD.

Povolovací procesy vodních zdrojů a vodovodů podle nového stavebního zákona 40
JUDr. Zdeněk HORÁČEK, Ph.D.

Požadavky atomového zákona na úpravu vody z podzemních zdrojů 42
Ing. Růžena ŠINÁGLOVÁ

Plochy povodí pre miesta odberu podzemnej vody určenej na ľudsků spotrebu 48
RNDr. Anna PATSCHOVÁ, PhD.; Mgr. Katarína TARABOVÁ, PhD.

Využití vodárenských technologií pro dočištění odtoků z ČOV 56
Ing. Tomáš LEDERER, Ph.D.; Ing. Tomáš DUFEK; Ing. Karel HAVLÍČEK, Ph.D.; Mgr. Petra ROSICKÁ; Dr. Ing. Libor NOVÁK

Koktejl cizorodých látek v pitných vodách 64
Ing. Taťána HALEŠOVÁ

Farmaka a další mikrokontaminanty v tocích povodí Vltavy 70
RNDr. Marek LIŠKA, Ph.D.; Ing. Magdaléna BALEJOVÁ; Ing. Antonia METELKOVÁ

Výsledky monitoringu pesticídnych látok v pitnej vode na Slovensku v roku 2023 77
Ing. Mgr. Katarína JATZOVÁ, PhD.; RNDr. Zuzana VALOVIČOVÁ

Odlehčované odpadní vody – problém, který si zaslouží být viděn 84
RNDr. Jindřich DURAS, Ph.D.

Dešťová voda jako zdroj pitné vody – první realizace v České republice 89
Ing. Lucie BÁBORSKÁ a kol.

ÚV Podolí – varianty doplnění technologie 95
Ing. Zuzana SÝKOROVÁ, Ph.D.; Ing. Petr SÝKORA, Ph.D.; Ing. Robert KVAČEK; Ing. Kateřina KOHOUTOVÁ; Ing. Jindřich ŠESTÁK

Rekonstrukce úpravny vody Malešov 101
Ing. Robert MACH; Bc. Vratislav RYBÁŘ; Bc. Tomáš BÁR

I chybami se technolog učí 106
Ing. Martina KLIMTOVÁ

Současnost a budoucnost historických pramenišť velkého rozsahu včetně související VHI v působnosti SčVK, a.s. 111
Ing. Lukáš PAŘÍZEK, MBA; Ing. Monika ŠVARCOVÁ; Bc. Jan HENCL; Ing. Lukáš WEISS

OBSAH

Provozní zkušenosti s koagulačním procesem v ÚV Meziboří 117
Ing. Radka PEČENÁ; Ing. František FEDOR; Jan KRAUS

Výroba pitné vody z menších a středních podzemních zdrojů 123
Ing. Petra HRUŠKOVÁ; Ing. Karel DRÁBEK

Výsledky poloprovozních testů odstraňování mikropolutantů na aktivním uhlí v podmínkách umělé infiltrace vodárny Káraný 129
doc. Ing. Marek ŠVÁB, Ph.D.; Ing. Barbora ŠTĚPÁNOVÁ; doc. Ing. Michael POHOŘELÝ, Ph.D.; prof. Ing. Václav JANDA, CSc.; Mgr. Marek SKALICKÝ

Pesticidní látky ve VD Vrchlice a jejich odstraňování ozonizací a GAU filtrací na ÚV U Svaté Trojice v Kutné Hoře 135
Ing. Ladislava HATÁKOVÁ; Ing. Jiří BENEŠ

Hydraulické provzdušňovací reaktory 143
doc. Ing. Milan LÁTAL, CSc.

Monitoring olova v pitné vodě ve školách v roce 2023 jako podnět pro rizikovou analýzu vnitřních vodovodů 148
MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc. a kol.

Výukové modely pro laboratorní cvičení z technologií vod – flotace rozpuštěným vzduchem a písková rychlofiltrace 157
Ing. Silvestr FIGALLA, Ph.D.

Dražší voda jako cesta k udržitelnosti českého vodohospodářství? 168
Ing. Ondřej UNČOVSKÝ

Pitná voda z nevodárenských nádrží – proč ne? 174
RNDr. Jindřich DURAS, Ph.D.

Cesta úpravy vody od pomalej filtrácie po membránové procesy 178
prof. Ing. Danka BARLOKOVÁ, PhD.; prof. Ing. Ján ILAVSKÝ, PhD.; Dpt. Viliam ŠIMKO

Jak je důležité míti 185
Milan DRDA a kol.

Využitie membránových procesov na odstraňovanie mangánu z vody 191
prof. Ing. Ján ILAVSKÝ, PhD.; prof. Ing. Danka BARLOKOVÁ, PhD.; Ing. Michal PROSŇANSKÝ, PhD.

Zkušenosti s provozem jednotky nanofiltrace na ÚV Zaječov 201
Ing. Lucie KOLESÍKOVÁ; Ing, Tomáš LÁSKA

Provozní zkušenosti s úpravou surové vody před keramickou MF: Optimalizace procesů a vliv na výkon technologické linky 206
Ing. Gabriela MÜLLEROVÁ; Ing. Kryštof HNOJNA

Ostrovné systémy a technológia núdzového zásobovania pitnou vodou 215
Ing. Mikuláš KRESCANKO; prof. Ing. Danka BARLOKOVÁ, PhD.

Kontejnerová řešení pro vodohospodářství 222
Tomáš SKLENÁRIK

INZERCE 227

ZÁKLADNÍ INFORMACE

POŘÁDÁ

ENVI-PUR, s.r.o., Praha a **W&ET Team**, České Budějovice, ve spolupráci s **CzWA**

PŘÍPRAVNÝ VÝBOR KONFERENCE

prof. Ing. Danka Barloková, Ph.D.	STU Bratislava
Ing. Pavel Dobiáš, Ph.D.	ENVI-PUR, s.r.o., W&ET Team České Budějovice
doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.	W&ET Team České Budějovice
Milan Drda	ENVI-PUR, s.r.o.
RNDr. Jindřich Duras, Ph.D.	Povodí Vltavy, s. p., prac. Plzeň
Ing. Marcel Gomez, Ph.D.	Severočeské vodovody a kanalizace, a. s.
Ing. Taťána Halešová	ALS Česká Republika
Ing. Tomáš Hloušek, Ph.D.	Středočeské vodárny, a. s.
Ing. Pavel Hnojna	ENVI-PUR, s.r.o.
Ing. Pavel Hucko, CSc.	SVHS, Bratislava
prof. Ing. Ján Ilavský, PhD.	STU Bratislava
prof. Ing. Václav Janda, CSc.	VŠCHT Praha
prof. Dr. Karin Kovar	daspool, Wädenswil
MUDr. František Kožíšek, CSc.	Státní zdravotní ústav, Praha
Ing. Pavel Král, Ph.D.	KHP a.s., Hradec Králové
RNDr. Marek Liška, Ph.D.	Povodí Vltavy, s. p.
Ing. Eliška Maršálková, Ph.D.	Botanický ústav AV ČR, v. v. i., Brno
Ing. Jana Michalová	SČVK, a.s., Teplice
Mgr. Jiří Paul, MBA	VAK Beroun, a. s.
Ing. Martina Siglová, Ph.D.	EPS biotechnology, s.r.o.
Ing. Ota Stehno	Severočeská servisní a. s.
Vilo Šimko	Viliam Šimko-VODATECH, Bratislava

ORGANIZAČNÍ A ODBORNÍ GARANTI KONFERENCE

Organizační garant

Petra Volavá
ENVI-PUR, s.r.o., Praha
telefon: **+420 737 240 809**
e-mail: konference@envi-pur.cz

Odborní garanti

Ing. Pavel Dobiáš, Ph.D.
ENVI-PUR, s.r.o., Praha,
W&ET Team, České Budějovice
e-mail: dobias.pavel@envi-pur.cz

doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.
W&ET Team, České Budějovice
e-mail: petr.dolejs@wet-team.cz

VYUŽITÍ TECHNOLOGIE DIGITÁLNÍHO DVOJČETE A UMĚLÉ INTELIGENCE V ÚPRAVĚ VODY

Ing. Jindřich Procházka, Ph.D.

Xylem Česká republika spol. s r.o., Mechanica 2, Walterovo náměstí 329/3 158 00, Praha 5
e-mail: jindrich.prochazka@xylem.com

1. ÚVOD

V posledních letech se mnohé dříve nedostupné analytické metody a online analýzy stávají běžnou vodárenskou praxí. V současnosti jsme schopni měřit mnohé parametry pomocí online sond, nebo ve velmi krátkých intervalech pomocí analyzátorů. Tyto přístroje dokáží produkovat velká množství dat, která jsou v praxi využívána spíše jen pro kontrolu procesu a identifikaci alarmových událostí. Dalším významným fenoménem poslední doby je nárůst výpočetní kapacity počítačů na úroveň, při které jsou schopny prakticky v reálném čase provozovat sofistikované výpočetní modely. Těmito modely jsou myšleny zejména počítačové programy a algoritmy označované jako umělá inteligence. Zřejmě každý již přišel do kontaktu s jazykovými modely, které jsou schopné poskytovat smysluplnou diskuzi s lidským uživatelem. Prudký nástup umělé inteligence začíná ovlivňovat náš každodenní život, aniž bychom si to uvědomovali. Jaké je ale využití technologií založených na umělé inteligenci a jakým způsobem dokáží pracovat s velkým množstvím dat a co je to digitální dvojče?

2. CO JE DIGITÁLNÍ DVOJČE

Technologie digitálního dvojčete má poměrně významné zastoupení v průmyslu, například v automotive nebo chemickém průmyslu. Zde simuluje celou řadu procesů a umožňuje poskytovat informaci o chování výrobní linky. Uživatel si tak může nasimulovat různé scénáře a na jejich základě predikovat objem výroby, potřebu vstupů nebo nákladovou stránku procesu bez toho, aby musel výrobu přerušit nebo provádět složité technologické výpočty. Digitální dvojče je v podstatě počítačový program, který se chová jako virtuální kopie nějakého reálného objektu nebo technologie. Kromě výše zmíněné simulace scénářů co-když dokáže provádět i autonomní optimalizace provozu. Jedná se prakticky o stejnou funkci s tím rozdílem, že vstupní parametry simulací jsou generovány jiným algoritmem a ze všech možných simulací, kterých mohou být až vysoké desítky či stovky, pak vybírá tu, která nejlépe splňuje uživatelem definovaná kritéria. Těmito kritérii jsou často provozní náklady nebo kvalita výstupu produkovaného technologií. V tomto případě je pak digitální dvojče provozováno v autonomním módu, kdy je mu svěřeno řízení celé technologické linky.

Protože hlavním benefitem digitálního dvojčete je tvorba predikcí a simulace chování technologie v určitých stavech, přichází v úvahu i využití dalších jeho benefitů. Zejména ve vodárenské praxi je to pak možnost vytvořit tzv. softsenzor. Softsenzor je softwarový nebo virtuální senzor, který poskytuje informace v místě, kde není nebo není možné provádět fyzické online měření. Jiným využitím je softsenzor pro parametr, který není možné měřit online. Ve vodárenství to mohou být například trihalogenmetany, které je možné pomocí digitálního dvojčete predikovat a tuto predikci zobrazovat jako softsenzor. Podobné využití digitálního dvojčete je pak detekce anomálií. Digitální dvojče predikuje určité hodnoty a porovnává je s realitou. Pokud se hodnota začne významně lišit, je obsluha upozorněna na tuto anomálii. V čistírenství se nabízí využití například pro detekci ucpání sítě, přítok mimořádného znečištění, nebo selhání stroje, například

čerpadla. Poslední zmíněná možnost je využitelná i ve vodárenství, kde je možné detekovat i mimořádné zhoršení kvality nátoku (například v kombinaci s meteorologickými daty) nebo selhání stroje. Digitální dvojče je možné vytvořit i pro relativně malé objekty, jako je čerpadlo nebo sonda a predikovat jejich případné selhání a potřebu údržby. Tento způsob využití se pak nazývá preventivní údržba.

Typy digitálních dvojčat

Aby to nebylo tak jednoduché, existuje v současnosti hned několik typů digitálních dvojčat. Samozřejmě je možné je dělit na řešení cloudová, nebo na lokálním serveru (on-premis). Důležitější je ale dělení podle vnitřního uspořádání a principu funkce vlastního algoritmu digitálního dvojčete. Rozlišujeme tak digitální dvojčata:

- Mechanistická
- Založená na umělé inteligenci
- Hybridní

Mechanistické digitální dvojče

Mechanistická digitální dvojčata jsou založena na simulaci procesu na základě znalosti jejich teoretického popisu. Pokud bychom chtěli vytvořit například digitální dvojče rychlovarné konvice, potřebovali bychom znát závislost mezi příkonem, objemem vody, přestupem tepla do vody a tepelnou kapacitou ohřívaného média. Protože se jedná o proces velmi dobře popsaný, dokážeme sestavit model celého zařízení velmi jednoduše. Výstupem zde může být simulace teploty (softsenzor) nebo predikce délky ohřevu. V případě, že celá technologie se skládá z více jednotkových operací, je digitální dvojče sestaveno ze soustavy dílčích výpočtů těchto operací. Výhoda tohoto přístupu je ve velmi snadné realizaci digitálního dvojčete, které může být připraveno k provozu v relativně krátké době. Další výhodou je, že komerční řešení obvykle pracují s již připravenými knihovnami objektů, ze kterých je možné technologii skládat a je možné modelovat i dosud neexistují technologickou linku. Nevýhodou pak je vázanost na detailně popsané procesy a problematické zohledňování lokálních specifik a nízkou přesnost v případě nestandardních událostí, nebo problematického měření.

Digitální dvojče založené na umělé inteligenci

Umělá inteligence (AI) zcela mění pravidla hry. Digitální dvojče ke své činnosti prakticky nepotřebuje žádný matematický popis technologie. Ten vzniká až při tzv. tréningu modelu. V praxi to funguje tak, že po nějakou dobu, zpravidla měsíce, digitální dvojče sbírá informace o provozu a buď samo, nebo za asistence programátora, vytváří statistický model popisující technologii. V případě příkladu s rychlovarnou konvicí by digitální dvojče po nějakou dobu jen sledovalo, jak se mění teplota vody a délka ohřevu na ostatních veličinách a sestavovalo si matematický popis těchto dějů. Praktická výhoda je zde možnost sestavit model i s omezenými vstupy. Dokáže pracovat i s nepřímými veličinami a v případě vodárenství pak například nepotřebuje znát kvalitu vstupující vody, ale dokáže ji predikovat třeba z meteorologických dat a průtoku vody v řece. Další velmi významnou výhodou se ukazuje být schopnost zohlednit lokální specifika. Pokud by například při míchání vznikaly v nádrži mrtvé kouty, jejichž velikost se mění na dalších parametrech, nepotřebuje AI matematický popis tohoto děje, ale podobně jako zkušená obsluha „vypozoruje" jak se systém chová a s výsledky tohoto pozorování pak dále pracuje. Nevýhodou pak je potřebná doba pro trénink modelu.

Hybridní digitální dvojče

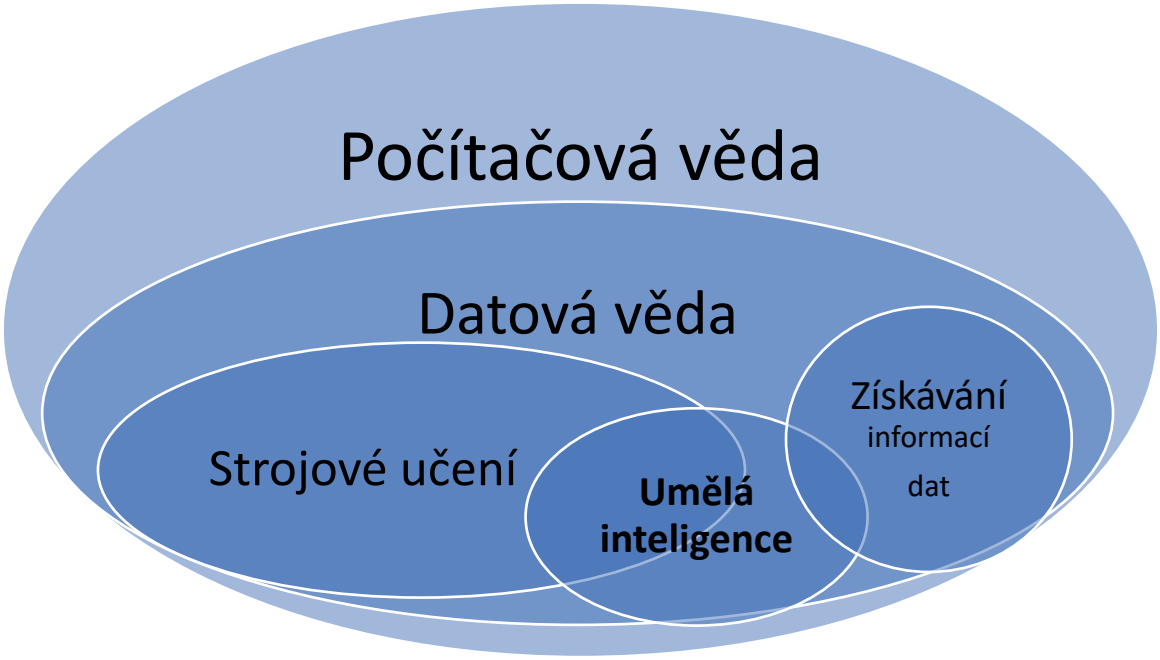
Jako nejefektivnější se jeví technologie založená na kombinaci obou postupů. V praxi to pak může vypadat například tak, že jádro digitálního dvojčete je založené na umělé inteligenci, jejímiž vstupy pak jsou mimo měřených dat i výsledky matematického popisu jednotkových operací. Další výhodou hybridního modelu je možnost jednoduché procesy modelovat mechanisticky a šetřit tak výpočetní výkon pro ty procesy, které zapojení umělé inteligence

skutečně vyžadují. Tento postup pak nesnižuje jen provozní nároky systému, ale snižuje i náročnost vytvoření celého digitálního dvojčete.

3. CO JE UMĚLÁ INTELIGENCE

Umělá inteligence je oblast informatiky, zaměřená na tvorbu inteligentních systémů, které dokáží napodobit lidské kognitivní schopnosti, mezi které patří: Schopnost se učit, získávat nové znalosti a dovednosti ze zkušeností. Schopnost analyzovat situace a řešit problémy. Schopnost vyvodit logické závěry z dostupných informací a schopnost vybrat nejlepší postup na základě dostupných informací. Algoritmy, které toho dosahují mohou být založeny na logice a pravidlech, strojovém učení a neurálních sítích.

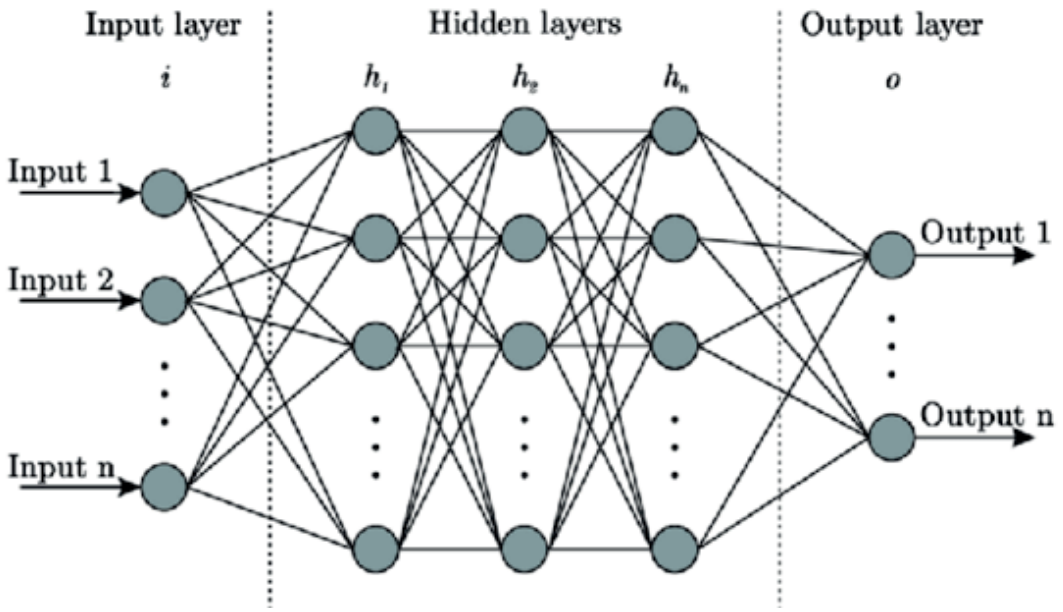
Právě strojové učení, jakožto podmnožina AI, je nejčastější způsob využití AI v digitálních dvojčatech. Ač se může zdát, že strojové učení je horká novinka, opak je pravdou. Jeho základy položil již roku 1959 Arthur Samuel který jej využíval programování počítače k lepší šachové hře [1]. Princip strojového učení je pak takový, že algoritmus, který je schopen na souboru velkého množství dat hledat vzájemné závislosti (učení) a vytvářet model, který slouží k tvorbě předpovědí a rozhodování o nových datech. Algoritmus strojového učení tak vytváří nový algoritmus, který popisuje zkoumanou soustavu. Učení pak může probíhat tzv. s učitelem, což je typické například pro rozeznávání obrázků, kdy učitel stroji popisuje, co je na obrázku. Nebo bez učitele, kdy algoritmus poskytnutá data zkoumá samostatně. Tato druhá varianta je využitelná právě například v případě digitálních dvojčat v technologii vody. Existuje ještě třetí varianta, také využitelná v technologii vody, tzv. posilované učení, kdy je algoritmus doplněn o zpětnou vazbu ve formě tzv. „odměn a trestů". Tato zpětná vazba může být založena například na reálném měření výstupu z technologie.



Obr. 1. *Vzájemný vztah strojového učení, umělé inteligence a dat [2]*

Algoritmů či způsobů strojového učení je mnoho. Za všechny lze zmínit například ještě tzv. deep learning a boosting. Deep learning který využívá neuronové sítě o velkým počtem vrstev. Tento postup je výhodný pro hledání složitých vzorů ve vstupních datech. Boosting je technika

strojového učení, která kombinuje tzv. „slabé modely", tj. modely, které dokáží predikovat výsledek s pravděpodobností jen o málo lepší, než by odpovídalo náhodnému hádání, do silnějšího modelu. Jsou vytvářeny nové modely, kdy každý nový model se zaměřuje na chyby předchozího a odstraňuje je. Výsledkem je pak tzv. „silný model", který je již technicky využitelný.



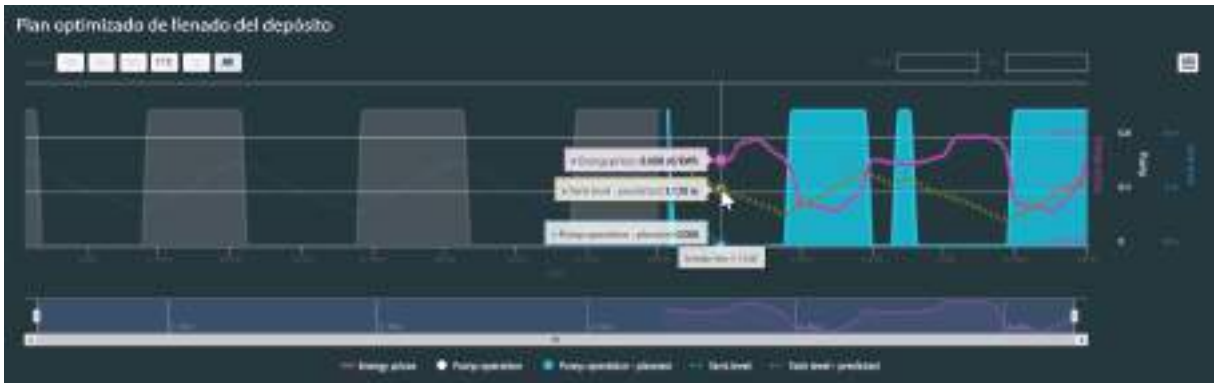
Obr. 2. Příklad neuronové sítě s více skrytými vrstvami [3]

4. PRAKTICKÉ VYUŽITÍ DAT V ÚPRAVĚ VODY

Praktické využití si pak lze představit jako digitální dvojče úpravny, simulující její základní funkce a optimalizace jednotlivých procesů, predikce vstupu surové vody, přes dávky chemikálií a optimalizace účinnosti koagulace, po efektivní využití a praní filtrů, až po aplikaci softsenzorů pro získání informace o veličinách, které nelze přímo měřit. Asi nejpoužívanější aplikací je optimalizace filtračních cyklů a zásoby chemikálií, kde lze predikovat jejich degradaci a spotřebu. Do budoucna jistě velmi zajímavé může být využití při optimalizace dávky chemikálií, a to jak z hlediska jejich spotřeby, tak i z hlediska kvality upravené vody. Umělá inteligence, trénovaná na dlouhé datové řadě, je tak schopná do značné míry nahradit provozní sklenicové testy. Mnoho úpraven funguje tak, že technolog na základě sklenicových testů určí správnou dávku, případně závislost dávky na kvalitě vstupující vody. Tuto závislost pak využívá obsluha k řízení úpravny. Reálně pak obsluha jednou nebo vícekrát za den provede analýzu kvality surové vody (např. CHSK) a podle ní nastaví technologii úpravny. Pokynem pro novou analýzu provedenou obsluhou může být i změna na online měření kvality nátoku (barva, zákal, ABS_{254}). Systém založený na umělé inteligenci pak na dlouhé datové řadě odvozuje přímo závislost mezi daty z online analyzátoru, dávkou a kvalitou výstupu. Tuto znalost je pak schopný využít k optimálnímu automatické nastavení dávky v reálném čase. V podstatě umělá inteligence vypozoruje stejné závislosti, které by musel technolog hledat za použití sklenicových testů. Výhodou umělé inteligence je pak to, že pracuje nepřetržitě a může zohlednit i další faktory, jako je teplota, roční období, počasí, průtok vody ve zdroji vody, naplnění nádrže a jiné.

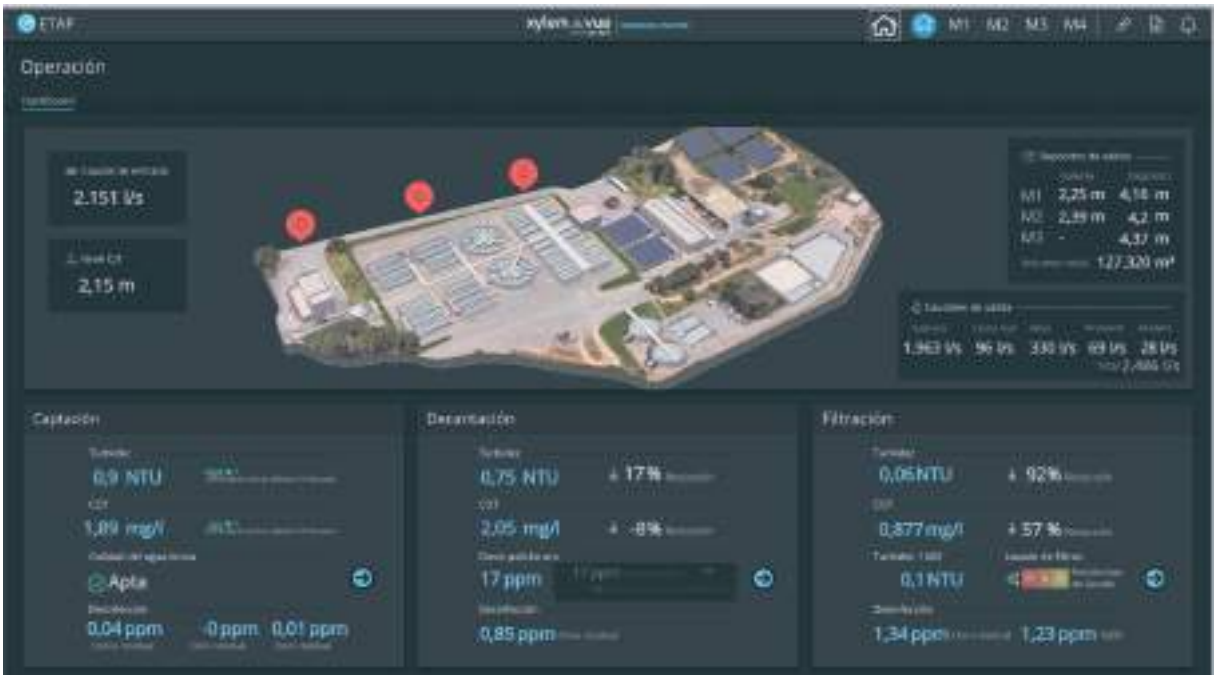
Další aplikace pak mohou být například spojeny s distribuční soustavou. Zde se nabízí hned několik způsobí využití technologie. Úpravě vody nejbližší je pak modelování kvality v distribuční síti a řízení dávky chemikálií tak, aby byla dosažena konkrétní požadovaná kvalita

v konkrétním místě. Zde je již potřeba pracovat i s hydraulickým modelem a daty z distribuční soustavy. V současnosti možná žádanější je pak optimalizace nákladů na čerpání, kdy systém vyhodnocuje parametry jako je cena elektřiny, její predikce, predikovaná spotřeba vody v síti a úroveň naplnění vodojemů. Zde se nabízí i kombinace s předpovědí počasí a energií ze solárních panelů. Systém pak plní vodojemy tak, aby byla zajištěna potřebná zásoba vody, ale zohledňuje i podmínky v energetické soustavě a využívá v maximální míře levnější energii.



Obr. 3. *Ukázka obrazovky optimalizace procesu plnění vodojemu v závislosti na spotřebě vody a aktuální ceně elektrické energie [4]*

Celý systém pak může být provázán s dalšími systémy provozovatele a kromě vlastního řízení technologických celků může poskytovat i benefity pro vedení společnosti. Umožňuje náklady nejenom šetřit, ale také dokáže ekonomická data predikovat a historická data dávat do souvislostí a zobrazovat v manažerských reportech.



Obr. 4. *Ukázka uživatelského rozhraní komplexního systému pro správu úpravny propojující digitální dvojče technologie s datovým skladem, modulem správy dat v uživatelský dashboard [4]*

5. ZÁVĚR

Technologie digitálního dvojčete a umělé inteligence v současnosti zažívá obrovský boom napříč obory. V technologii vody se zatím prosazuje spíše v oblasti čistírenství nebo v oblasti hledání ztrát vody. Její využití ve vodárenství do budoucna přinese zlepšení kvality a racionalizaci nákladů při úpravě. Možná důležitějším efektem než tyto dva zmíněné je pak schopnost nahradit chybějící pracovní sílu a eliminovat vliv nekvalitní pracovní síly na klíčové součásti technologie úpravy vody. Právě úbytek kvalifikované pracovní síly je do budoucna jednou z největších hrozeb oboru. Na druhou stranu se kvalifikovaní odborníci nemusejí bát o svá pracovní místa. Digitální dvojče není schopné je zcela nahradit, je ale mocným pomocníkem umožňujícím technologovi zvládnout více práce ve stejném čase a oprostit se od repetitivních banalit a zaměřit se na skutečně důležitou práci.

SEZNAM LITERATURY

1. SAMUEL, Arthur L. Machine learning. The Technology Review, 1959, 62.1: 42-45.
2. THEOBALD, Oliver. MACHINE LEARNING: Make Your Own Recommender System; build Your Recommender System with Machine Learning Insights. Packt Publishing Ltd, 2024.
3. SARKER, Iqbal H., et al. Context pre-modeling: an empirical analysis for classification based user-centric context-aware predictive modeling. Journal Of Big Data, 2020, 7: 1-23.
4. XYLEM, Idrica. Interní dokumenty společností. 2024.

VÝZNAM ORGANOLEPTICKÝCH VLASTNOSTÍ VODY – PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI SE ZMĚNOU TECHNOLOGIE ÚV

P. Sýkora [1], L. Vavrušková [1], F.Kožíšek [2], P. Pumann [2], J. Mrkva [3], E. Riederová [3]

[1] Pražské vodovody a kanalizace, a.s.
[2] Státní zdravotní ústav
[3] Želivská provozní, a.s.
e-mail: petr.sykora@pvk.cz

ÚVOD

Upravená voda, která je vyráběna úpravnami vod (ÚV) na území České republiky v jednotkách až tisících litrech za vteřinu, musí svou kvalitou odpovídat požadavkům příslušné legislativy. Upravená voda může být klasifikována jako voda pitná pouze po splnění hygienických limitů, které jsou dané vyhláškou MZ č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Hygienické limity jsou v České republice velice přísné, což po splnění těchto limitů indikuje vysokou kvalitu pitné vody. Mezi limitovanými prvky kvality pitné vody jsou i ukazatele, které definují organoleptické vlastnosti. Zhoršení těchto ukazatelů je téměř bezprostředně vnímáno spotřebiteli a indikuje provozovatelům ÚV, že došlo ke změně složení pitné nebo surové vody a je nutno zjistit její příčinu. Ovšem odhalení příčin není vždy jednoduché z důvodu možného působení více faktorů.

ORGANOLEPTICKÉ VLASTNOSTI UPRAVENÉ VODY

Organoleptické vlastnosti pitné vody jsou definovány teplotou, pachem, chutí, barvou, zákalem a vzhledem, přičemž posledně uvedeným aspektem rozumíme více než jenom barvu a zákal. I když vzhled není ve vyhlášce jako samostatný ukazatel uveden a definován, je zřejmé, že pouhým okem viditelné závady jako olejový povlak, pěna na hladině, vznášející se částice či vodní organismy ve vodním sloupci jsou pro spotřebitele nepřijatelné a nelze je ignorovat. Ze změny organoleptických vlastností lze usoudit, že došlo ke změně kvality surové nebo pitné vody vlivem klimatických, biologických nebo technologických faktorů. S výjimkou vzhledu jsou tyto ukazatele ošetřeny vyhláškou MZ č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů, ve které jsou uvedeny jejich hygienické limity. Konkrétní hodnoty hygienických limitů jsou uvedeny v Tab. 1. U ukazatelů teploty, barvy a zákalu jsou konkrétní hodnoty. K zákalu je uveden dodatek, který upravuje hodnotu zákalu na výstupu z úpravny vody při úpravě povrchové vody na 1,0 ZFn. Ukazatele pachu a chuti nejsou ve vyhlášce přímo limitovány, ale nesmí být zápach či chuť pro odběratele nepřijatelný. Tyto ukazatele jsou hodnoceny prostřednictvím vyškolených senzorických posuzovatelů dle normy ČSN 75 7340. V případě pochybností by měl být vzorek podroben stanovení prahových čísel pachu a chuti dle normy ČSN EN 1622. Při stanovení prahových čísel lze hodnotit jako přijatelnou hodnotu prahového čísla 2 [1, 2].

Tab. 1. *Hygienické limity organoleptických vlastností pitné vody stanovené vyhláškou MZ č. 252/2004 Sb. ve znění pozdějších předpisů.*

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	Typ limitu
Pach	Přijatelný pro odběratele	-	MH
Chuť	Přijatelná pro odběratele	-	MH
Teplota	8-12	°C	DH
Zákal	5	ZFn	MH
Barva	20	mg/l Pt	MH

Právě pach a chuť jsou subjektivním ukazatelem, který je vnímán každým odběratelem rozdílně. Pokud odběratel zaznamená rozdílnou či dokonce nepříjemnou chuť či pach, nemusí to nutně indikovat významné zdravotní riziko. Důležitým faktorem je pak informovanost odběratelů pitné vody o příčině změny pachu a chuti a také o tom, zda je změna ukazatelů spojena s ohrožením lidského zdraví. Změny v pachu a chuti mohou být způsobeny buď změnou kvality surové vody, závadou v technologii ÚV nebo kontaminací v distribuční síti [3].

Zhoršený pach je způsoben pachotvornými látkami. Pach se rozděluje dle zdroje jeho vzniku na primární a sekundární. V případě primárního původu pachu jsou pachotvorné látky tvořeny při formování složení surové vody nebo jsou vneseny do vodního ekosystému různými odpady. V případě sekundárního původu pachu jsou pachotvorné látky tvořeny v průběhu úpravy vody, například při dezinfekci vody chlorem. Mezi látky způsobující primární zápach řadíme látky přirozené (například H_2S v minerálních vodách), biologického původu (produkty rozkladu nebo činnosti mikroorganismů) nebo látky vnesené odpadními vodami. Pachotvorné látky, které vznikají až sekundární příčinou, jsou především deriváty organických látek s obsahem chloru. Právě tyto látky mají velice nízkou prahovou koncentraci pro zaznamenání změny senzorických vlastností vody odběratelem [3].

Mezi známé látky negativně ovlivňující senzorické vlastnosti pitné vody jsou řazeny především organické látky jako geosmin (GSM), 2-methylisoborneol (MIB) nebo chlorované organické látky. Mezi známé zástupce chlorovaných organických látek, které negativně ovlivňují senzorické vlastnosti již při velmi nízkých koncentracích, patří např. chlorfenoly a chloranizoly [4,5]. GSM a MIB jsou produkty biologické činnosti mikroorganismů, které do pitné vody mohou proniknout z důvodu jejich nedostatečného odstranění. Ohrožené jsou především stojaté povrchové vody v teplých měsících (vodní nádrže), avšak není pravidlem, že jejich přítomnost je vázána na letní období. Zároveň byla zjištěna koncentrace GSM a MIB i v nutričně chudých nádržích [6].

MIB a GSM jsou produkovány sinicemi, aktinomycetami, myxobakteriemi a mikromycetami [7]. Dalším o opomíjeným zdrojem nežádoucí chuti a zápachu zemitého charakteru pitné vody jsou mikromycety, které produkují trichloranisol [8, 9]. Tento druh mikroorganismů je obzvláště odolný vůči dezinfekci sloučeninami na bázi chloru ve srovnání s bakteriemi a viry. Jejich odolnost může představovat riziko kontaminace vody spory a následný růst těchto mikroorganismů v distribuční síti [10, 11].

Chlorované organické látky jsou tvořeny hlavně v posledním stupni úpravy pitné vody, kterým je dezinfekce. Cílem tohoto stupně je především zabránit sekundární mikrobiologické kontaminaci pitné vody, a to na většině ÚV dávkováním dezinfekčního činidla. Hojně využívaným dezinfekčním činidlem jsou sloučeniny na bázi chloru nebo samotný elementární chlor (v podobě chlorové vody). V tomto případě proces nazýváme chlorace [12]. Právě při chloraci mohou vznikat již zmíněné chlorované organické látky jako jsou chlorfenoly a chloranizoly, nebo trihalometany (THM). THM kvůli zdravotním účinkům patří mezi sledované vedlejší produkty dezinfekce, ale v koncentracích v pitné vodě se vyskytujících nemají potenciál ohrozit pach nebo chuť vody. Naopak chlorfenoly nebo chloranisoly (haloanisoly) jsou pachově detekovatelné i při nízkých koncentracích [13]. Například pro chloranizoly jsou obvyklé hodnoty prahové koncentrace pachu 0,03 až 10 ng/l a často mají zápach plísně [11]. Proto i metody pro stanovení těchto pachových látek musí být mimořádně citlivé a selektivní.

Mezi THM řadíme trichlormethan (chloroform), bromdichlormethan, dibromchlormethan a tribrommethan (bromoform). Jejich zastoupení a vznik závisí na několika faktorech: teplota vody, hodnota pH, koncentrace organických látek v upravené vodě, koncentrace chloru a reakční doba. Reakce je poměrně pomalá tudíž zjištěné koncentrace THM závisí na době odběru

po chloraci a můžou se značně lišit. Proto je obvyklé, že koncentrace THM mohou růst s dobou zdržení v distribuční síti a dosáhnout tak svého vrcholu u spotřebitele. Tvorbu lze minimalizovat snížením množství organických látek v upravované vodě a snížením zbytkové koncentrace chloru v pitné vodě na nezbytně nutnou [3].

Chlorfenoly v pitné vodě vznikají chlorací fenolů, a to i v případě jejich velmi nízkých koncentracích v upravované vodě. Z chloranizolů je pak významný 2,4,6-trichloranizol (2,4,6-TCA), který vzniká buď mikrobiálním působením z 2,4,6-trichlorfenolu nebo chlorací samotných anizolů. Pravděpodobným důvodem, proč je zaznamenána přítomnost 2,4,6-TCA až v distribuční síti pitné vody, je právě vznik mikrobiálním působením (o-methylace 2,4,6-trichlorfenolu). Tento závěr vyplývá i ze studie, která ukázala, že hladina 2,4,6-TCA stále rostla i před chlorací, což naznačuje, že tato látka může vznikat i bez použití chloru [9]. Simultánní tvorba 2,4,6-TCA však není vyloučena [4].

VLIV TECHNOLOGIE NA SENZORICKÉ VLASTNOSTI UPRAVENÉ VODY

V případě látek vzniklých biologickou cestou v povrchové vodě je možno aplikovat přímou separaci a tím zamezit přestupu těchto látek do pitné vody. Obvykle jsou konvenční technologie (koagulace, písková filtrace a chlorace) pro separaci látek jako MIB a GSM neúčinné [15] a v případě jejich přítomnosti v surové vodě přecházejí v určitém množství do vody pitné. Mezi účinné technologie se řadí pokročilé oxidační procesy, sorpce na granulovaném aktivním uhlí (GAU), sorpce na práškové aktivní uhlí (PAC), membránová filtrace nebo kombinace zmíněných technologií. Z pohledu pokročilých oxidačních procesů se často využívá ozon, který je schopen zoxidovat GSM i MIB [16]. Nevýhodou ozonizace je tvorba vedlejších produktů jako jsou ketony, které opět mají negativní vliv na senzorické vlastnosti vody. Proto se doporučuje s ozonizací implementovat i sorpční stupeň, který zabrání průniku těchto látek do pitné vody. Ozonizaci je možno aplikovat i před stupněm koagulace, ale pouze s dávkou do 1 mg/l. Při dávce menší, než je 1 mg/l ozonu v ozonizaci výrazně napomáhá k účinnosti koagulace. Ovšem při překročení této hranice dochází k degradaci algogenní organické hmoty, která je potřebná pro tvorbu karboxylových kyselin se schopností stabilizovat koloidní částice. Obecný přehled, zda jsou nebo nejsou zmíněné technologie dostatečně účinné pro odstranění látek vzniklých biologickým působením je uveden v Tab. 2. [6].

Tab. 2. *Přehled neúčinných a účinných technologií pro odstranění látek vzniklých biologickým působením*

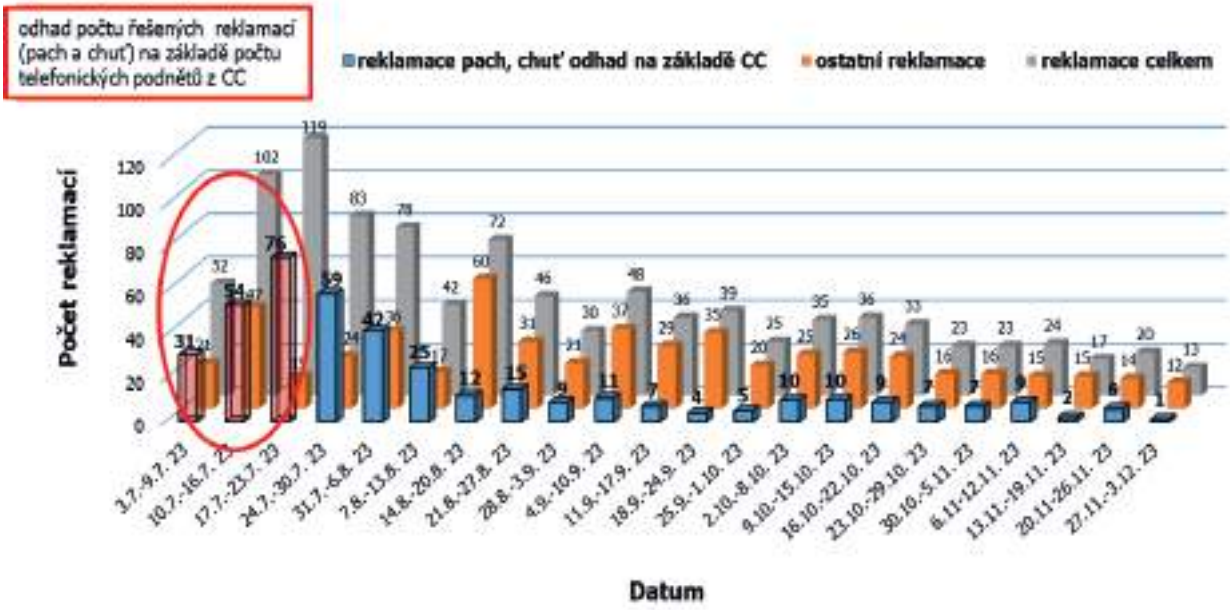
Odstraňovaná látka	**Neúčinné technologie**	**Účinné technologie**
GSM a MIB	Koagulace, filtrace, flotace, sedimentace, oxidační činidla (Cl_2, ClO_4, $KMnO_4$, NH_2Cl)	Pokročilé oxidační procesy, GAU, PAU, membránová filtrace

V případě látek vzniklých sekundárním způsobem až v průběhu úpravy surové vody na vodu pitnou je nutno nastavit v technologii takové podmínky, aby bylo minimalizováno riziko jejich tvorby. Ke způsobům, jak snížit riziko vzniku těchto sekundárních produktů, patří optimalizace či doplnění technologie. Jak již bylo zmíněno výše, tak záleží na kontrole dávky chloru, reakční době (odvíjí se od doby zdržení v distribuční síti), hodnotě pH, teplotě a koncentraci organických látek v pitné vodě. Nejúčinnějším opatřením je doplnění technologií pro odstranění organických látek, které jsou prekurzory pro tvorbu vedlejších chloračních produktů, a optimalizace dávkování dezinfekčních činidel na bázi chloru [3], popř. přechod na bezchlorovou distribuci pitné vody. Vyšší účinností odstranění organických látek je výrazně snížena

pravděpodobnost tvorby vedlejších produktů chlorace. K jejich odstranění dochází i v konvenčních procesech ÚV jako je koagulace, ale bohužel ne s dostatečnou účinností. V případě konvenčních procesů není dosaženo odstranění prekurzorů na takovou míru, aby nedocházelo k tvorbě vedlejších chloračních produktů. K dosažení dostatečných účinností odstranění těchto látek jsou voleny procesy jako pokročilé oxidační procesy, sorpce na aktivním uhlí (v praxi v granulované nebo práškové formě) nebo jejich kombinace [14].

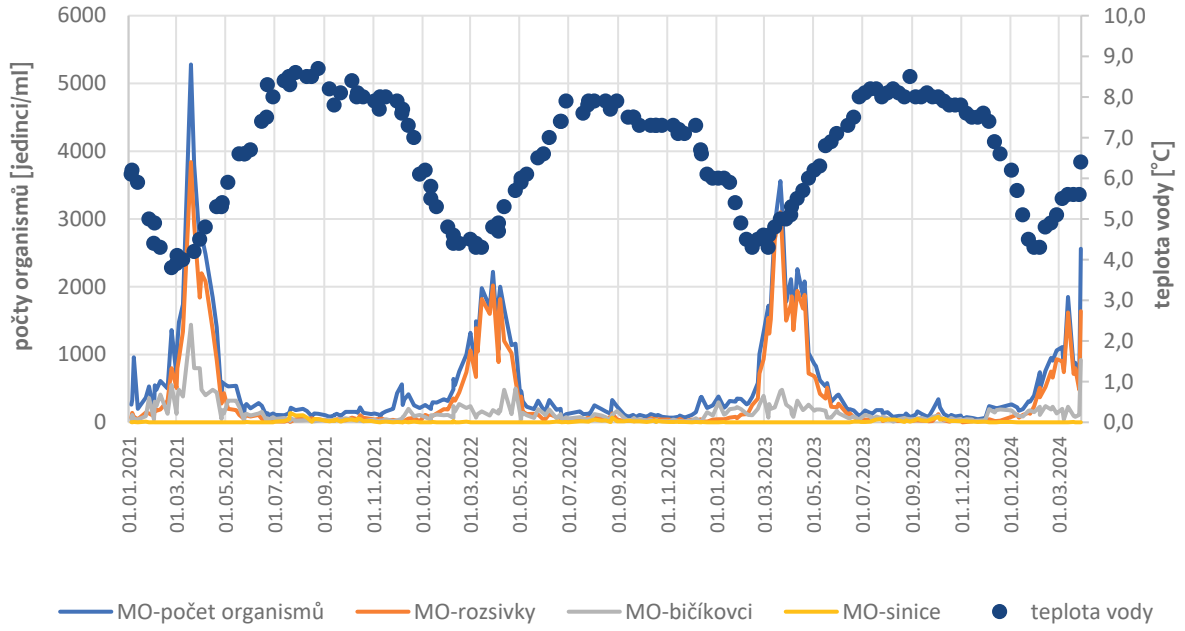
ÚV ŽELIVKA

Vliv technologie na senzorické vlastnosti pitné vody jsme měli možnost sledovat nejen v odborné literatuře, ale i v praxi. ÚV Želivka upravuje vodu povrchovou z vodárenské nádrže Švihov na řece Želivce a je největší ÚV v České republice. ÚV zásobuje část středočeského kraje, kraje Vysočina a hl. m. Prahu. Technologie se skládá z jednostupňové úpravy (koagulační filtrace) s následnou ozonizací a filtrací přes granulované aktivní uhlí (GAU). Posledním stupněm úpravy je desinfekce chlornanem sodným. V letním období roku 2023 došlo nejdříve k plánované odstávce ozonizace (20. 6. 2023) a následně se přidala plánovaná odstávka filtrace přes GAU filtrace (5. 7. 2023). Krátce poté došlo k nárůstu stížností odběratelů v Praze na kvalitu pitné vody z důvodu změny jejích senzorických vlastností (viz Obr. 1.). U odběratelů přímo z ÚV Želivka a po trase štolového přivaděče nebyly žádné stížnosti odběratelů zaznamenány.



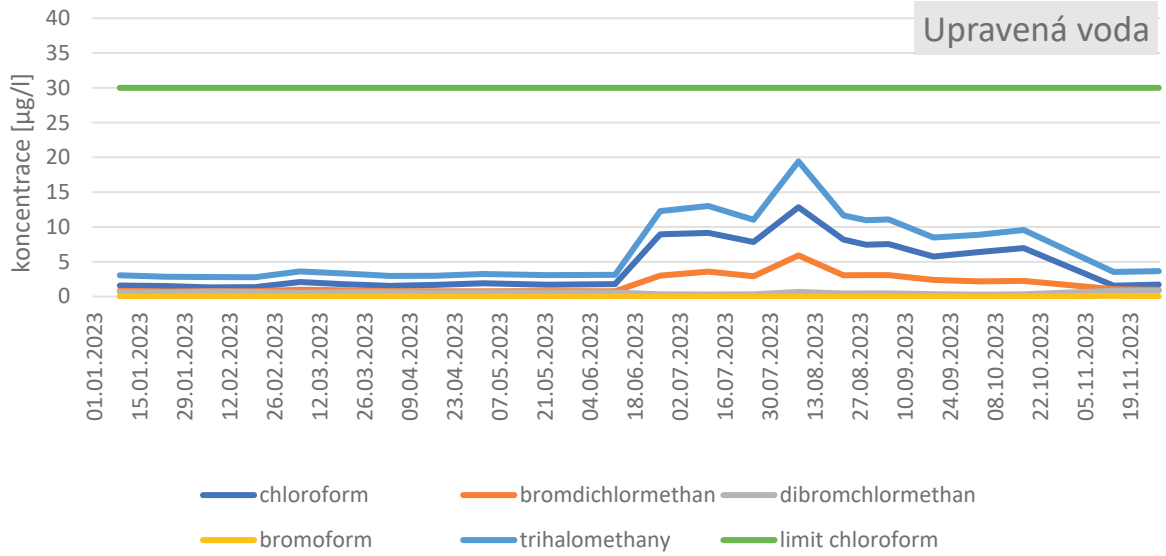
Obr. 1. *Počty reklamací na kvalitu pitné vody v distribuční síti hl. m. Prahy v průběhu odstávky ozonizace a GAU filtrace na ÚV Želivka za červenec až listopad 2023*

Kvalita surové vody ve vodárenské nádrži Švihov na řece Želivce je poměrně stabilní, s pravidelným jarním oživením nádrže (viz Obr. 2.). Koncentrace organických látek v surové vodě je v rámci roku téměř konstantní. V období odstávky nebyly ani z pohledu jiných ukazatelů v surové vodě zaznamenány výkyvy od normálu.



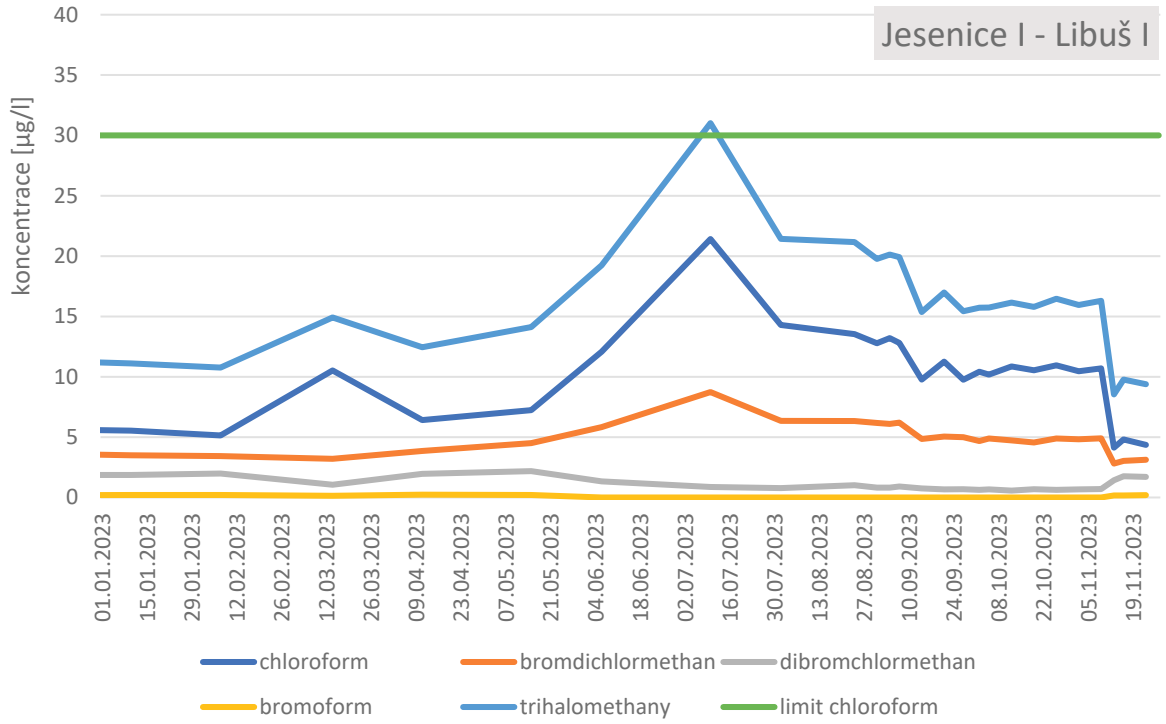
Obr. 2. *Biologické oživení v surové vodě z vodárenské nádrže Švihov na Želivce v období 2021 až 2024*

S ohledem na objem pitné vody produkované ÚV Želivka je kvalita upravené vody kontrolována každý den, mikrobiologické a biologické ukazatele jsou stanovovány 2x denně. Během odstávky ozonizace a filtrace přes GAU vyhovovaly všechny sledované ukazatele na výstupu z úpravny limitům stanoveným v příloze č. 1 vyhlášky č. 252/2004 Sb. ve znění pozdějších předpisů, a to včetně pachu a chuti.



Obr. 3. *Vývoj koncentrace trihalomethanů v upravené vodě na výstupu z úpravny vody Želivka v průběhu roku 2023*

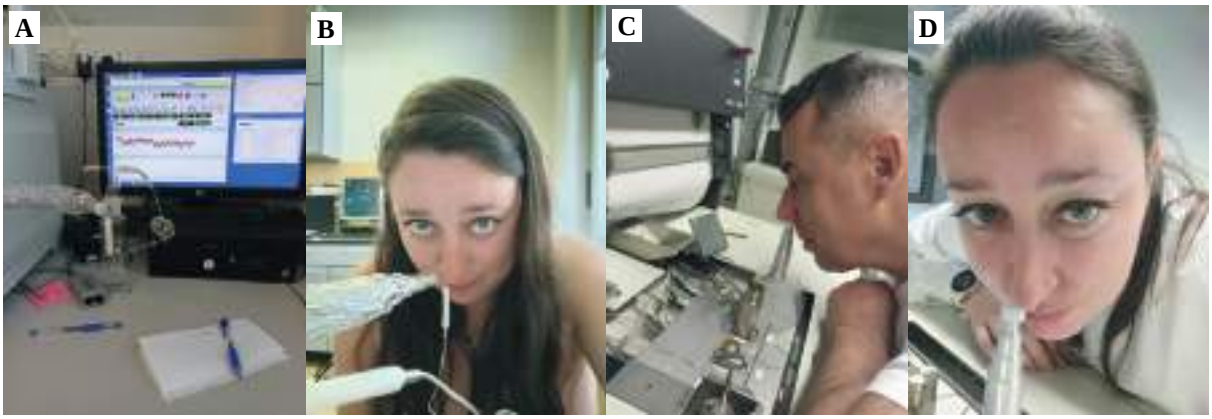
Vyšší koncentrace THM byly potvrzeny a odpovídaly změnám v technologii. Vývoj koncentrace THM na výstupu z úpravny (Obr. 3.) a na výstupu z VDJ Jesenice (Obr. 4.) ilustruje vliv doby zdržení. Distribuovaná pitná voda se mění po celou cestu štolovým přivaděčem, ve vodojemu Jesenice I. a i dále v distribučním systému sítě hl. m. Prahy a koncentrace THM dále roste. Proto je při každé (a to i krátkodobější) odstávce velice důležitá komunikace mezi provozovateli jednotlivých částí distribuční sítě, která je účinným nástrojem pro optimalizaci na všech uzlech a může omezit vznik THM.



Obr. 4. *Vývoj koncentrace trihalomethanů v upravené vodě na výstupu z VDJ Jesenice I. v profilu Libuš I. v průběhu roku 2023*

Zjištění, jaké látky zhoršení pachu a chuti způsobily, nebylo jednoduché. Přítomnost 2,4,6-TCA nebyla pomocí kvantitativních analytických metod prokázána. Všechny výsledky byly pod mezí stanovitelnosti, která byla v případě měření na Technické univerzitě Mnichov na velmi nízké úrovni (200 pg/l). Přesto zásadní podíl této látky byl velmi pravděpodobný. Byla totiž opakovaně zjištěna pomocí metody plynové chromatografie s olfaktometrickou detekcí (obr. 5.). Spolu s ní v menší míře i další látky (4-bromo-2,6-dichloroanisol, GSM) které mají podobný zemitý / zatuchlý charakter pachu. Lze tak uvažovat o synergickém působení těchto látek.

O možnosti jeho tvorby v síti svědčí také úbytek jeho prekurzoru 2,4,6-trichlorfenolu v distribuční síti. Analýzy fenolů a chlorovaných fenolů jsou nyní pravidelně prováděny 1x měsíčně v surové vodě, upravené vodě a v distribučním sytému hl. m. Prahy. V upravené vodě na výstupu z úpravny z ÚV Želivka a v distribučním systému hl. m. Prahy byla zaznamenána přítomnost 2,4,6-trichlorfenolu nad mezí stanovitelnosti pouze v době odstávky linky ozonizace a filtrace přes GAU. Nicméně případy, kdy je koncentrace 2,4,6-trichlorfenolu v pražském distribučním systému nad mezí stanovitelnosti, jsou nyní ojedinělé.



Obr. 5. *Pokus o identifikaci látek způsobujících pach metodou plynové chromatografie ve spojení s olfaktometrickou detekcí (GC-O). A a B systém na Ústavu konzervace potravin VŠCHT v Praze, C a D na Mnichovské technické univerzitě*

PROVEDENÁ OPATŘENÍ

S ohledem na počty stížností bylo po vzájemné dohodě ŽePro a PVK zavedeno technologické havarijní opatření v podobě nepřetržitého dávkování práškového aktivního uhlí (PAU) do surové vody před flokulační kanál na ÚV Želivka. První dávky PAU byly aplikovány dne 21. 8. 2023. Celkem bylo do upravované vody nadávkováno 76 tun PAU. Technologie na dávkování PAU na ÚV Želivka je určena pro případy závažných havárií a není uzpůsobena pro dlouhodobé dávkování. Nicméně data ukazují, že mělo pozitivní vliv na kvalitu upravované vody. S ohledem na dobu zdržení v distribuční síti byl zaznamenán snižující se trend stížností na senzorické závady pitné vody u odběratelů hl. m. Prahy, i když na snižující se počet stížností mohly mít vliv také další faktory. Například to, že informace o příčině senzorické závady a o tom, že není z hlediska lidského zdraví riziková, proběhla v masmédiích, což mohlo část stěžovatelů uklidnit. Následně po uvedení linky ozonizace a filtrace přes GAU zpět do provozu dne 9. 11. 2023 se počet zaznamenaných stížností významně snížil. Pravděpodobnou příčinou vzniku pachových a chuťových závad byla tvorba výše zmíněných chlorovaných látek z důvodu vyššího průniku organický látek na technologický stupeň hygienického zabezpečení.

ZÁVĚR

Organoleptické vlastnosti pitné vody nelze brát na lehkou váhu. Ačkoliv jejich změna nemusí nutně znamenat, že pitná voda je škodlivá pro lidské zdraví, může být pro odběratele nepřijatelná a významně poškodit reputaci výrobce a dodavatele vody. Zhoršené organoleptické vlastnosti mohou být způsobeny kombinací několika faktorů, jako jsou změna zdroje pitné vody, úpravy v technologii úpravy vody, delší doba zdržení v distribuční síti, teplotní podmínky, přítomnost organických látek, hygienické zabezpečení vody, a také přítomnost mikroorganismů nebo jejich metabolických produktů. Pozitivní roli při ovlivnění senzorických vlastností pitné vody je začlenění pokročilých oxidačních a sorpčních procesů, membránové filtrace nebo změna dávky a druhu dezinfekčního činidla.

SEZNAM LITERATURY

[1] ČSN EN 1622. Jakost vod – Stanovení prahového čísla pachu (TON) a prahového čísla chuti (TFN). Praha: Český normalizační institut, 2007. 26 p.

[2] ČSN 75 7340. Kvalita vod – Metody orientační senzorické analýzy. Praha: Český normalizační institut, 2019. 16 p.

[3] Pitter, P.; Hydrochemie. 3.rd ed. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-340-1.

[4] Zhang, K.; et al. Pilot investigation on formation of 2,4,6-trichloroanisole via microbial O-methylation of 2,4,6-trichlorophenol in drinking water distribution system: An insight into microbial mechanism. Water Res. [Online] 2018, 131, 11–21.

[5] He, H.; et al. Effects of dissolved organic matter removal and molecular transformation in different water treatment processes on formation of disinfection byproducts. Water Res. [Online] 2023, 245, Article 120626.

[6] Říhová Ambrožová, J.; Organoleptické závady pitné vody vyvolané přítomností geosminu a 2-MIB v surových vodách. SOVAK, 2016, 10(3): 290–293.

[7] Watson S., Jüttner F.; Chapter 3. Biological production of taste and odour compounds. In: Lin T.-F., Watson S., Dietrich A. M., Suffet I.H. (Mel) (eds.): Taste and Odour in Source and Drinking Water. IWA Publishing, 2019, 63–99.

[8] Nyström A., Grimvall A., Krantz-Rüilcker C., Sävenhed R., Åkerstrand K.; Drinking Water Off-Flavour Caused by 2,4,6-Trichloroanisole. Water Sci Technol 1 January 1992; 25 (2): 241–249.

[9] Xiuzhi B.; et al. Contribution of filamentous fungi to the musty odorant 2, 4, 6-trichloroanisole in water supply reservoirs and associated drinking water treatment plants. Chemosphere 2017, 182: 223–230.

[10] Heng-Xuan Z.; et al. Occurrence of fungal spores in drinking water: A review of pathogenicity, odor, chlorine resistance and control strategies. Science of The Total Environment, 2022, 853: 158626.

[11] Grabińska-Łoniewska, A. & Koniłłowicz-Kowalska, T. & Wardzyńska, G. & Boryn, K.; Occurrence of fungi in water distribution system. Polish Journal of Environmental Studies. 2007, 16. 539–547.

[12] He, H.; et al. Effects of dissolved organic matter removal and molecular transformation in different water treatment processes on formation of disinfection byproducts. Water Res. [Online] 2023, 245, Article 120626.

[13] Chen, T.; et al. Advances in the analysis of odorous substances derived from drinking water disinfection. TrAC Trends in Analytical Chemistry [Online] 2023, 167, Article 117224.

[14] Arman, N.Z.; et al. Review on Emerging Pollutants in the Water Environment: Existences, Health Effects and Treatment Processes. Water 2021, 13, 3258.

[15] Bruce, D., Westerhoff, P., & Brawley-Chesworth, A.; Removal of 2-methylisoborneol and geosmin in surface water treatment plants in Arizona. Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA, 2002, 51(4), 183–198.

[16] Jung, S. W., Baek, K. H., & Yu, M. J.; Treatment of taste and odor material by oxidation and adsorption. Water Science and Technology, 2004, 49(9): 289–295.

KVALITA ORGANICKÝCH LÁTEK V ŘECE OTAVĚ, SUROVÉ VODĚ PRO ÚV PÍSEK

doc. Ing. Petr Porcal, Ph.D. [1], Björnar Eikebrokk, Ph.D. [2], Ing. Jiří Stara [3]

[1] Biologické centrum AV ČR, v.v.i., Hydrobiologický ústav, Na Sádkách 7, České Budějovice
e-mail: porcal@hbu.cas.cz
[2] Drikkevannskonsult, Trondhein, Norsko
[3] ČEVAK, Severní 8, České Budějovice

1. ÚVOD

Kvalita organických látek v řece Otavě, surové vodě pro úpravnu vody Písek, byla sledována v letech 2021 až 2023 v rámci řešení česko-norského projektu (DWARF – Pitná voda připravenost na budoucnost, TAČR TO01000202). Kvalita surové voda byla sledována ve dvou typech monitoringu, prvním byl monitoring kvality organických látek ve vybraných dílčích povodích řeky Otavy (Martanová, 2023), druhým typem monitoringu bylo sledování účinnosti odstranění organických látek na všech stupních úpravny vody Písek. Tento příspěvek shrnuje pozorování z obou monitoringů a prezentuje je z pohledu sezónního průběhu.

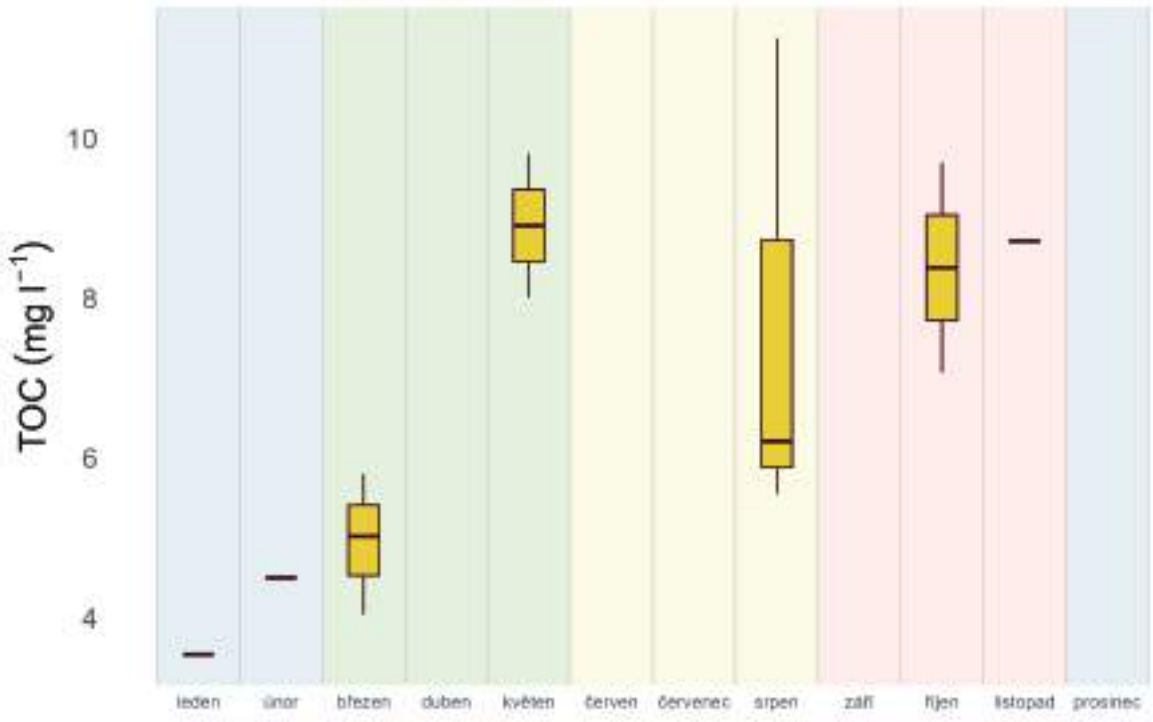
2. METODIKA

Množství organických látek bylo stanoveno jako obsah organického uhlíku katalytickým spalováním na CO_2 s infračervenou detekcí (Shimadzu TOC, Japan). Kvalita organických látek byla popsána pomocí chemických a optických metod.

Rychlá frakcionační technika podle Chow et al. (2004) byla využita k charakterizaci rozpuštěných organických látek. Zfiltrovaný vzorek (skleněný filtr 0,2 µm) byl okyselen na pH 2 (0,1 M HCl) a filtrován přes sorbent DAX-8, eluent byl jímán a následně filtrován přes sorbent XAD-4. Eluent z XAD-4 byl jímán a jeho pH bylo upraveno na hodnotu 8 (1 M NaOH), následně byl filtrován přes sorbent IRA-958. K rozdělení frakcí došlo na základě hydrofobicity organických látek. Koncentrace jednotlivých frakcí byla vypočtena jako rozdíl počáteční koncentrace rozpuštěného organického uhlíku před sorpcí a po sorpci na jednotlivém sorbentu. Rozpuštěné organické látky byly rozděleny na tři frakce – velmi silně hydrofobní látky (karbonylové sloučeniny, uhlovodíky, pesticidy, vodní huminové látky), slabě hydrofobní látky (aromatické aminy, aminokyseliny, aminosacharidy, proteiny) a neutrální a hydrofobní látky (mastné kyseliny, hydroxylové kyseliny, cukerné kyseliny, polysacharidy, oligosacharidy), (Chow et al., 2004; Martanová, 2023).

Fluorescenční excitačně emisní 3D spektrum bylo měřeno v rozsahu excitace 250 – 500 nm s krokem 5 nm a emise byla měřena od 270 do 650 nm s krokem 1 nm (Duetta Horiba, Francie). Fluorescenční spektrum bylo zpracováno v balíčku staRdom pro softwarové prostředí R, výsledkem byly parametry biologického (BIX), humifikačního (HIX) a fluorescenčního indexu (FI). Následně byla provedena PARAFAC analýza, která identifikovala tři hlavní komponenty odpovídající alochtonním, autochtonním a mikrobiálním látkám (Vogt et al., 2023).

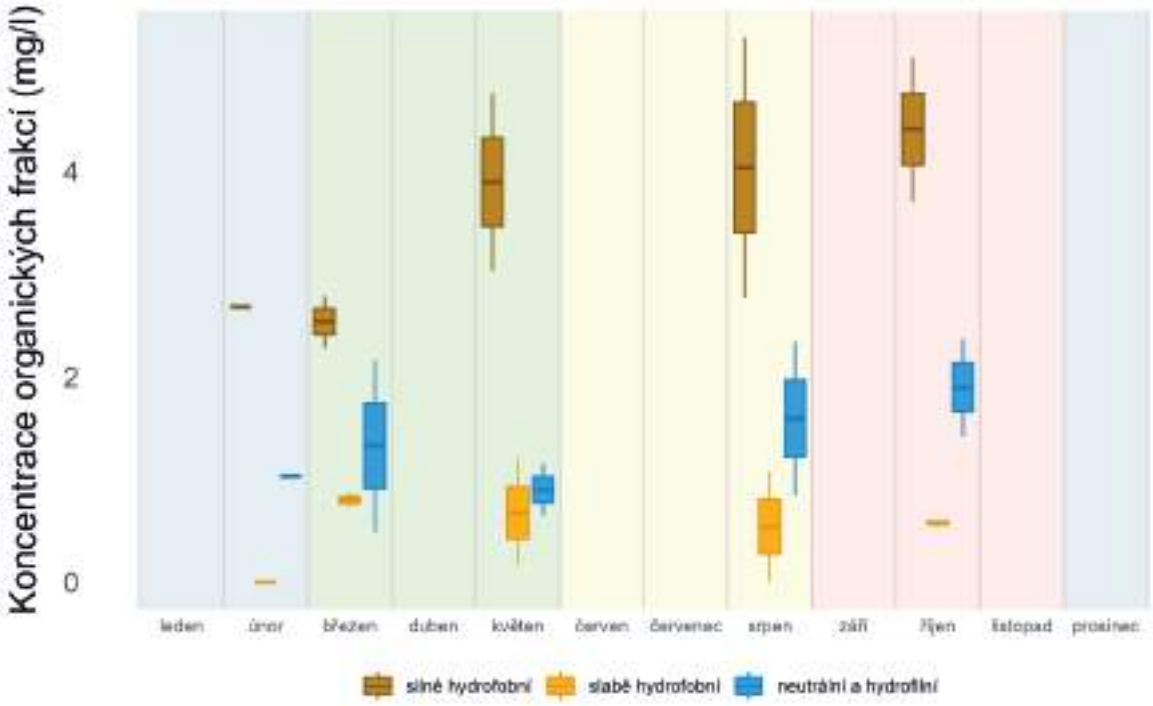
Spektrum absorbance bylo měřeno od 200 do 800 nm v 5cm průtočné kyvetě (UV2700, Shimadzu, Japan). Specifická ultrafialová absorbance (SUVA) byla vypočtena jako absorbance při 254 nm přepočtená na délku optické dráhy 1 m a dělená koncentrací rozpuštěného organického uhlíku (Vogt et al., 2023).



Obr. 1. *Koncentrace organického uhlíku v řece Otavě v profilu Písek po měsících (boxplot představuje medián, mezikvartilový rozsah 25–75 %, minimum a maximum leží v rozmezí 1,5násobku mezikvartilového rozsahu, odlehlé hodnoty jsou zobrazeny jako body).*

3. CHARAKTER ORGANICKÝCH LÁTEK

Obsah organických látek v surové vodě se ve sledovaných odběrových dnech pohyboval v rozsahu od 3,5 do 11,3 mg/l (Obr. 1.). Nejnižší koncentrace byla zaznamenána v lednu 2021, kdy panovaly zimní podmínky v celém povodí řeky Otavy, teploty vzduchu byly pod -5 °C a teplota vody byla 0 °C s výskytem ledu okolo břehů. Nejvyšší koncentrace celkového organického uhlíku (TOC) byly zaznamenány v srpnu 2021. V dalších letech již takto vysoké hodnoty v srpnu nebyly zaznamenány. Nejnižší koncentrace TOC jsou obvykle v zimních měsících, v jarním období koncentrace narůstají, následuje letní pokles a podzimní nárůst. Tento typický roční vzor může být narušen epizodními událostmi, jako se stalo v srpnu 2021, kdy byla zaznamenána nejvyšší koncentrace organického uhlíku; termínu odběru předcházelo období intenzivních dešťů, které měly vliv na vyplavování organických látek z půd.

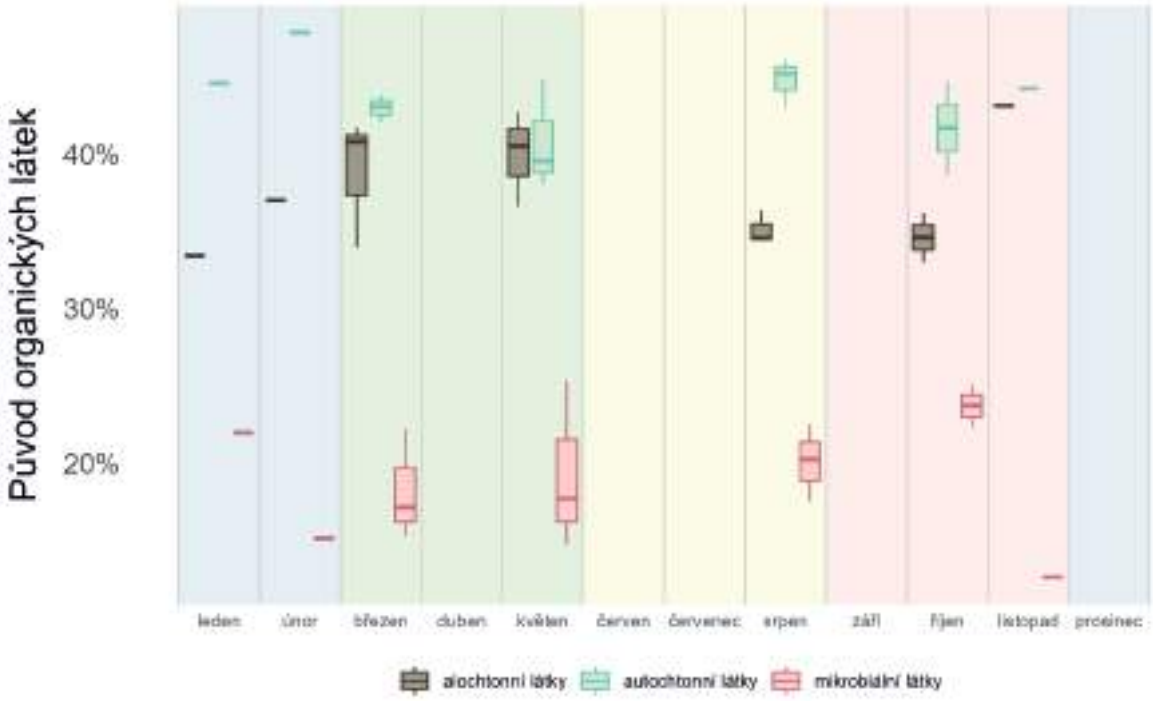


Obr. 2. *Obsah jednotlivých frakcí organickcých látek v řece Otavě v profilu Písek po měsících*

Frakcionace organických látek odlišila tři skupiny rozpuštěných organických látek. V sezónním průběhu dominovaly silně hydrofobní látky následované slabě hydrofobními. Nejmenší podíl měly látky neutrální a hydrofilní (Obr. 2.). Původ silně hydrofobních látek je převážně z horských oblastí Šumavy, zvláště v povodí řeky Otavy nad Sušicí (Martanová, 2023; Vogt et al., 2023). Slabě hydrofobní látky měly zvýšený podíl v letních a podzimních měsících. Neutrální a hydrofilní látky měly nejnižší obsah v zimních měsících se zvýšeným podílem během jarního tání a s výrazným nárůstem v podzimních měsících.

Charakterizace vlastností organických látek pomocí 3D fluorescence umožnila identifikaci třech skupin látek, které podle svého dominantního původu mohou být charakterizovány jako alochtonní, autochtonní a mikrobiální látky (Vogt et al., 2023). V surové vodě byly dominantní autochtonní látky následované alochtonními látkami, nejmenší podíl měly mikrobiální látky (Obr. 3.).

Specifická UV absorbance vykazovala sezónní trend s nejnižšími hodnotami na přelomu léta a podzimu a nejvyššími hodnotami v období jarního tání (Obr. 4.). Z pohledu účinnosti odstranění organických látek při úpravě vody odpovídají vyšší hodnoty SUVA vyšší účinnosti odstranění organických látek koagulací (Edzwald a Van Benschoten, 1990).



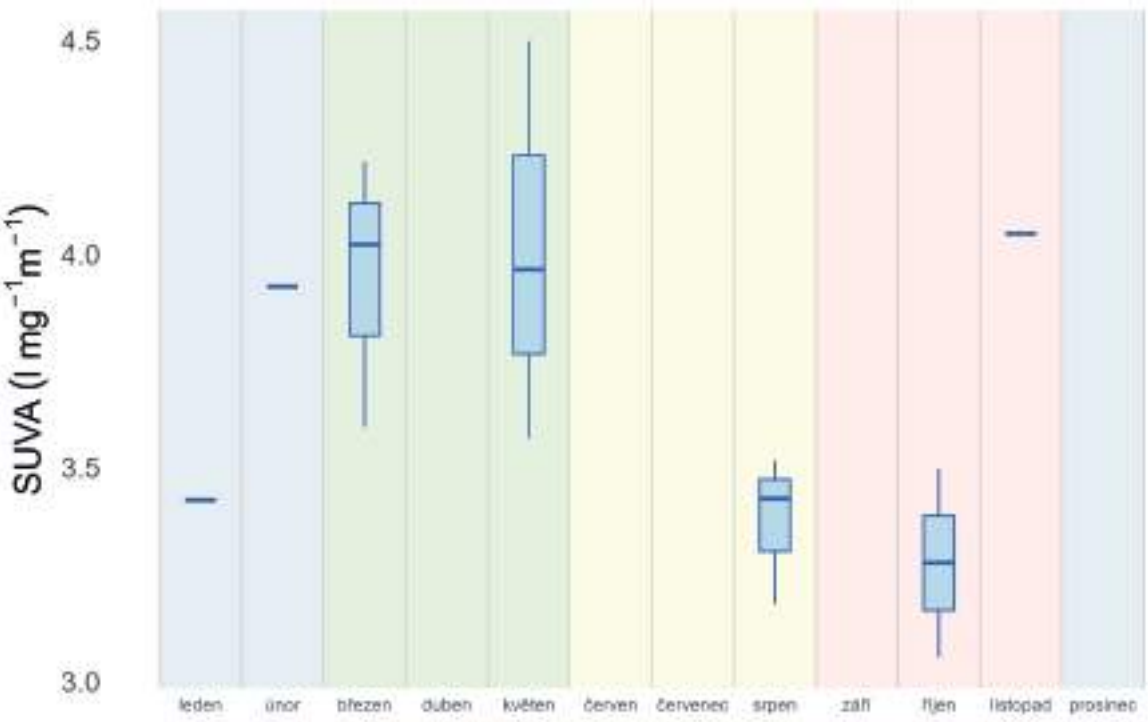
Obr. 3. *Podíl organickcých látek určený z fluorescenčního 3D spektra v řece Otavě v profilu Písek po měsících*

Sledování všech uvedených charakteristik organických látek v dílčích povodích řeky Otavy vedlo k identifikaci hlavních zdrojů organických látek: (1) Alochtonní vysokomolekulární a aromatické huminové organické látky pocházejí hlavně z horských jehličnatých lesů a mokřadů a lze je odlišit vysokou hodnotou SUVA, (2) autochtonní nízkomolekulární a alifatické fulvinové kyseliny mohou být spojeny s růstem řas v důsledku eutrofizace na nižších polohách povodí řeky Otavy a lze je odlišit díky 3D fluorescenci, (3) antropogenní organické látky obsahující bílkovinný materiál ze splašků a rybníků lze odlišit vyšším podílem komponentu mikrobiální látky z PARAFAC analýzy 3D fluorescence. DOM z rybníků se liší od splaškového tím, že má vysokou SUVA a vyšší podíl hydrofilních a slabě hydrofobních organických kyselin (Martanová, 2023; Vogt et al., 2023).

4. ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ ORGANICKÝCH LÁTEK

Charakterizace organických látek podél technologické linky úpravny vody Písek byla provedena pětkrát od března 2022 do března 2023 s ohledem na různá roční období. Technologická linka se skládá z flotace, filtrace přes filtrační médium Filtralite® a filtrace přes granulované aktivní uhlí; detailní popis technologie uvádějí Dobiáš a Dolejš (2016). Účinnost odstranění organických látek na úpravně vody Písek se pro celkový organický uhlík pohybovala od 58 do 78 %.

Z pohledu jednotlivých frakcí organických látek bylo nejvyšší účinnosti dosahováno pro silně hydrofobní látky, které odpovídají huminovým látkám s původem v horských lesích a mokřadech (Obr. 5. A). Nejnižší účinnost byla dosahována pro neutrální a hydrofilní látky pocházející z rybníků, případně splaškových vod (Obr. 5. A). Účinnost odstranění organických látek z pohledu fluorescencí identifikovaných komponentů byla nejvyšší pro alochtonní látky, což jsou totožné látky s látkami z horních horských částí povodí řeky Otavy (Obr. 5. B), nejnižší účinnost byla dosahována pro látky mikrobiálního původu.



Obr. 4. Hodnota SUVA v řece Otavě v profilu Písek po měsících

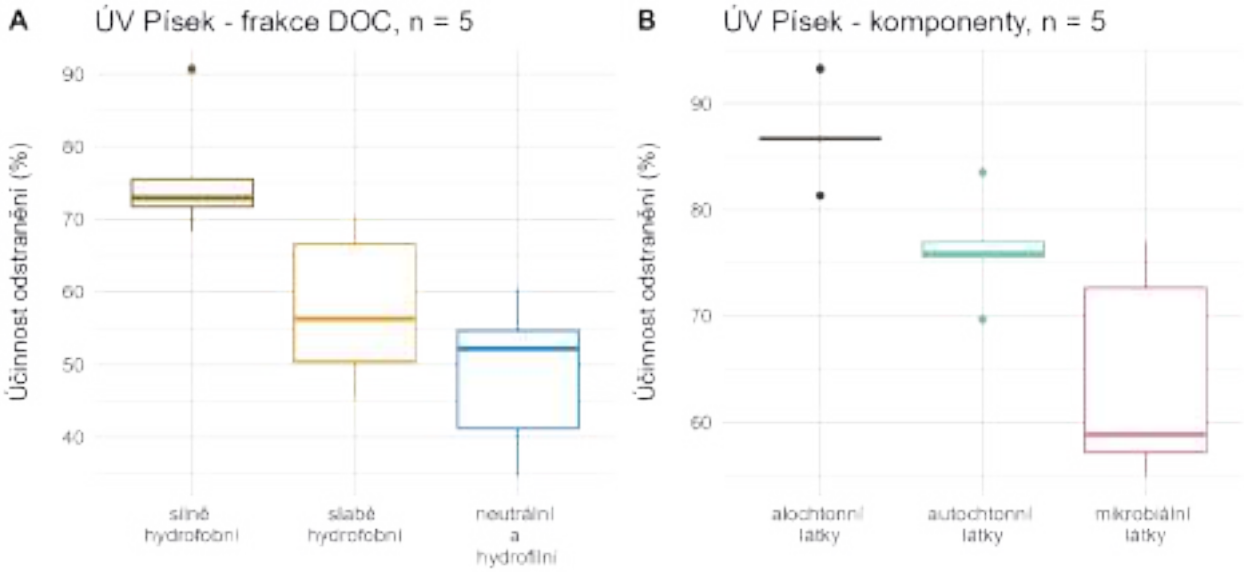
5. ÚČINNOST ÚV PÍSEK A PRŮTOK V ŘECE OTAVĚ

Z dostupných hydrometeorologických dat lze sestavit jednoduchý matematický vztah, kdy celkový průtok vody v profilu Písek je dán součtem průtoků v profilech Otava – Sušice, Volyňka – Strakonice, Blanice – Putim a bočními přítoky. Data o průtoku v profilech Sušice, Strakonice, Putim a Písek jsou dostupná (www.chmi.cz), zbývající hodnotu odpovídající součtu bočních přítoků lze dopočítat.

Z uvedených sledování účinnosti odstraňování organických látek na úpravně vody Písek, průtoků v jednotlivých profilech a sledování celého povodí řeky Otavy nad odběrem surové vody lze konstatovat, že nejvyšší účinnosti dosahuje úpravna vody při hydrologických situacích, kdy průtoku dominuje voda z řeky Otavy nad Sušicí a boční přítoky představují marginální podíl. Tato situace odpovídá vysokým průtokům ze Šumavy odpovídající např. tání sněhu. Tento stav je doprovázen vymýváním huminových látek z půd a SUVA dosahuje vysokých hodnot (Obr. 4.).

Na opačné straně je situace, kdy je významě vyšší podíl bočních přítoků na celkovém průtoku. V dané chvíli je účinnost úpravny nejnižší. To je stav typický pro léto či období nízkých průtoků nebo situace lokálních intenzivních srážek v podhůří a nižších částech povodí, kdy se na průtoku vody v Písku významně podílejí i boční přítoky. Tyto situace mohou nastávat i v době zvýšeného vypouštění rybníků, kdy se do Otavy dostávají přítoky s vyšším podílem autochtonních a neutrálních a hydrofilních látek (Obr. 2., 3.), přičemž SUVA dosahuje nejnižších hodnot (Obr. 4.).

Popsaná závislost kvalitativních vlastností organických látek v surové vodě na zdrojích průtoku řekou Otavou může být vhodným nástrojem pro optimalizaci a řízení provozu úpravny vody.



Obr. 5. *Účinnost odstanění organickcých látek v úpravně vody Písek: A – frakce organickcých látek; B – identifikované komponenty z 3D fluorescence*

REFERENCE:

Dobiáš P., Dolejš P.: ÚV Písek – předprojektová příprava. Sborník konference Pitná voda 2016, s. 223–228. W&ET Team, Č. Budějovice 2016. ISBN 978-80-905238-2-1

Edzwald, J.K., Van Benschoten, J.E. (1990). Aluminum Coagulation of Natural Organic Matter. In: Hahn, H.H., Klute, R. (eds) Chemical Water and Wastewater Treatment. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76093-8_22

Martanová, A. (2023). Charakterizace přírodních organických látek v povodí řeky Otavy. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

Vogt, R. D.; Porcal, P.; Hejzlar, J.; Paule-Mercado, Ma. C.; Haaland, S.; Gundersen, C. B.; Orderud, G. I.; Eikebrokk, B (2023). Distinguishing between Sources of Natural Dissolved Organic Matter (DOM) Based on Its Characteristics. *Water*, *15* (16), 3006. https://doi.org/10.3390/w15163006.

Chow, Ch. W. K., Fabris, R., Drikas, M., 2004. A rapid fractination technique to characterise natural organic matter for the optimisation of water treatment processes. Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA, 53,2, s. 85–92.

MIKROBIÁLNÍ SPOLEČENSTVA V PITNÝCH VODÁCH

RNDr. Dana Baudišová, Ph.D.

Státní zdravotní ústav, Šrobárova 48/49, 100 00 Praha 10
e-mail: dana.baudisova@szu.cz

ÚVOD

Ještě dnes řada odborníků považuje mikrobiologický rozbor vody pouze za stanovení koliformních (nově s *Escherichia coli*) a kultivovatelných mikroorganismů (počtů kolonií). Ale nemusí tomu tak být. Vývoj znalostí o mikrobiálních společenstvech ve vodě je úzce spjat s rozvojem instrumentálních metod v posledních desetiletích. Zhruba do 80. let minulého století byly opravdu mikrobiální procesy studovány převážně na základě stanovení kultivovatelných mikroorganismů, doplněné o mikroskopické pozorování fytoplanktonu a zooplanktonu a základní chemické analýzy. Dnes nové metody umožňují na základě genetických analýz studovat bakteriální společenstvo v celé šíři a je již možné charakterizovat či částečně identifikovat i mikroorganismy (zejména bakterie) nekultivovatelné. Na druhé straně kultivace bakterií má a bude mít pořád (nebo ještě hodně dlouho) hlavní místo.

Předmětem tohoto příspěvku je ukázat odborníkům z vodárenské praxe rozsah oboru mikrobiologie vody a nastínit možnosti, které lze využít při řešení specifických problémů. Jednotlivé zde uvedené kapitoly budou v prezentaci rozvedeny na konkrétních příkladech.

ÚLOHA MIKROBIOLOGIE V PITNÉ VODĚ

Mikrobiologické analýzy slouží (nebo by měly sloužit) k určení resp. hodnocení různých aspektů:

- Zdravotní nezávadnosti vyrobené pitné vody: zjišťuje se na základě indikátorového systému, tzn., nestanovují se patogenní bakterie přímo, ale ověřuje se pomocí indikátorů, zda není voda nekontaminovaná (např. indikátory fekálního nečištění – klíčové indikátory jsou *Escherichia coli* a intestinální enterokoky). Vlastní patogenní bakterie se stanovují pouze v odůvodněných případech (havarijní, resp. epidemiologická situace).
- Kvalita vody – nestačí jen, aby byla voda zdravotně nezávadná, ale musí být taky dobrá. Některé kultivovatelné mikroorganismy (např. mikromycety, aktinomycety apod.) sice nejsou přímo zdravotně škodlivé, mohou se však podílet na tvorbě nežádoucích látek, které zhoršují organoleptické vlastnosti vody. Při sledování kvality vody nelze též zapomínat na možnosti sekundárního pomnožení mikroorganismů (včetně podmíněně patogenních legionel a mykobakterií) na trase ke spotřebiteli a ve vnitřním vodovodu.
- Kontrola procesů úpravy – aby byla voda „dobrá", tj. kvalitní a zdravotně nezávadná, je třeba kontrolovat jednotlivé procesy její úpravy. Zde nejde ani tak o přítomnost, resp. nepřítomnost nějaké skupiny bakterií, ale především o jejich změny. Je též třeba hlídat, ale byla voda co nejméně „úživná", tj. aby obsahovala co nejméně využitelného uhlíku, sloužícího k sekundárnímu pomnožení přítomné mikroflóry. Další neméně důležitou kontrolou úpravy vody je eliminační schopnost používané technologie (zde se též používají indikátory jako *E. coli* pro eliminaci střevních patogenních bakterií, somatické kolifágy pro eliminaci enterických virů a *Clostridium perfringens* pro eliminaci parazitických prvoků).

CELKOVÉ MIKROBIÁLNÍ OŽIVENÍ (PITNÉ) VODY

V pitné vodě se nachází vysoký počet tzv. autochtonních bakterií, které nerostou na žádných kultivačních médiích používaných ke stanovení kultivovatelných mikroorganismů (tj. počtů kolonií při 22 a 36 °C). Tyto bakterie jsou detekovatelné pouze přímo, nezávisle na kultivaci (např. mikroskopicky, pomocí metody průtokové cytometrie apod.) a nemají ani taxonomické zařazení. Jsou však živé, a kromě toho jsou i fyziologicky aktivní a podílejí se na různých procesech probíhajících ve vodních systémech. Jedná se tak víceméně o přirozené vodní společenstvo. Naprostá většina bakterií není přítomná ve volné vodě (tj. v planktonní formě), ale v přisedlé složce, v tzv. biofilmech. Stanovení kultivovatelných mikroorganismů (počtů kolonií) v pitných vodách se provádí především proto, že se předpokládá, že mikroorganismy, které rostou na živných půdách, a mají tudíž vyšší afinitu k substrátu (na základě hodnot K, μmax, Vmax) než nekultivovatelné mikroorganismy (v tomto případě především bakterie), mohou mít určitý hygienický význam.

Obecně charakterizovat mikrobiální společenstva surové vody a upravené vody prakticky nelze, protože se pro úpravu vody používají nejrůznější zdroje vod a to od vody povrchové (např. potok, údolní nádrž) po vodu podzemní. Každý ekosystém má zcela odlišné složení společenstva, které se mění během procesu úpravy vody a její následné distribuce. Například podzemní vody obsahují mnohem méně živin, tudíž mikrobiální společenstva jsou výrazně oligotrofní; v případě kontaminace však bývají mnohem méně schopné samočištění. Zde je nutné zdůraznit, že v distribučním systému není nejvýznamnější (početně i druhově) mikrobiální společenstvo volné a volně rozptýlené (v planktonu), ale velice významná část společenstva se vyskytuje ve složce přisedlé, tj. v biofilmech v potrubí a na stěnách technologií.

Celkové počty bakterií v upravené (pitné) vodě se mohou lišit. V upravené vodě (těsně po hygienickém zabezpečení) byly ve čtyřech různých úpravnách vod mikroskopicky po barvení DAPI zjištěny průměrné počty bakterií 384 000 až 576 000 v 1 ml; počty kultivovatelných mikroorganismů (počty kolonií při 22 °C) se pohybovaly od 0,006-0,001 % [1]. Další autoři zjistili v odtočené pitné vodě celkové počty bakterií (stanovené fluorescenční mikroskopií s barvením LIVE/DEAD Baclight Bacteria Viability Kit) v řádu 10^4/ml [2] nebo 10^5/ml [3]. Významně vyšší počet bakterií jak kultivovatelných, tak nekultivovatelných (10^6/ml) a zejména jejich poměr, se vyskytoval v pitné vodě stagnující v kohoutku (tzv. první podíl, odebíraný bez odtáčení). Podíl kultivovatelných bakterií se v tomto prostředí, vhodném pro jejich existenci, zvýšil až na 1,2 % [2]. Podobné výsledky zjistila i naše pracovní skupina [4]. Další možností jak sledovat celkové (mikrobiální?) oživení vzorku vody je stanovení adenosin trifosfátu (ATP) [5]. Test se provádí na základě detekce adenosintrifosfátu (ATP), které představuje molekulu hlavního energetického oběživa v živých buňkách a kolem nich a poskytuje tak přímou míru biologické koncentrace ve vzorku. Detekuje měřením světla pomocí tzv. luminometru. Doplňkové, spíše provozní stanovení je stanovení asimilovatelného organického uhlíku (AOC), které nám ukazuje úživnost vody a s tím spojenou možnost sekundárního pomnožení přítomných mikroorganismů (jak kultivovatelných tak i nekultivovatelných) v závislosti na jejich afinitě k substrátu [1].

Jak vyplývá z předchozích odstavců, možností jak studovat mikrobiální společenstva (kultivovatelné / nekultivovatelné bakterie, ATP, AOC) je celá řada. Ale nejlepší možný obraz situace se objeví v kombinaci jejich výsledků. Jednotlivě totiž mají tyto výsledky pouze omezenou vypovídací hodnotu.

MOŽNOSTI TAXONOMICKÉHO ZAŘAZENÍ MIKROORGANISMŮ VE VODNÍM PROSTŘEDÍ (DO JAKÉ MÍRY LZE POSTIHNOUT CELÝ MIKROBIOM?)

Mezi mikroorganismy zahrnujeme zástupce prokaryot (sem patří domény Bacteria a Archaea) i eukaryot (drobné mikroskopické houby, tzv. mikromycety, prvoci) a dále organismy tzv. nebuněčné, což jsou viry. Mezi mikroorganismy svým charakterem patří i mikroskopické řasy (eukaryota, rostliny, Plantae) a sinice (prokaryota, fotosyntetizující gramnegativní zástupci domény Bacteria, známé jako cyanobakterie anebo cyanoprokaryota), které se dnes řeší samostatně v rámci studia fytoplanktonu. I když jsou v předchozí kapitole poměrně podrobně popsány možnosti kompletního studia mikrobiálních společenstev ve vodním prostředí, stejně nás v jednu chvíli začne zajímat, jaké taxony jsou přítomny, nebo ještě lépe – co to pro nás znamená. A tady začínají (převážně metodická) omezení.

Nejen v odborné literatuře je skloňován termín MIKROBIOM což je dle WIKIPEDIE organizované společenství mikroorganismů kolonizující jakýkoliv prostor (ze starověké řečtiny *μικρός* =mikrós neboli "malý" a *βίος* =biós neboli „život"). Termín je s oblibou používán třeba ve zdravotnictví (znáte určitě např. termín *zdravý střevní mikrobiom* apod.). Dnes je technicky možné (a nijak složité) izolovat celkovou DNA z prostředí (např. z vody) a zjistit „všechny druhy" nebo známé sekvence (geny) tam přítomné. Ale u vody (a asi i jinde) to má jeden hlavní problém. Pojmenovat/zařadit můžeme pouze druhy, které existují, jsou popsané a jsou známy jejich sekvence. Někdo je tedy musel VYKULTIVOVAT a OSEKVENOVAT (netvrdím, že všechny rostou například na tryptózovém agaru s kvasničným extraktem, to určitě ne). Tudíž i když v pitné vodě určíme až tisíce přítomných druhů, pořád se pohybujeme v neznámo jak velké (která je určitě mnohem širší než naše „počty kolonií"), ale přeci jen kultivovatelné složce. To je významný rozdíl oproti studiu vícebuněčných organismů.

Pokud chceme alespoň trochu porozumět struktuře mikrobiomu jako takovému, je nutné detekovat širší taxonomické skupiny (například na úrovni domén Archaea/Bacteria, nebo řádů (největší jsou α-Proteobacteria, β-Proteobacteria, γ-Proteobacteria (sem patří i např. čeleď Enterobacteriaceae), ale čím se půjde taxonomicky níže, tím dříve se narazí na metodická omezení (mez detekce). Tyto širší taxonomické skupiny lze detekovat fluorescenčně značenými genovými sondami (FISH) a to buď mikroskopicky, nebo metodou průtokové cytometrie.

Metody molekulární biologie založené na pomnožení nukleových kyselin (např. polymerázová řetězová reakce - PCR) mohou výt využity při stanovení konkrétních (známých) bakterií, např. patogenů (a to včetně virů). I tyto metody mají svá omezení (o tom zase někdy jindy), ale v řadě případů (stanovení virů, nebo obtížně kultivovatelných mikroorganismů) je jejich použití vhodné. Pokud již máme vykultivované kolonie, lze je (s určitou přesností danou konkrétním taxonem) jednoduše identifikovat např. hmotnostní spektrometrií (MALDI-TOF).

VYUŽITÍ ZNALOSTÍ Z OBORU MIKROBIOLOGIE VE VODÁRENSKÉ PRAXI

V tuto chvíli každého čtenáře (nebo alespoň většinu) napadne otázka: k čemu to celé je? Jak to bývá i v jiných oborech, výzkum trochu předběhl aplikaci do praxe, která je více závislá na „soukromém" financování. V následující bodech se pokusím nastínit příklady alespoň několika možností, jak lze moderní mikrobiologické metody využít k praktickým účelům.

– Změny celkových počtů bakterií (ideálně v automatickém módu) mohou ukazovat např. na výkyvy v systému zásobování pitnou vodou – kolísání stability zdroje surové vody, účinnosti použitých technologií, sledování vlivu teploty nebo stagnace na rozvoj bakterií apod.

- Změny poměru kultivovatelných a nekultivovatelných bakterií – zvýšení přísunu organických látek, resp. zvýšení hygienického rizika.
- Stanovení ATP (lze i terénní) je jednoduché a relativně levné, a poskytuje orientační odhad mikrobiálního oživení (využití při likvidaci havárií, kontrole účinnosti sanace apod.)
- Polymerázová řetězová reakce – využití při identifikaci patogenních mikroorganismů
- Identifikace bakterií metodou MALDI-TOF – pohled na strukturu „širších skupin" jako např. koliformní bakterie, intestinální enterokoky a možnost lépe vyhodnotit původ znečištění (fekální apod.), rychlá identifikace bakterií, které lze sice samostatně stanovit, ale protože se to často nedělá, nejsou vždy dostupná selektivní média (např. podmíněný patogen *Burkholderia cepacia*).
- Kombinace metod – pomoc při hledání zdrojů znečištění.

ZÁVĚRY

Obor mikrobiologie vody, přestože jako takový prakticky neexistuje, může nabídnout různé možnosti, související s velkým rozvojem instrumentálních metod v posledních 30 letech. Probíhající výzkumy (včetně výzkumů zahraničních) však probíhají poměrně živelně, především v závislosti na modernosti tématu a přísunu finančních prostředků. Finanční stránka je také hlavním omezujícím faktorem (společně s nedostatkem dostatečně vzdělaných a zkušených odborných pracovníků, kteří by byli schopni podrobnější analýzy plánovat a především vyhodnocovat) v této oblasti. Cenný je přístup v nové legislativě [6], kdy se již nepředepisuje „základní mikrobiologický rozbor" jako takový, ale zvažuje se mnohem více aspektů, jako jsou klíčové vers. indikátorové ukazatele, provozní monitoring, analýza rizik vnitřního vodovodu apod.

PODĚKOVÁNÍ

Vznik této publikace byl podpořen v rámci MZ ČR – RVO (Státní zdravotní ústav – SZÚ, IČ 75010330).

SEZNAM LITERATURY

1. Baudišová D., Váňa M., Boháčková Z., Jedličková Z., Benáková A.: Asimilovatelný organický uhlík v systémech výroby a distribuce pitné vody. VTEI 56: 2/2014: 8–11, 2014
2. Bédard E., Laferrière C., Déziel E., Prévost M.: Impact of stagnation and sampling volume on water microbial quality monitoring in large buidlings. PLOS ONE. (https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199429), 2018.
3. Berney M., Vital M., Hűlshoff I., Weilenmann H. U. Egli T., Hammes F.: Rapid, cultivation independent assessment of microbial viability in drinking water. Water Research 42:4010-4018, 2008.
4. Baudišová D., Sovová K., Bobková Š., Šašek J.: Využití metody průtokové cytometrie v mikrobiologii vody. SOVAK 11/2021, str. 17–20. 2021
5. Baudišová D., Význam a limity využití ukazatele ATP v mikrobiologii vody. Vodní hospodářství, v tisku. 2024
6. Směrnice Evropského parlamentu a RADY (EU) 2020/2184 ze dne 16. prosince 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě (přepracované znění).

VYUŽITIE EKOTOXIKOLOGICKÝCH METÓD AKO ALTERNATÍVNEHO SPÔSOBU MONITOROVANIA KVALITY VÔD

RNDr. V. Nagyová, PhD. [1], **Ing. H. Némová** [1], **RNDr. I. Drastichová** [1], **Mgr. L. Chomová, PhD.** [2], **RNDr. J. Laffársová** [3], **Mgr. M. Schwarz** [3]

[1] Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky, Národné referenčné centrum pre ekotoxikológiu, Trnavská cesta 52, 826 45 Bratislava

e-mail: viera.nagyova@uvzsr.sk

[2] Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky, Národné referenčné centrum pre hydrobiológiu, Trnavská cesta 52, 826 45 Bratislava

[3] Regionálny úrad verejného zdravotníctva so sídlom v Banskej Bystrici, Cesta k nemocnici 622/1, 975 56 Banská Bystrica

1. ÚVOD

Vodárenské nádrže sú významným prvkom životného prostredia a ich hlavnou úlohou je zabezpečovať zásobovanie obyvateľov pitnou vodou. Premnoženie cyanobaktérií na vodárenských nádržiach spôsobuje zhoršenie kvality vody s možným dopadom na ľudské zdravie. Cyanobaktérie produkujú širokú škálu látok, vrátane toxických zlúčenín známych ako cyanotoxíny (hepatotoxíny, neurotoxíny, cytotoxíny), preto môžu byť vodné kvety toxické. Laboratórne stanovenie celého spektra látok, ktoré sa nachádzajú vo vodách vodárenských nádrží a majú potenciál spôsobovať environmentálne a zdravotné problémy, je v praxi nerealizovateľné. Preto sa hľadajú možnosti, ako by sa dala zistiť prítomnosť látok vo vodách, resp. ako sledovať ich účinky na živé organizmy (mikroorganizmy, živočíchy alebo rastliny). Jedným zo spôsobov sledovania kvality vôd je ich hodnotenie na základe výsledkov skúšok ekotoxicity. Pomocou nich je možné odhaliť znečistenie rôznych typov vôd chemickými látkami, a to bez poznania ich zloženia a množstva.

V príspevku sú prezentované výsledky monitorovania kvality vôd ekotoxikologickými skúškami, ktorého cieľom bolo získať informácie o možnej prítomnosti potenciálne toxických látok, ako sú napr. cyanotoxíny alebo vedľajšie produkty dezinfekcie vo vzorkách povrchových, surových, pitných vôd a vodných kvetov odobratých z dvoch vodárenských nádrží – Hriňová a Málinec v období rokov 2009–2023.

2. METÓDY

Z vodárenskej nádrže (VN) Hriňová bolo odobratých a analyzovaných 14 vzoriek povrchových vôd, 14 vzoriek surových vôd (vzorky povrchových vôd určené na odber pre pitné vody sú označené ako surové vody), 13 vzoriek upravených, resp. pitných vôd a 15 vzoriek vodných kvetov, resp. zahustených planktónov. Z VN Málinec bolo odobratých a analyzovaných 20 vzoriek povrchových vôd, 19 vzoriek surových vôd, 19 vzoriek upravených, resp. pitných vôd a 19 vzoriek vodných kvetov.

Vo vzorkách vôd bola stanovená akútna ekotoxicita. Vo vzorkách vodných kvetov, resp. zahustených planktónov bola stanovená akútna ekotoxicita (% účinku a jednotka toxicity), a súčasne bolo stanovené percentuálne zastúpenie jednotlivých taxónov v biomase cyanobaktérií.

Odber, konzervácia, transport a skladovanie vzoriek jednotlivých typov matríc bolo vykonané v súlade s príslušnými časťami normy STN EN ISO 5667 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 1, 3 a 16, STN ISO 4, 5 a metodickými pokynmi NRC pre ekotoxikológiu [1, 2, 3, 4, 5].

Bodové vzorky povrchových vôd (PV) na stanovenie akútnej ekotoxicity boli odobraté z vodárenských nádrží z hĺbky od 0 do 30 cm pomocou odberového zariadenia typu Friedinger. Vzorky vodných kvetov (VK) boli získané zahusťovaním vôd s fytoplanktónom planktónovou sieťou. Vzorky surových vôd (SV) boli odobraté pred ich úpravou. Vzorky upravených, resp. pitných vôd (UV/PiV) boli odobraté po dezinfekcii plynným chlórom, chlórdioxidom, resp. UV žiarením.

Kvalitatívne a kvantitatívne stanovenie cyanobaktérií vo vzorkách vodných kvetov bolo vykonané mikroskopickou metódou podľa STN 75 7715 [6].

Na analýzy vzoriek boli použité štyri skúšobné organizmy z troch trofických úrovní: baktéria *Vibrio fischeri* (VF) ako deštruent, kôrovec *Thamnocephalus platyurus* (TP) ako konzument a semená *Sinapis alba* (SA) alebo riasa *Desmodesmus subspicatus* (DS) ako producent. Prvým organizmom bola baktéria *V. fischeri*, ktorá je deštruentom biomasy. Skúšky inhibície bioluminiscencie sa vykonali v súlade s STN EN ISO 11348-2 [7]. V týchto skúškach boli použité luminiscenčné baktérie a inhibícia luminiscencie emitovaná baktériami v kontrole a vo vzorkách sa sledovala pri teplote 15 ºC po 30 min. expozícií. Druhým organizmom bol kôrovec *T. platyurus*, ktorý je primárnym konzumentom biomasy. Skúšky na stanovenie mortality boli vykonané použitím komerčne dostupných testov akútnej toxicity THAMNOTOXKIT F (Microbiotests Inc., Belgicko) v súlade s STN ISO 14380 [8]. Test na *T. platyurus* bol zaradený do systému hodnotenia toxicity z dôvodu najvyššej citlivosti na vzorky s cyanobaktériami spomedzi komerčne dostupných biotestov [9, 10]. Mortalita bola sledovaná po 24 hod. inkubácii pri teplote 25 ºC s podmienkou, že úmrtnosť testovacích organizmov v kontrole nesmela prekročiť 10 %. Ako zástupca producentov biomasy sa používal vždy len jeden z dvoch skúšobných organizmov, buď jednobunková zelená sladkovodná riasa *D. subspicatus*, alebo rastlina *S. alba* – horčica biela. Skúšky inhibície rastu rias sa vykonali v súlade s STN EN ISO 8692 [11]. Stanovenie počtu buniek sa vykonávalo pomocou merania absorbancie a biomasa rias sa hodnotila 1krát za 24 hod. počas 72 hodín trvania skúšky. Skúšky so *S. alba* sa vykonali v súlade s STN 83 8303 [12] kultiváciou semien v Petriho miskách na filtračnom papieri nasýtenom testovanou vodou po dobu 72 hodín a stanovením priemerných dĺžok koreňa.

Ekotoxikologické skúšky sa vykonávali ako limitné, tzn. hodnotili sa neriedené vzorky vôd a výsledok sa vyjadril ako percento účinku, t. j. inhibície/stimulácie rastu rias, koreňa vyššej kultúrnej rastliny, bioluminiscencie baktérií, resp. mortality kôrovcov (na Obr. 1 a Obr. 2 je inhibícia vyjadrená kladnými hodnotami a stimulácia zápornými hodnotami). Pre všetky skúšobné organizmy sa výsledky hodnotili ako pozitívne vtedy, ak percento inhibície/stimulácie, príp. mortality organizmu bolo väčšie ako 30 % účinku v porovnaní s kontrolou. Na stanovenie ekotoxicity cyanobaktériových vodných kvetov sa používali extrakty pripravené z lyofilizovanej biomasy cyanobaktérií alebo zahusteného vodného kvetu. Vzhľadom k citlivosti na cyanotoxíny [10], ale aj z časových a ekonomických dôvodov sa používali testy na skúšobný organizmus *T. platyurus*. Stanovenie toxicity extraktu z biomasy cyanobaktérií sa vykonávalo ako limitná skúška. Mortalita lariev *T. platyurus* v percentách bola zaznamenaná po 24 hodinovej expozícii extraktu siníc. Toxické účinky boli kvantitatívne vyjadrené ako 50 % letálna koncentrácia (LC50 ml/l) a následne bola vypočítaná jednotka toxicity TU (bezrozmerné číslo, počíta sa ako podiel 100 ml/l a LC50 v ml/l, TU = 100/LC50). Z hľadiska ekotoxicity je nebezpečný taký vodný výluh, ktorý vykazuje pre najcitlivejší organizmus hodnotu TU ≥ 10 [12].

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky ekotoxikologických skúšok vzoriek vôd a vodných kvetov z VN Hriňová a VN Málinec z obdobia rokov 2009–2023 sú znázornené na Obr. 1. a Obr. 2.

Prevažná väčšina vzoriek povrchovej a surovej vody z VN Hriňová (Obr. 1.) vykazovala na použité skúšobné organizmy *V. fischeri*, *T. platyurus*, *D. subspicatus*, resp. *S. alba* účinky s hodnotou menšou ako 30 %. Sporadicky boli v povrchovej vode zaznamenané mierne zvýšené hodnoty akútnej toxicity v rozmedzí hodnôt 32 % – 51 % na jeden resp. dva organizmy (10. 10. 2013 na VF 42 % inhibícia a na TP 38 % mortalita; 24. 7. 2014 a 27. 8. 2015 32 % stimulácia a 51 % inhibícia na SA). V surovej vode bola len raz zistená 35 % stimulácia na *S. alba* (24. 7. 2014). Výsledky upravených, resp. pitných vôd boli odlišné. Pre *V. fischeri* a *S. alba* boli získané hodnoty toxicity menšie ako 30 % účinku za sledované obdobie (výnimkou boli mierne prekročené výsledky z 22.8.2013 s 47 % inhibíciou na *S. alba* a 33 % stimuláciou na VF 17. 8. 2009) a v podstate korelovali s hodnotami pre povrchovú a surovú vodu. Výrazne iné hodnoty účinkov boli zaznamenané pre skúšobný organizmus *T. platyurus*. Stanovené účinky mali často omnoho vyššie hodnoty mortality (38 % – 100 %). Zaujímavosťou sú nulové hodnoty pri stanovení mortality na TP namerané v dňoch 10. 10. 2013 a 25. 7. 2019.

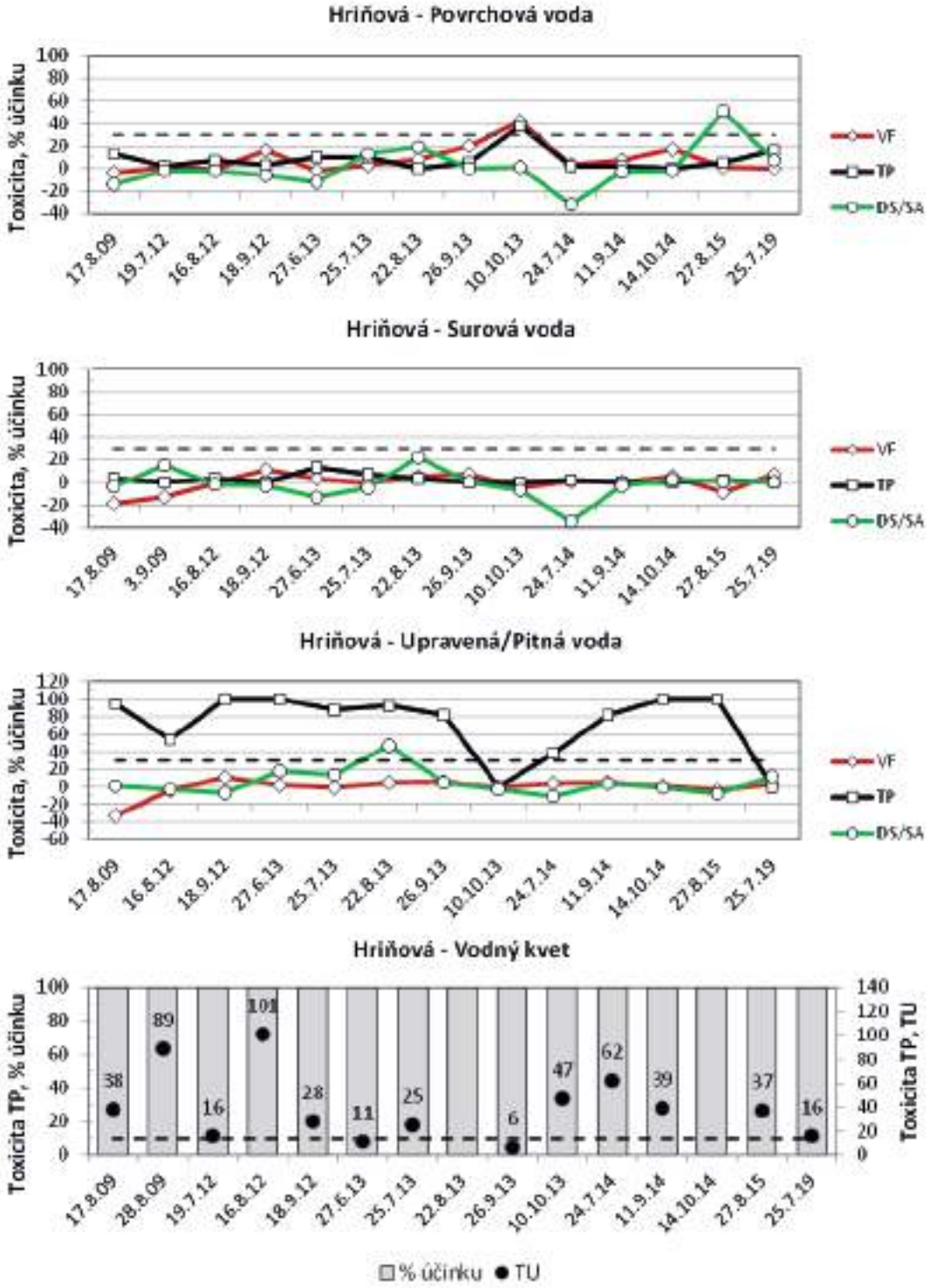
Všetkých 15 vzoriek cyanobaktériového vodného kvetu z VN Hriňová odobratých v hodnotenom období vykazovalo zhodne 100 % účinok na skúšobný organizmus *T. platyurus* s veľmi rôznymi hodnotami jednotiek toxicity, 4 hodnoty boli v rozmedzí 6–16, ostatné hodnoty v rozmedzí 25–89 a pre vodný kvet zo 16.8.2012 bola stanovená najvyššia hodnota TU = 101 (pre 3 vzorky TU nebola stanovená).

Vo VN Málinec (Obr. 2.) prevažná väčšina vzoriek povrchovej a surovej vody, podobne ako pri VN Hriňová, vykazovala na použité skúšobné organizmy *V. fischeri*, *T. platyurus*, *D. subspicatus*, resp. *S. alba* účinky s hodnotou menšou ako 30 %. V povrchovej vode boli zaznamenané mierne zvýšené hodnoty akútnej toxicity v rozmedzí hodnôt 41 % – 52 %, inhibície na *S. alba* (22. 8. 2019 41 %, 19. 9. 2019 52 %, 31. 7. 2020 44 % a 28. 9. 2023 48 %) a raz 90 % mortalita na *T. platyurus* (28. 9. 2023). V surovej vode bola iba raz zistená 51 % inhibícia na *S. alba* (22. 8. 2019). Prekvapivé výsledky boli získané vo vzorkách upravenej/pitnej vody z VN Málinec, keď namerané hodnoty boli zrovnateľné s hodnotami v surovej vode, a súčasne v povrchovej vode, čo znamenalo, že v UV/PiV boli zistené účinky menšie ako 30 % (výnimkou bol výsledok z 18. 8. 2009, kde VF dosiahlo 34 % stimuláciu a 22. 8. 2019 bola stanovená 56 % inhibícia na *S. alba*).

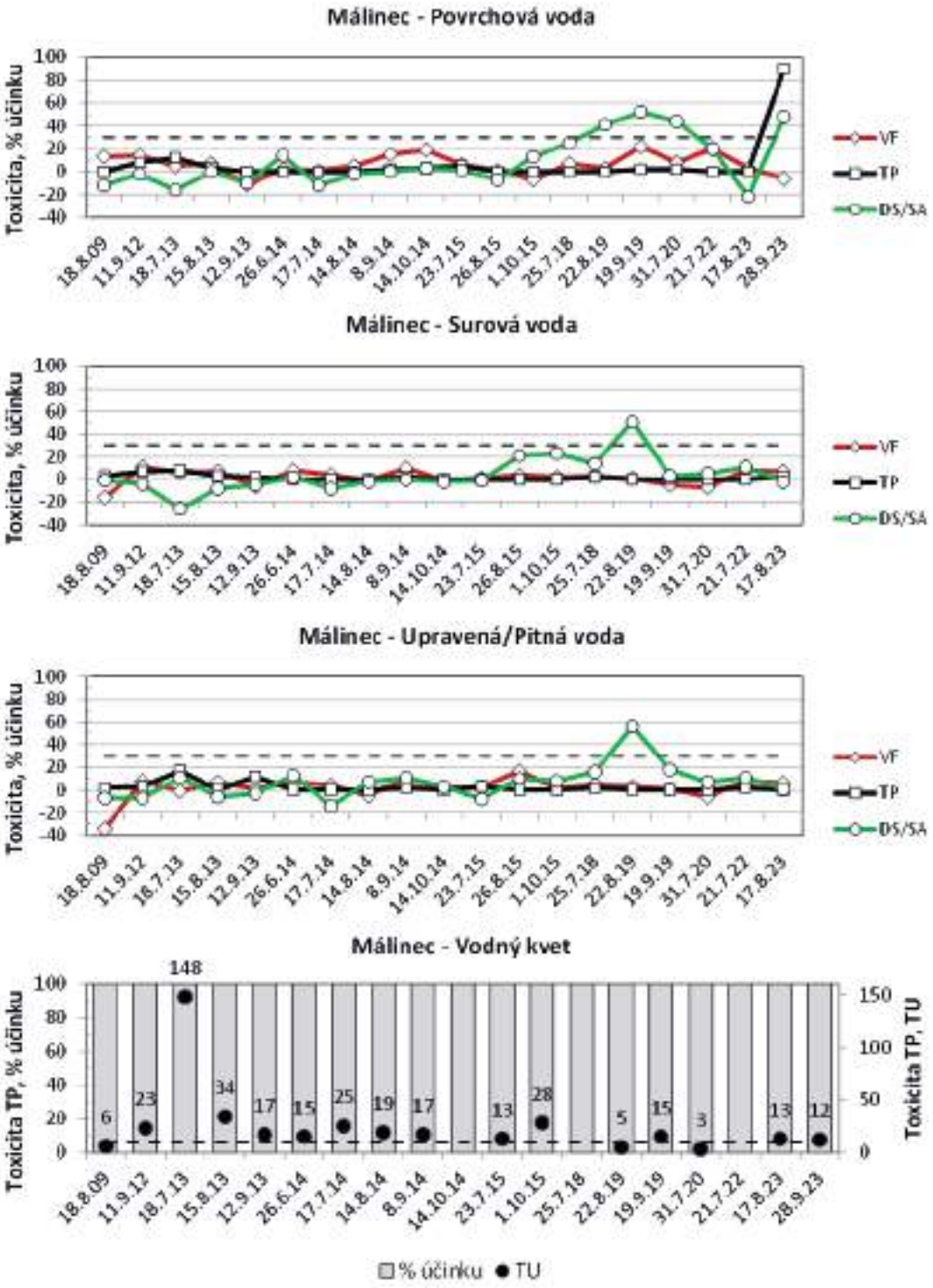
Všetkých 19 vzoriek cyanobaktériového vodného kvetu z VN Málinec odobratých v hodnotenom období vykazovalo zhodne 100 % účinok na skúšobný organizmus *T. platyurus* s relatívne podobnými hodnotami jednotky toxicity, 3 hodnoty boli v rozmedzí 3–6, ostatné hodnoty v rozmedzí 12–34 a pre 1 vodný kvet bola vo vzorke z 18. 7. 2013 stanovená najvyššia hodnota TU = 148 (pre 3 vzorky TU nebola stanovená).

Ako je zrejmé z vyššie uvedených výsledkov, prevažná väčšina analyzovaných vzoriek povrchovej a surovej vody z VN Hriňová (86 %) a VN Málinec (88 %) z obdobia rokov 2009–2023 vykazovala na použité skúšobné organizmy *V. fischeri*, *T. platyurus*, *D. subspicatus*, resp. *S. alba* účinky s hodnotou menšou ako 30 % a z ekotoxikologického hľadiska mala požadovanú kvalitu. V prípade ostatných vzoriek povrchovej a surovej vody, pri ktorých bolo zaznamenané prekročenie uvedeného limitu a boli vyhodnotené ako pozitívne, išlo len o občasné, v celkovom kontexte hodnotenia kvality výroby pitnej vody, nevýznamné percentuálne prekročenie účinku, preto sa ďalšie ekotoxikologické skúšanie už nevykonávalo. Súčasne je potrebné konštatovať,

že vyhovujúce výsledky stanovenia akútnej toxicity povrchovej a surovej vody boli dosiahnuté aj napriek tomu, že vzorky vôd boli odoberané na nádržiach práve v období kvitnutia siníc a pre zozbieranú biomasu bol ekotoxikologickými skúškami vždy dokázaný 100 % účinok na *T. platyurus.* (Obr. 1. a Obr. 2.).



Obr. 1. *Výsledky ekotoxikologických skúšok vzoriek vôd a vodných kvetov z VN Hriňová z obdobia rokov 2009 – 2023*



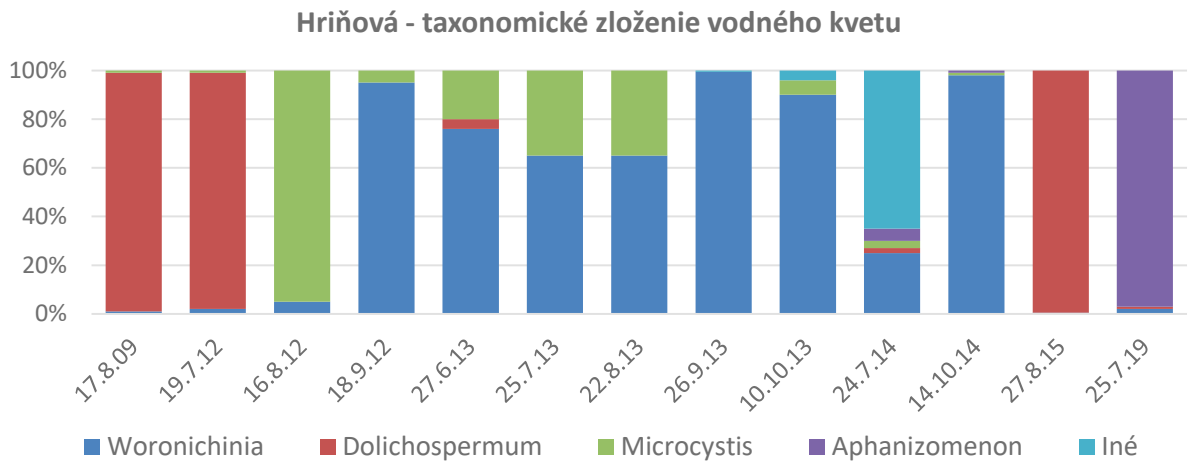
Obr. 2. *Výsledky ekotoxikologických skúšok vzoriek vôd a vodných kvetov z VN Málinec z obdobia rokov 2009–2023*

Pozoruhodné výsledky boli získané pri stanovení ekotoxicity upravených, resp. pitných vôd z oboch lokalít (Obr. 1. a 2.). Kým skoro všetky analyzované vzorky surových vôd z oboch nádrží nevykazovali toxické účinky na použité organizmy, pri vzorkách upravených, resp. pitných vôd boli pre VN Hriňová a VN Málinec získané diametrálne odlišné výsledky. Pri vyšetrovaní vzoriek vôd z Málinca v prevažnej väčšine nebol pozorovaný žiaden toxický účinok na skúšobné

organizmy a výsledky pre upravenú, resp. pitnú vodu kopírovali výsledky pre povrchovú a surovú vodu. Naopak, vzorky z Hriňovej vykazovali výrazne pozitívne toxické účinky na skúšobný organizmus *T. platyurus*. Jeden nulový výsledok ekotoxicity získaný vo vzorke vody po úprave (odobratej 10. 10. 2013) signalizoval, že voda v čase odberu pravdepodobne nebola dezinfikovaná. Prevádzkovateľ tento predpoklad potvrdil a zdôvodnil ho poruchou zariadenia pre dezinfekciu vody (druhý výsledok z 25.7.2019 naznačoval, že v uvedenom čase odberu vzorky mohlo dôjsť k podobnej udalosti). Účinky na ostatné 2 testovacie organizmy boli vyhodnotené na tejto VN ako negatívne. Rozdiely vo výsledkoch stanovenej toxicity UV/PiV by mohli byť spôsobené činidlami a spôsobmi používanými pri dezinfekcii pitnej vody na týchto lokalitách. V Hriňovej sa na dezinfekciu vody po úprave používa oxid chloričitý. Príčinou zvýšenej/vysokej akútnej ekotoxicity vody po úprave, resp. pitnej vody by mohol byť vznik chemických látok označovaných ako vedľajšie produkty dezinfekcie [13], ktoré môžu vznikať pri dezinfekcii vody, a tak spôsobovať pozitívny účinok na testovacie organizmy. Na dezinfekciu vody sa v Málinci používa plynný chlór a UV žiarenie. Pri tomto spôsobe úpravy skoro všetky vyšetrované vzorky UV/PiV mali vyhovujúce výsledky stanovenia akútnej toxicity (až na jednu vzorku z 22. 8. 2019).

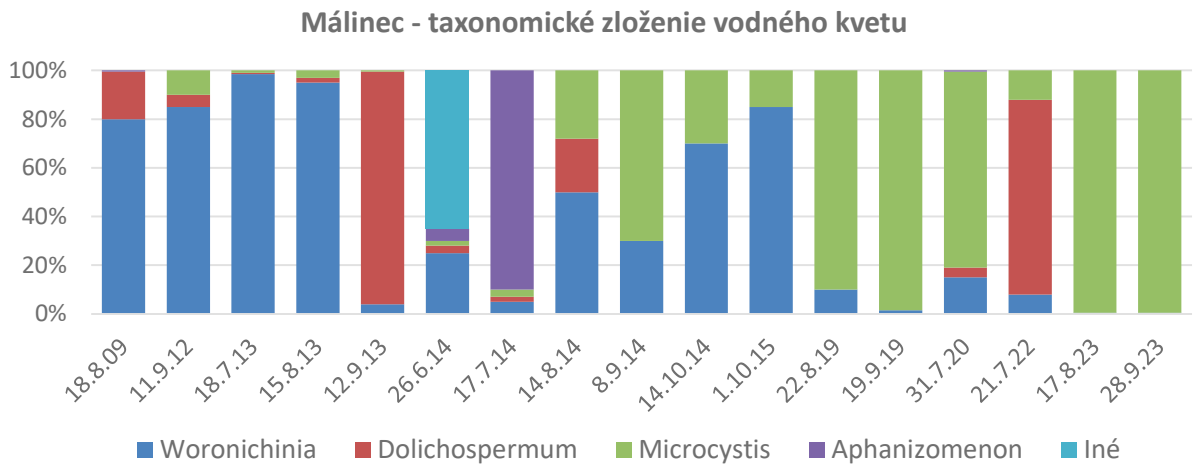
Z výsledkov stanovenia akútnej toxicity vyšetrovaných vzoriek vodných kvetov z vodárenských nádrží Hriňová a Málinec vyplýva, že všetky vzorky vykazovali pozitívny účinok (100 %) na skúšobný organizmus *T. platyurus* (Obr. 1. a Obr. 2.). Z prezentovaných hodnôt jednotiek toxicity cyanobaktériových vodných kvetov odobratých v sledovanom období rokov 2009–2019 je vidieť, že vo všeobecnosti vzorky vodného kvetu z VN Hriňová vykazovali väčší toxický účinok na *T. platyurus* (priemerná hodnota TU približne 40 jednotiek toxicity/vzorka) oproti vzorkám vodného kvetu z VN Málinec (priemerná hodnota TU približne 16 jednotiek toxicity/vzorka, pričom extrémna hodnota z 18. 7. 2013 do výpočtu nebola zahrnutá).

V období rokov 2009 až 2023, v mesiacoch jún až október, dochádzalo na VN Hriňová a VN Málinec k premnožovaniu cyanobaktérií a vznikali tzv. vodné kvety. Výsledky biologických rozborov taxonomického zloženia vodných kvetov, resp. zahusteného planktónu v sledovanom období sú v percentuálnom vyjadrení znázornené na Obr. 3. a Obr. 4. Biologickým rozborom vzoriek bolo zistené, že biomasa bola zvyčajne tvorená rôznymi rodmi/druhmi cyanobaktérií s najčastejším výskytom druhu *Woronichinia naegeliana*. Identifikované cyanobaktérie boli v oboch lokalitách približne rovnaké, a to aj napriek tomu, že odbery vzoriek vo vyššie uvedených mesiacoch neboli pravidelné a v niektorých rokoch z nádrží neboli odoberané vzorky na stanovenie akútnej toxicity.



Obr. 3. *Výsledky biologických rozborov taxonomického zloženia vodných kvetov v percentuálnom vyjadrení z VN Hriňová*

Vo vzorke vodného kvetu z VN Hriňová z augusta 2009 dominoval rod *Dolichospermum (Anabaena*). V júli 2012 bola opäť zistená jasná dominancia rodu *Dolichospermum,* ale už o mesiac bol úplne nahradený inými sinicami, a to druhmi rodu *Microcystis* s výraznou dominanciou *M. aeruginosa* a malým zastúpením druhu *W. naegeliana* (august 2012). O mesiac neskôr dominanciu prevzal druh *W. naegeliana*, ktorý si ju udržal až do októbra 2014, s občasnou koexistenciou viacerých druhov siníc z rodu *Microcystis*, resp. rozsievok (júl 2014). V auguste 2015 vo vodnom kvete už opäť dominoval rod *Dolichospermum* a v roku 2019 bola po prvýkrát zaznamenaná dominancia rodu *Aphanizomenom.*



Obr. 4. *Výsledky biologických rozborov taxonomického zloženia vodných kvetov v percentuálnom vyjadrení z VN Málinec*

Vo vzorkách vodného kvetu z VN Málinec dominoval od augusta 2009 do augusta 2013 druh *W. naegeliana.* K radikálnej zmene došlo za necelý mesiac, keď v septembri bol ako dominantný zaznamenaný rod *Dolichospermum*. V júni 2014 dominovali v planktóne prevažne rozsievky a asi 25% zastúpenie mal rod *Woronichinia*. Júl 2014 začal dominanciou rodu *Aphanizomenon,* ktorý bol v auguste úplne nahradený sinicami rodov *Dolichospermum*, *W. naegeliana* a *Microcystis*. Od augusta 2014 až do r. 2015 prevládali väčšinou kokálne druhy cyanobaktérií, a to hlavne *W. naegeliana.* Od augusta 2019 až do septembra 2023 už jasne dominoval rod *Microcystis* s jednou výnimkou v júli 2022, keď bol zaznamenaný ako dominantný vo vodnom kvete rod *Dolichospermum.*

Biologickým rozborom taxonomického zloženia vodných kvetov na VN Hriňová a VN Málinec bolo zistené približne rovnaké rodové, často aj druhové zloženie, ale v odlišnom časovom období. Najviac sa vyskytujúcimi druhmi cyanobaktérií, ktoré sú schopné produkovať toxíny, boli druhy rodu *Microcystis*, v menšej miere vláknité druhy rodov *Aphanizomenon* a *Dolichospermum*. Avšak práve druh *W. naegeliana,* ktorý sa počas obdobia kvitnutia cyanobaktérií na oboch vodárenských nádržiach najčastejšie vyskytoval, bol súčasne aj najčastejším dominantným druhom vo vodných kvetoch. Tento druh často tvoril vodné kvety spolu s cyanobaktériami rodov *Microcystis*, *Dolichospermum* a *Aphanizomenon*. Tieto výsledky sú v súlade so zisteniami Dreher a kol. (2023), ktorí vykonávali monitorovanie v americkom štáte Washington v období rokov 2007–2019 a zistili, že druh *W. naegeliana* bol prítomný v mnohých jazerách v celom štáte spolu s vyššie uvedenými cyanobaktériami. Kým pre cyanobaktériu *W. naegeliana* nie je v súčasnosti produkcia toxínov jednoznačne preukázaná [14, 15], o ostatných uvedených rodoch je známe, že sú schopné produkovať cyanotoxíny, a pri premnožení cyanobaktérií by mohli významne ovplyvniť toxicitu vôd [16].

4. ZÁVER

Kontrola cyanobaktérií tvoriacich vodný kvet vo vodách vodárenských nádrží a v biomase siníc sa najjednoduchšie vykonáva pomocou svetelnej mikroskopie. Metóda, ktorá umožňuje kvalitatívne a kvantitatívne stanovenie cyanobaktérií, má veľa výhod, ale aj niekoľko obmedzení, ako napr. vyžaduje si rozsiahle odborné znalosti a nie je schopná určiť, či identifikované taxóny cyanobaktérií reálne produkujú toxíny. V príspevku sú prezentované výsledky skúšok akútnej toxicity, pomocou ktorých bolo preukázané, že dva skúšobné organizmy sú schopné indikovať prítomnosť chemických látok. *T. platyurus* svojou vysokou mortalitou dokázal upozorniť na dlhé roky trvajúci stav, keď pri výrobe pitnej vody na VN Hriňová dochádza k rapídnej zmene kvality vody, pravdepodobne pri jej dezinfekcii. Podobne *S. alba,* výraznou inhibíciou rastu koreňa reagoval na zmenu kvality povrchovej, surovej a upravenej vody na VN Málinec. Ide o praktický príklad použitia ekotoxikologických metód ako skríningového spôsobu monitorovania kvality rôznych typov vôd, a to tak povrchových, ako aj surových, resp. upravených a pitných vôd, vrátane možnosti stanovenia toxicity vodných kvetov. Na presnú identifikáciu a stanovenie koncentrácie látok vznikajúcich v procese úpravy a dezinfekcie vody sú potrebné špeciálne fyzikálno-chemické analýzy.

5. ZOZNAM LITERATÚRY

1. STN EN ISO 5667-1 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 1: Pokyny na návrhy programov odberu vzoriek a techniky odberu vzoriek. ÚNMS SR, 2024
2. STN EN ISO 5667-3 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 3: Konzervácia vzoriek vody a manipulácia s nimi. ÚNMS SR, 2019
3. STN ISO 5667-4 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 4: Pokyny na odber vzoriek z jazier a umelých vodných nádrží. ÚNMS SR, 2018
4. STN ISO 5667-5 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 5: Pokyny na odber vzoriek pitnej vody z úpravní vôd a z distribučnej siete. SÚTN, 2007
5. STN EN ISO 5667-16 Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 16: Pokyny na biologické skúšanie vzoriek. ÚNMS SR, 2018
6. STN 75 7715 Kvalita vody. Biologický rozbor povrchovej vody. SÚTN, 2008. Oprava 1/2009. Zmena 1/2010
7. STN EN ISO 11348-2 Kvalita vody. Stanovenie inhibičného vplyvu vzoriek vody na svetelnú emisiu *Vibrio fischeri* (Skúška luminiscenčných baktérií). Časť 2: Metóda používajúca dehydratované baktérie. SÚTN, 2008. Zmena 1/2009. Zmena A1/2019
8. STN ISO 14380 Kvalita vody. Stanovenie akútnej toxicity na *Thamnocephalus platyurus (Crustacea, Anostraca)*. SÚTN, 2013
9. KIJOVSKÁ, L., 2013. Ekotoxikológia vo vodnom hospodárstve Slovenska. STU Bratislava, s. 162–163, ISBN 978-80-227-3944-3
10. MARŠÁLEK, B., BLÁHA, L., 2004. Comparison of 17 biotests for detection of cyanobacterial toxicity. Environ Toxicol 19:310–317
11. STN EN ISO 8692 Kvalita vody. Skúška inhibície rastu sladkovodných rias s jednobunkovými zelenými riasami. SÚTN, 2012
12. STN 83 8303 Skúšanie nebezpečných vlastností odpadov. Ekotoxicita. Skúšky akútnej toxicity na vodných organizmoch a skúšky inhibície rastu rias a vyšších kultúrnych rastlín. SÚTN, 1999
13. HRUDEY, E. S., 2008. Chlorination Disinfection By-Products (DBPs) in Drinking Water and Public Health in Canada. National Collaborating Centre on Environmental Health. s. 6–8
14. BOBER, B., BIALCZYK, J., 2017. Determination of the toxicity of the freshwater cyanobacterium *Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin. J Appl Phycol (2017) 29:1355–1362, DOI 10.1007/s10811-017-1062-1
15. DREHER, T. W., MATTHEWS, R., DAVIS, E. W. 2nd, MUELLER, R. S., 2023. *Woronichinia naegeliana*: A common nontoxigenic component of temperate freshwater cyanobacterial blooms with 30 % of its genome in transposons. Harmful Algae [online]. 2023. Vol. 125, 102433 DOI 10.1016/j.hal.2023.102433. Available from: https://doi.org/10.1016/j.hal.2023.102433
16. CHORUS, I., BARTRAM, J., 1999 Toxic Cyanobacteria in Water. A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. E & FN Spon. London and New York. ISBN 0-419-23930-8

POVOLOVACÍ PROCESY VODNÍCH ZDROJŮ A VODOVODŮ PODLE NOVÉHO STAVEBNÍHO ZÁKONA

JUDr. Zdeněk Horáček, Ph.D.

advokát a odborný asistent Fakulta právnická Západočeské univerzity v Plzni, sady Pětatřicátníků 320/14, 301 00 Plzeň 3

e-mail: zdenek@zdenekhoracek.cz

Nový stavební zákon č. 283/2021 Sb. nabývá pro obor vodního hospodářství účinnosti k 1. 7. 2024 a podstatně mění povolovací režimy vodních děl.

Od 1. 7. 2024 by měly vodní díla povolovat stavební úřady, přičemž povolování nakládání s vodami zůstává na vodoprávních úřadech. Podle § 34a odst. 2 nového stavebního zákona „*Působnost stavebního úřadu ve věcech […] vodního díla, u něhož nevykonává působnost stavebního úřadu krajský stavební úřad, včetně staveb tvořících s nimi soubor staveb, vykonává obecní stavební úřad obce s rozšířenou působností.*" V případě povolování nakládání s vodami se pravomoc nemění, tato zůstává na vodoprávních úřadech.

Tím se však mění základní koncepce povolování vodních děl. Vodní díla nebudou povolována vodoprávními úřady a v případech, kdy vyžadují nakládání s vodami, nebudou již povinně povolována spolu s nakládáním s vodami v jednom řízení, ale tyto procesy budou od 1. 7. 2024 oddělené. Podle § 9 odst. 9 vodního zákona, po novele související s novým stavebním zákonem, „*Povolení k nakládání s vodami, které lze vykonávat pouze užíváním vodního díla, je podmínkou vykonatelnosti povolení záměru tohoto vodního díla podle zvláštního zákona. Povolení k nakládání s vodami pozbývá platnosti, jestliže do 3 let ode dne, kdy nabylo právní moci, nenabude právní moci povolení záměru podle zvláštního zákona.*". Při zahájení stavby vodního díla tak bude muset mít stavebník pravomocné povolení k nakládání s vodami.

Důvodem pro uvedenou změnu je jednotnost povolování staveb stavebními úřady, ačkoliv úprava před novým stavebním zákonem nečinila žádné potíže v praxi, naopak byla logická a funkční. Postupem podle § 140 správního řádu bude sice možné řízení o povolení vodního díla a nakládání s vodami spojit, ale to bude záležet na příslušném úřadu, zda o spojení řízení rozhodne.

Stavební úřady dokončí i řízení zahájená do 30. 6. 2024, ačkoliv podle právní úpravy platné a účinné do 30. 6. 2024.

Vodní díla nespadají ani do drobných staveb dle přílohy č. 1 k novému stavebnímu zákonu, ani do jednoduchých staveb dle přílohy č. 2 (s výjimkou výrobkových čistíren odpadních vod), ani do vyhrazených staveb dle přílohy č. 3, bude se jednat o ostatní stavby, které budou mít dle nového stavebního zákona standardní povolovací režim. Řízení o povolení vodního díla bude od 1. 7. 2024 probíhat v rámci tzv. řízení o povolení záměru, které bude povinně jednofázové, v rámci něhož stavební úřad vodní dílo umístí a stavebně technicky povolí (obdobně jako do 30. 6. 2024 tzv. společné řízení, které však bylo na volbě stavebníka).

Nový stavební zákon předpokládá digitalizaci povolovacích procesů, nicméně tzv. portál stavebníka, který by měl být základním komunikačním kanálem mezi stavebníkem a veřejnou správou je pouhou možností, nikoliv povinností stavebníka. A bohužel k datu napsání tohoto příspěvku (druhá polovina května 2024, 6 týdnů před nabytím účinnosti nového stavebního

zákona) nejsou k dispozici prováděcí právní předpisy, které by stanovily základní pravidla portálu stavebníka na něj navázaných informačních systémů stavební správy. Stejně tak bohužel nejsou k dispozici ani další prováděcí právní předpisy a metodiky.

Je zřejmé, že povolovací procesy nejen vodních zdrojů a vodovodů, ale všech vodních děl podle nového stavebního zákona mohou být po 1. 7. 2024 minimálně v prvních obdobích účinnosti nového stavebního zákona složitější.

POŽADAVKY ATOMOVÉHO ZÁKONA NA ÚPRAVU VODY Z PODZEMNÍCH ZDROJŮ

Ing. Růžena Šináglová

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Senovážné nám. 9, 110 01 Praha 1,
e-mail: ruzena.sinaglova@sujb.cz

1. ÚVOD

Podzemní zdroje vody jsou využívány nejen ve vodárenství, k výrobě a dodávání pitné vody, ale i v jiných odvětvích, v potravinářství, průmyslu, farmacii aj. Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů [1], a vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (vyhláška) [2] stanoví ukazatele přípustného obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě určené pro veřejnou potřebu a také požadavky na pracoviště, kde je s vodou z podzemního zdroje nakládáno nebo kde je podzemní voda technologicky upravována. Stáčírny a úpravny vod, čerpací stanice, vodojemy a jiná zřízení, kde je s vodou z podzemního zdroje vody nakládáno, patří mezi *„pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu*", na kterých je třeba ověřovat pracovní podmínky osob vykonávajících zde práce ve vztahu k objemové aktivitě radonu v ovzduší. Zařízení na úpravu vlastností podzemní vody jsou *„pracovišti s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření*", kde je třeba, vedle ověřování pracovních podmínek osob vykonávajících zde práce, také vhodným způsobem nakládat s materiály, které jsou z těchto pracovišť uvolňovány. Úpravny vody mohou být některým z uvedených typů těchto atomovým zákonem stanovených pracovišť a je třeba je správně identifikovat s ohledem na rozdílně stanovené povinnosti pro jejich provozovatele.

2. EXISTUJÍCÍ A PLÁNOVANÉ EXPOZIČNÍ SITUACE DLE ATOMOVÉHO ZÁKONA

Atomový zákon rozlišuje dva druhy možných expozičních situací – expoziční situace existující (existují již v době, kdy se rozhoduje o případné regulaci ozáření) a expoziční situace plánované spojené se záměrným využíváním zdrojů.

Za existující expoziční situaci je v oblasti přírodních zdrojů považováno ozáření z radonu, ke kterému může v případě úpraven vody docházet při nakládání s vodou z podzemního zdroje. Pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu jsou vyjmenována v § 96 atomového zákona, úpravny vody jsou společně s dalšími podobnými pracovišti uvedeny v § 96 odst. 1 písm. b) tohoto zákona.

Za plánované expoziční situace je považováno ozáření při práci s materiálem se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů, v takovém případě se jedná se o pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření (§ 93 odst. 1, písm. b) atomového zákona). K těmto pracovištím patří i úpravny vody s technologickou úpravou vlastností vody z podzemního zdroje, neboť podzemní voda nebo vodárenské kaly mohou být materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu. Tento typ úpraven vody je pracovištěm uvedeným v § 87 písm. o) vyhlášky – *„provoz zařízení na úpravu vlastností podzemní vody nebo nakládání s vodárenskými kaly z úpravy vody z podzemního zdroje*".

V úpravnách vody mohou existovat obě výše popsané expoziční situace. V případě konkrétní úpravny vody je třeba uvážit to, zda, kde je surová voda z podzemního zdroje technologicky upravována, nebo je s ní jen nakládáno. Vždy je třeba správně posoudit, o jakou expoziční situaci se v daném případě jedná, neboť rozsah povinností provozovatelů úpraven vod je odlišný pro každou z uvedených expozičních situací.

3. POVINNOSTI PROVOZOVATELŮ ÚPRAVEN VOD

Provozovatelé úpraven vod jsou povinni, dle § 93 odst. 2 a § 96 odst. 2 atomového zákona, zajistit radiační ochranu pracovníků vykonávajících zde práce i radiační ochranu obyvatelstva v okolí. K základním povinnostem společným pro oba typy pracovišť (plánované i existující expoziční situace) patří:

- zajistit měření za účelem stanovení osobních dávek pracovníka a evidenci výsledků měření a osobních dávek pracovníka,
- oznamovat Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) informace o pracovišti, výsledcích měření a osobních dávkách pracovníka,
- zajistit optimalizaci radiační ochrany pracovníka, pokud je překročena stanovená úroveň,
- informovat každého pracovníka o možném zvýšeném ozáření z přírodního zdroje záření, o výsledcích měření na pracovišti, o osobních dávkách stanovených měřením a o související zdravotní újmě v důsledku ozáření a o provedených opatřeních ke snížení ozáření.

Je-li úpravna vody pracovištěm stanoveným v § 93 odst. 1 písm. b) atomového zákona – plánované expoziční situace – je třeba navíc zajistit ochranu těhotné ženy podle § 64 odst. 3 atomového zákona a splňovat podmínky stanovené v § 95 atomového zákona pro uvolňování radioaktivní látky z pracoviště. To znamená, že pokud jsou z úpravny vody uvolňovány radioaktivní látky (kaly, usazeniny, odpadní vody a odpady, použité filtry a filtrační náplně apod.), je každý, kdo uvolňuje radioaktivní látku z tohoto pracoviště, povinen:

- předcházet neodůvodněnému nahromadění radioaktivní látky uvolňované z pracoviště,
- zajistit měření a hodnocení obsahu radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště, a to včetně případů, kdy je uvolňovaná radioaktivní látka určena pro opakované použití nebo recyklaci,
- výsledky měření evidovat a oznamovat SÚJB,
- zpracovat vnitřní předpis pro nakládání s radioaktivní látkou uvolňovanou z pracoviště a postupovat podle něj.

Radioaktivní látku lze z úpraven vod uvolňovat bez povolení SÚJB v tom případě, kdy nejsou překročeny stanovené uvolňovací úrovně. Bez povolení SÚJB lze radioaktivní látku uvolňovat též v případě, kdy je prokázáno, že efektivní dávka každého jednotlivce z obyvatelstva způsobená v kalendářním roce uvolněním radioaktivní látky je menší než 0,3 mSv. V takovém případě je provozovatel úpravny vody povinen oznámit SÚJB druh uvolňované radioaktivní látky, aktivitu radionuklidů v uvolňované radioaktivní látce, místo, čas a způsob uvolňování radioaktivní látky a zhodnocení ozáření jednotlivce z obyvatelstva prokazující splnění podmínky pro tento způsob uvolňování. V ostatních případech je možné uvolňovat radioaktivní látku jen na základě povolení SÚJB.

4. MĚŘENÍ ZA ÚČELEM STANOVENÍ OSOBNÍCH DÁVEK PRACOVNÍKA

Při nakládání s vodou z podzemních zdrojů se radon, radioaktivní plyn obsažený v surové vodě, může z vody uvolňovat a hromadit se ve vnitřním prostředí staveb. Objemová aktivita radonu (OAR) se měří jak u pracovišť s možným zvýšeným ozářením z radonu, tak u pracovišť

s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu. U pracovišť s možným zvýšeným ozářením z radonu se měření OAR provádí tam, kde je celková pracovní doba pracovníků delší než 100 hodin za rok, u pracovišť s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu se měření OAR provádí vždy. Na pracovišti s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu musí být provedeno také měření k posouzení, zda je překročena úroveň 1 mSv/rok pro efektivní dávku, která nezahrnuje dávku obdrženou z ozáření z přírodního pozadí a z ozáření radonem. Postupy měření jsou uvedeny v Doporučení SÚJB [3,4].

Měření na pracovišti s možným zvýšeným ozářením z radonu

Mezi pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu patří ty úpravny vody, ve kterých je nakládáno s vodou z podzemních zdrojů, ale nedochází zde k úpravě vlastností surové vody. Voda je do sítě dodávána bez úpravy (případně jen po odstranění radonu, mechanických nečistot, anebo po hygienickém zabezpečení), kromě úpraven vody se může jednat také o čerpací stanice, vodojemy, stáčírny vody a lázeňská zařízení. Na pracovišti s možným zvýšeným ozářením z radonu musí být prováděno měření k posouzení, zda je překročena referenční úroveň 300 Bq/m^3 pro průměrnou OAR. Měření OAR na pracovišti s možným zvýšeným ozářením z radonu se neprovádí tam, kde je celková pracovní doba pracovníků kratší než 100 hodin za rok.
Pokud se měřením zjistí, že referenční úroveň 300 Bq/m^3 pro průměrnou OAR v ovzduší není překročena, pracoviště se dále již nesleduje, pokud na pracovišti nedojde ke změně pracovních podmínek, změně organizace práce anebo k úpravě pracoviště včetně změny ventilace. V případě zjištění překročení referenční úrovně je třeba se zabývat tzv. optimalizací radiační ochrany, tedy hledat možné cesty, kterými lze ozáření z radonu omezit – např. zda je možné provést úpravu pracoviště, zajistit řízenou výměnu vzduchu, změnit organizaci nebo režim práce apod.). O provedení optimalizace radiační ochrany a o provedených krocích k omezení ozáření je třeba podat písemnou zprávu SÚJB, po provedené optimalizaci se provádí opakované měření a v případě překročení referenční úrovně i na základě opakovaného měření se určuje efektivní dávka pro jednotlivé pracovníky.

Pro fyzické osoby je stanovena hodnota 6 mSv za rok pro efektivní dávku, přičemž efektivní dávky jednotlivých pracovníků jsou sčítány, pokud vykonávají práce na více pracovištích. Pokud může být tato hodnota efektivní dávky překročena, jedná se o *„pracoviště se zvýšeným ozářením z radonu“* dle § 97 atomového zákona. Měření a určování efektivních dávek se na těchto pracovištích provádí každoročně.

Měření na pracovišti s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu

Pracovišti s možným zvýšeným ozářením z přírodního radionuklidu jsou ty úpravny vody, ve kterých dochází k úpravě vlastností vody technologickými postupy, které zachycují z vody nežádoucí příměsi obsažené v surové vodě, jedná se o všechna zařízení, kde dochází k úpravě podzemní vody, pro jakékoliv účely. Podzemní voda může být upravována např.:
- v úpravnách pitné vody k veřejnému zásobování, k výrobě balené a minerální vody, k použití v potravinářských podnicích, nebo ve veřejných bazénech a koupalištích,
- v průmyslových podnicích na vodu technologickou; v chemických provozech
- ve farmaceutické výrobě, včetně úplné demineralizace vody.

Protože voda z podzemního zdroje může obsahovat přírodní radionuklidy, jedná se o pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu, kde musí být provedeno měření pro posouzení, zda jsou překročeny tyto úrovně:
- úroveň 300 Bq/m^3 pro průměrnou OAR v ovzduší a
- úroveň 1 mSv/rok pro efektivní dávku, která nezahrnuje dávku obdrženou z ozáření z přírodního pozadí a z ozáření radonem.

Měření se na úpravně vody, která je pracovištěm s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu, provádí vždy, bez ohledu na délku pracovní doby pracovníků. Pokud se měřením prokáže, že úroveň 300 Bq/m^3 pro průměrnou OAR ani úroveň 1 mSv/rok pro efektivní dávku nejsou překročeny, úpravna vody se dále již nesleduje, pokud nedojde ke změně pracovních podmínek, výrobních postupů nebo surovin.

V případě překročení některé z výše uvedených úrovní, je třeba měření opakovat a po provedené optimalizaci radiační ochrany, na základě opakovaného měření a určení doby pobytu na pracovišti, stanovit osobní dávky pro jednotlivé pracovníky, tyto dávky musí být sčítány v případě výkonu práce na více pracovištích. Pro fyzické osoby vykonávající práce na pracovišti je stanovena hodnota 6 mSv za rok pro efektivní dávku. V případě, že není u žádného pracovníka překročena efektivní dávka 6 mSv/rok, pracoviště se dále již nesleduje, pokud nedojde ke změně pracovních podmínek, výrobních postupů nebo surovin. Pokud může být tato hodnota efektivní dávky překročena, jedná se o *„pracoviště se zvýšeným ozářením z přírodního zdroje záření"* dle § 94 atomového zákona, na kterých musí být osobní dávky pracovníka určovány opakovaně v každém kalendářním roce.

5. UVOLŇOVÁNÍ PŘÍRODNÍCH RADIONUKLIDŮ

Při procesu technologické úpravy vody vznikají odpadní produkty, které, pokud jsou uvolňovány mimo areál úpravny vody, jsou považovány za radioaktivní látky definované v § 2 odst. 2 písm. b) atomového zákona a je třeba měřením zjišťovat obsah přírodních radionuklidů v nich a porovnat s tzv. uvolňovacími úrovněmi a podle toho s těmito látkami nakládat [5]. Za radioaktivní látku jsou považovány látky, které z hlediska možného ozáření vyžadují regulaci podle atomového zákona, bez ohledu na skutečný obsah radionuklidů. Na pracovišti s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje vyžadují regulaci látky uvedené v § 91 odst. 1 vyhlášky, jsou to usazeniny, kaly, použité filtry, odpadní vody a odpady uvolňované mimo pracoviště a materiály z pracoviště určené k opakovanému použití nebo recyklaci.

Pozornost pro uvolňování radioaktivních látek při úpravě vlastností podzemní vody by měla být zaměřena především na ty případy, kdy jsou radionuklidy ve větší míře obsaženy v surové vodě, zatímco po úpravě vody se v dodávané pitné vodě v této míře již nevykytují. Zvýšený výskyt přírodních radionuklidů lze očekávat u těch podzemních vod, které jsou v kontaktu s horninovým prostředím obsahujícím dceřiné produkty přirozených rozpadových řad. Při uvolňování přírodních radionuklidů z úpraven vod se sledují zejména kaly, filtry, veškeré separované materiály a odpadní voda. Obsah přírodních radionuklidů v nich je třeba ověřit měřením a výsledky měření porovnat s příslušnými uvolňovacími úrovněmi stanovenými pro zvolený způsob jejich likvidace. Uvolňovací úrovně jsou stanoveny v § 105 vyhlášky pro uvolňování pevných látek, pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizace pro veřejnou potřebu a pro ukládání na skládky.

Uvolňovací úrovně pro uvolňování pevných materiálů včetně jejich ukládání na skládky odpadu, uvolňování k opakovanému použití, recyklaci nebo spalování, jsou:
- hmotnostní aktivita přírodních radionuklidů z řady ^{238}U 1 kBq/kg,
- hmotnostní aktivita přírodních radionuklidů z řady ^{232}Th 1 kBq/kg, nebo
- hmotnostní aktivita ^{40}K 10 kBq/kg,

tyto uvolňovací úrovně se nepovažují za překročené, pokud průměrná hmotnostní aktivita žádného radionuklidu není větší než hodnota uvolňovací úrovně.
Uvolňovací úrovně pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových jsou:
- průměrná celková objemová aktivita alfa ve všech látkách 0,5 Bq/l a
- průměrná celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K ve všech látkách 1 Bq/l,

tyto uvolňovací úrovně se nepovažují za překročené, pokud průměrná objemová aktivita alfa nebo průměrná objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K není větší než hodnota uvolňovací úrovně.

Uvolňovací úrovně pro vypouštění odpadních vod do kanalizace pro veřejnou potřebu jsou:
– průměrná celková objemová aktivita alfa ve všech látkách 50 Bq/l a
– průměrná celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K ve všech látkách 100 Bq/l,
tyto uvolňovací úrovně se nepovažují za překročené, pokud průměrná objemová aktivita alfa nebo průměrná objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K není větší než hodnota uvolňovací úrovně.

6. ZÁCHYT PŘÍRODNÍCH RADIONUKLIDŮ PŘI ÚPRAVĚ PODZEMNÍ VODY

Při technologické úpravě vody dochází k odstraňování přírodních radionuklidů nejen plánovaně (např. při cíleném odstranění uranu nebo radonu z vody), ale také neplánovaně při odstraňování jiných látek, například při odstraňování železa a manganu dochází s vysokou účinností také k záchytu radioizotopů radia 226 a radia 228, jiné technologie zachytávají uran a jiné radionuklidy. Z technologických procesů, které nejsou primárně určeny pro cílené odstraňování radionuklidů, ale jiných prvků, vznikají vodárenské kaly a prací vody, kde je možné očekávat radionuklidy, které byly původně obsaženy v surové vodě. Radionuklidy mohou být zachyceny také ve filtračních náplních. V následující tabulce je uveden přehled technologií používaných k úpravě vody, u kterých lze předpokládat záchyt přírodních radionuklidů s vysokou účinností a jejich výskyt v odpadních látkách.

Tab. 1. Přehled technologií na úpravu vody, při kterých vzniká uvolňovaná radioaktivní látka s obsahem přírodních radionuklidů

Technologie se záchytem radia	**Výskyt radia**
Odstranění mechanických nečistot (vodárenské písky, tříděné, vrstvené)	odpadní voda, filtrační náplně
Odstranění Fe a Mn (upravené vodárenské písky, oxid manganičitý)	odpadní voda, filtrační náplně
Odstranění Fe a Mn (provzdušnění, oxidace, srážení, filtrace)	odpadní voda, kaly
Technologie se záchytem uranu	**Výskyt uranu**
Iontová výměna (anex)	filtrační náplně
Koagulace/filtrace	filtry, kaly
Aktivovaný oxid hlinitý (GEH)	odpadní voda, filtrační náplně
Technologie se záchytem uranu i radia	**Výskyt uranu i radia**
Iontová výměna (katex, směsi)	odpadní voda, filtrační náplně
Úprava tvrdosti (katex. pryskyřice)	odpadní voda, filtrační náplně
Selektivní sorbenty	odpadní voda, filtrační náplně
Reverzní osmóza	odpadní voda

7. SEZNAM ZKRATEK

OAR	objemová aktivita radonu
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost

8. ZÁVĚR

Účelem příspěvku je seznámit s pravidly, které je třeba dodržovat při procesu úpravy vod z podzemních zdrojů z důvodu ochrany osob a životního prostřední před nežádoucími účinky ionizujícího záření. Provozovatelé úpraven vody musí plnit podmínky stanovené atomovým zákonem a vyhláškou pro jejich provoz, zejména ověřovat pracovní podmínky osob, které zde vykonávají práce a dodržovat povinnosti při uvolňování radioaktivních látek. Při výběru vhodných technologií k úpravě vody by měl být brán zřetel na obsah přírodních radionuklidů v surové vodě a pozornost věnována těm technologiím, kde jsou dány předpoklady ke kumulaci radionuklidů v odpadních látkách. Pokud jsou tyto látky uvolňovány z úpravny vody, je třeba se předem měřením ujistit o tom, že jsou splněny příslušné uvolňovací úrovně a volit vhodný způsob nakládání s těmito látkami.

SEZNAM LITERATURY

1. ZÁKON č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších právních předpisů
2. VYHLÁŠKA č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
3. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST (2022): Doporučení: Stanovování osobních dávek pracovníků na pracovištích s možným zvýšeným ozářením z radonu, čj. SÚJB/OS/15484/2022, DR-RO-5.5 (Rev.0.1), dostupné z: https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/prirodni-zdroje-ionizujiciho-zareni/aktualne-platna-doporuceni-sujb
4. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST (2018): Doporučení: Stanovování osobních dávek pracovníků na pracovištích s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu, čj. SÚJB/OS/3914/2018, DR-RO-5.2 (Rev.0.0), dostupné z: https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/prirodni-zdroje-ionizujiciho-zareni/aktualne-platna-doporuceni-sujb
5. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST (2018): Doporučení: měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření podle § 95 odst. 1 písm. b) atomového zákona, čj. SÚJB/OS/20299/2017, DR-RO-5.3 (Rev.0.0), dostupné z: https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/prirodni-zdroje-ionizujiciho-zareni/aktualne-platna-doporuceni-sujb

PLOCHY POVODÍ PRE MIESTA ODBERU PODZEMNEJ VODY URČENEJ NA ĽUDSKŮ SPOTREBU

Anna Patschová, Katarína Tarabová

VÚVH, Nábrežie arm. Gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava
e-mail: Anna.Patschova@vuvh.sk, Katarina.Tarabova@vuvh.sk

1. ÚVOD

Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2020/2184 o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu (ďalej len „smernica o pitnej vode") má okrem iného za cieľ zabezpečiť lepšiu kvalitu pitnej vody a prístup k nej. Povinne zavádza úplný prístup k bezpečnosti vody založený na manažmente rizika v širšom rozsahu ako doteraz, nakoľko sa vzťahuje na celý dodávateľský reťazec od plochy povodia, cez odber, úpravu, akumuláciu a distribúciu pitnej vody. Podrobnosti o vykonávaní manažmentu rizík podľa článku 8 smernice o pitnej vode sú v SR transponované do vyhlášky MŽP SR č. 326/2023 Z. z. o podrobnostiach manažmentu rizík v súvislosti s plochami povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu. Súčasťou manažmentu rizík je aj posúdenie rizika a riadenie rizika v súvislosti s plochami povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu. Definícia pojmu *„plochy povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu"* sa v smernici o pitnej vode nenachádza. Je ponechané na členské štáty, aby si definovali plochu povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu tak, že zohľadnia miestne špecifiká a prispôsobia ju vzhľadom k spoľahlivému posúdeniu a riadeniu rizík.

V SR definuje plochu povodia Vodný zákon (zákon č. 364/2004 Z.z.) v § 2 časti aw) osobitne pre podzemnú vodu a pre povrchovú vodu. Plochou povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu pre povrchovú vodu je územie nad miestom odberu vymedzené hydrologickými charakteristikami. Pre podzemnú vodu je plochou povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu vymedzená časť vodného útvaru prislúchajúca miestu tvorby a akumulácie zdrojov podzemnej vody. „Plocha povodia", v angl. „catchment area" pri podzemnej vode nevyjadruje dvojrozmernú plochu, ale sa jedná o trojrozmernú štruktúru. Za účelom stanovenia plôch povodia bol spracovaný na VÚVH návrh metodiky pre vymedzenie plôch povodia pre podzemnú vodu.

V príspevku sa venujeme plochám povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu pre podzemnú vodu (ďalej len „plocha povodia"). V SR je podzemná voda hlavným zdrojom pitnej vody. Až 82 % pitnej vody pochádza zo zdrojov podzemnej vody a z toho až 73 % predstavujú odbery na účely zásobovania obyvateľstva formou verejných vodovodov. Preto manažment rizík podporuje zvýšenie ochrany podzemnej vody využívanej pre pitné účely, aby bola dostupná v dostatočnom množstve a kvalite. Správne vymedzené plochy povodia umožnia lepšie realizovať opatrenia a spoľahlivejšie chrániť podzemnú vodu, t.j. prispejú k zabezpečeniu bezpečnej dodávky pitnej vody.

2. SÚČASNÝ STAV OCHRANY VODÁRENSKÝCH ZDROJOV

Na ochranu vodárenských zdrojov v SR sa uplatňuje v zmysle vodného zákona okrem všeobecnej ochrany vôd aj špeciálna ochrana formou vyhlásenia chránenej vodohospodárskej oblasti (CHVO) a formou určenia ochranného pásma vodárenského zdroja (VZ). Pre vymedzenie plôch

povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu je dôležité poznanie existujúcich podmienok ochrany konkrétnych vodárenských zdrojov.

Ochranné pásmo určuje orgán štátnej vodnej správy na ochranu kvality a zdravotnej bezchybnosti vody vodárenských zdrojov, ktoré sa využívajú, vo vzťahu k daným prírodným pomerom a vo vzťahu k existujúcim vplyvom ľudskej činnosti, na základe posudku orgánu na ochranu zdravia. V rozhodnutí o určení ochranných pásiem VZ sú určené hranice a spôsob ochrany, najmä zákazy alebo obmedzenia činností, ktoré poškodzujú alebo ohrozujú množstvo a kvalitu vody alebo zdravotnú bezchybnosť vody vodárenského zdroja. Podrobnosti o určovaní OPVZ, o opatreniach na ochranu vôd a o technických úpravách v ochranných pásmach VZ ustanovuje vyhláška MŽP SR č. 29/2005 Z. z. Vyhláška v prílohách špecifikuje zásady určovania rozsahu, hraníc a upresňuje spôsob ochrany pre jednotlivé stupne ochranných pásiem VZ pre podzemnú vodu v krasovo-puklinovom prostredí, puklinovom prostredí a medzizrnovom horninovom prostredí, aj pre priamy odber vody z povrchového toku a odber z vodárenskej nádrže). V prípade podzemných vôd návrh na vymedzenie pre zriadenie ochranného pásma VZ vychádza z odborného hydrogeologického posúdenia a zhodnotenia prírodných pomerov oblasti.

Ochranné pásmo VZ I. stupňa sa určuje pre všetky vodárenské zdroje podzemnej vody a slúži na ochranu v bezprostrednej blízkosti miesta odberu vody alebo objektov záchytných zariadení (pramennej záchytky, vŕtanej studne alebo kopanej studne, horizontálnych alebo iných záchytných zariadení) pred poškodením. Hranica ochranného pásma je najmenej 10 m od odberného zariadenia, tak aby zahŕňala aj okolité vodohospodárske objekty musí byť zabezpečená oplotením a označená tabuľami. Do ochranného pásma I. stupňa je zákaz vstupu a je tu zakázaná každá činnosť, ktorá nesúvisí s prevádzkou a údržbou ochranného pásma. Ak podmienky na území ochranného pásma I. stupňa zabezpečujú v dostatočnej miere ochranu výdatnosti, kvality a zdravotnej bezchybnosti vodárenského zdroja, ďalšie stupne ochranných pásiem sa neurčujú.

Ochranné pásmo VZ II. stupňa slúži na ochranu množstva, kvality a zdravotnej bezpečnosti podzemnej vody pred ohrozením zo vzdialenejších miest v celej infiltračnej oblasti alebo jej časti.

Ochranné pásmo VZ III. stupňa slúži na zvýšenie ochrany vodárenského zdroja, najmä vo vzťahu k ochrane pred znečistením nebezpečnými látkami, a ak infiltračná oblasť podzemnej vody alebo hydrologické povodie povrchovej vody nie je zahrnuté v celom rozsahu do ochranného pásma II. stupňa alebo ak ochrana vôd nie je zabezpečená ochranou územia podľa osobitných predpisov. V súčasnosti v SR nemáme určené ochranné pásmo VZ III. stupňa pre vodné zdroje v krasovo-puklinovom prostredí, puklinovom prostredí a medzizrnovom horninovom prostredí. Ochranné pásmo VZ III. stupňa je určené len pre priamy odber vody z povrchového toku a z vodárenskej nádrže.

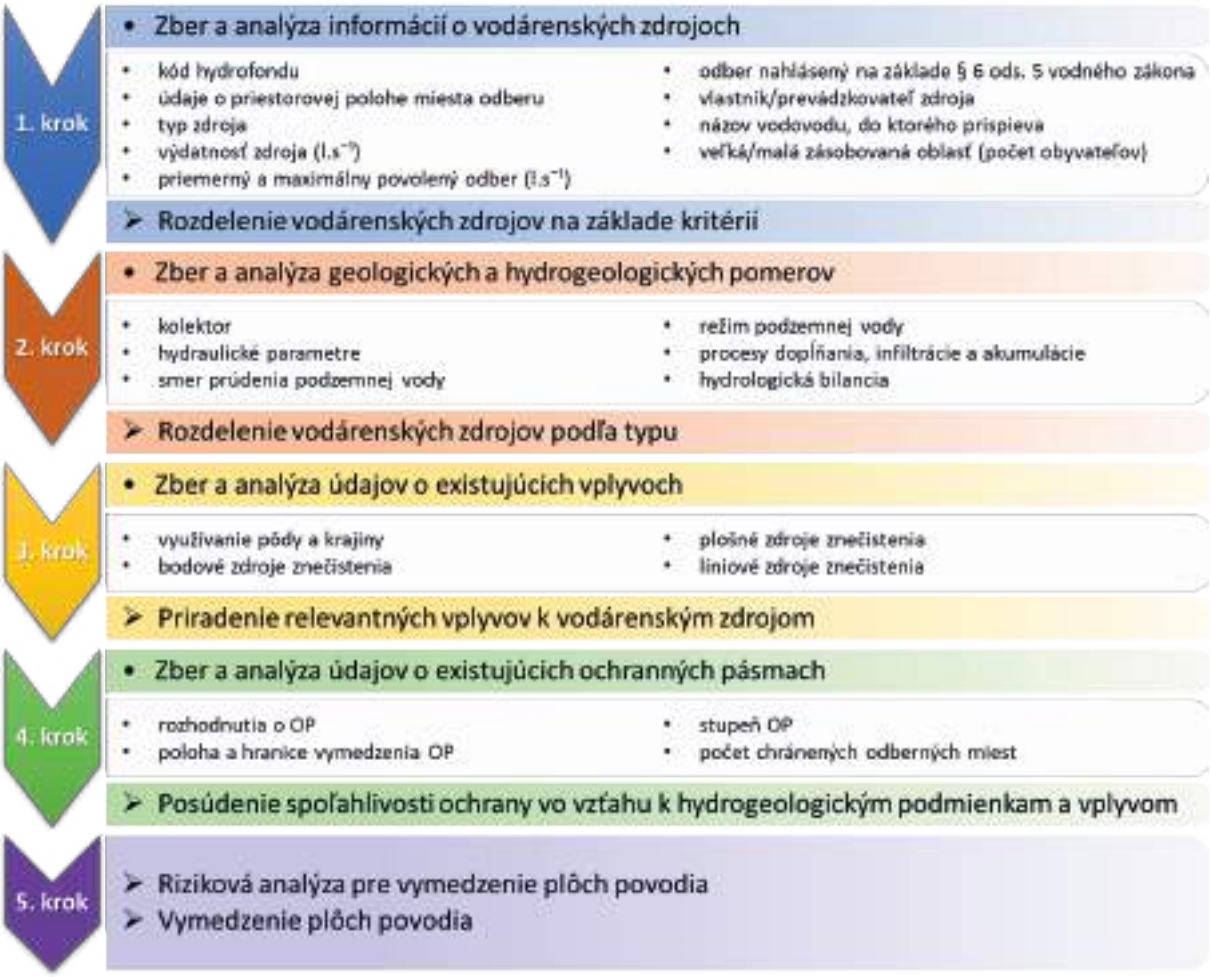
Existujúce ochranné pásma VZ v SR boli stanovené v rámci hydrogeologických prieskumov pri zriaďovaní zdrojov pitných vôd v období od prvej polovice 20 storočia až do doteraz. Vodný zákon pritom ustanovuje, že ochranné pásma VZ určené podľa predchádzajúcich právnych predpisov sa považujú za ochranné pásma VZ podľa súčasného zákona, preto často nemusia spĺňať súčasné požiadavky a nezahŕňajú všetky v súčasnosti existujúce vplyvy ľudskej činnosti. Za účelom aktualizácie vymedzenia ochranných pásiem a zjednotenia ich metodického určenia novelou vodného zákona v roku 2023 bolo ustanovené (§ 80g), že subjekty, ktoré majú povolenie na odber vody, a ktorým boli vydané rozhodnutia o určení ochranných pásiem vodárenského zdroja podľa doterajších predpisov, sú povinné do 31. decembra 2027 požiadať o ich prehodnotenie.

3. NÁVRH POSTUPU PRE VYMEDZENIE PLOCHY POVODIA

Základný návrh postupu pre vymedzenie plochy povodia sme rozdelili do 5 krokov. Prvé 4 kroky sú založené na zbere a analýzach základných údajov a informácií:

1. o vodárenských zdrojoch a klasifikácia vodárenských zdrojov na základe kritérií – lokalita, odberateľ, množstvo odoberanej vody, schválený odber, typ zdroja, zásobovaná oblasť,
2. o hydrogeologických pomeroch – kolektor, hydraulické parametre prostredia, smer prúdenia podzemnej vody, hydrologický odtok z územia, bilancia, proces a miesto tvorby (infiltračná oblasť) a doplňanie podzemnej vody, zaradenie do hydrogeologického rajónu a útvaru podzemnej vody,
3. o súčasných významných antropogénnych vplyvoch a využívaní krajiny a potenciálnom znečistení,
4. o existujúcich ochranných pásmach a chránených územiach.

Posledným 5. krokom je súhrnná analýza rizík ako kombinácia podmienok a vplyvov z analýzy uskutočnenej v krokoch 1 – 4 a následné vymedzenie plochy povodia pre jednotlivé miesta odberu na základe analýzy rizika (krok 5). Schéma postupu je znázornená na *Obr. 1*. Uvedené analýzy budú spracované v prostredí GIS aj s mapovým výstupom.



Obr. 1. *Schéma návrhu postupu vymedzenia plôch povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu*

Vodárenské zdroje

Vodárenským zdrojom je miesto v útvaroch podzemnej/povrchovej vody, z ktorého je voda odoberaná v pôvodnom stave alebo po jej úprave a využívaná na zásobovanie pitnou vodou, alebo umožňujúce odber vôd na takýto účel, z ktorého priemerný denný odber/priemerná denná produkcia je najmenej 10 m^3 vody alebo zásobuje viac ako 50 osôb. Za účelom identifikácie a vymedzenia plochy povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu je nevyhnutné identifikovať všetky vodárenské zdroje s odberom nad 10 m^3 vody za deň, t.j. 0,12 $l.s^{-1}$ (1. krok). V SR sú informácie o vodárenských zdrojoch evidované v 2 informačných systémoch – Evidencii o vodách a ZberVaK, ktoré boli využité.

Súhrnná evidencia vôd spravovaná SHMÚ eviduje odbery povrchovej a podzemnej vody oznamované na základe § 6 ods. 5 vodného zákona. Za obdobie rokov 2018 – 2022 v nej bolo evidovaných 3 148 zdrojov podzemnej vody využívaných na pitné účely. Odber z vodárenského zdroja (VZ) je jednoznačne identifikovaný kódom Hydrofondu a údajom o jeho priestorovej polohe. Informácie o VZ ďalej dopĺňa údaj o vlastníkovi, resp. prevádzkovateľovi a informácia o tom, akú veľkú oblasť VZ zásobuje prostredníctvom ktorého vodovodu.
V databáze ZberVaK prevádzkovanej VÚVH, kde sa evidujú údaje o kvalite pitnej a surovej vody, bolo v roku 2018 evidovaných 1 068 vodárenských zdrojov PzV prevádzkovaných vodárenskými spoločnosťami a 399 vodárenských zdrojov PzV, ktoré boli prevádzkované obcami. Z toho 997 zdrojov podzemnej vody je prevádzkovaných 14 vodárenskými spoločnosťami.

Pre účel analýzy sme informácie o vodárenských zdrojoch z oboch informačných systémov prepojili cez kód hydrofondu, avšak kvôli neúplnosti dát v databáze ZberVaK to nebolo možné pre všetky vodárenské zdroje. Následne sme jednotlivé vodárenské zdroje na základe klasifikácie rozdelili do kategórii (kategorizácia) podľa vybratých charakteristík výdatnosť, povolený a skutočný odber, typ zdroja (prameň, vrt, studňa, iné), so zohľadnením hydrogeologických pomerov – kolektorov. Táto kategorizácia odberov podzemnej vody je nevyhnutným nástrojom pre spracovanie rizikovej analýzy plochy povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu.

Na základe analýzy údajov o priemernom a povolenom odbere z 3134 vodárenských zdrojov *(Tab. 1)* boli zdroje podzemnej vody využívané na pitné účely z hľadiska významnosti rozdelené do 5 kategórií:

1. Vodárenské zdroje (nevyužívané alebo so zanedbateľným množstvom) pre ktoré sa nevyžaduje manažment rizík/vymedzenie plochy povodí – 514 zdrojov.
2. Malé vodárenské zdroje miestneho/lokálneho významu – 881 zdrojov.
3. Stredné vodárenské zdroje lokálneho významu – 689 zdrojov.
4. Veľké vodárenské zdroje lokálneho významu – 707 zdrojov.
5. Významné strategické vodárenské zdroje regionálneho významu – 343 zdrojov.

Tab. 1. *Klasifikácia významnosti vodárenských zdrojov za účelom kategorizácie*

Priemerný odber		**0**	**< 0,1**	**≥ 0,1; < 0,5**	**≥ 0,5; < 1**	**≥ 1; < 3**	**≥ 3; < 10**	**≥ 10**
Povolený odber	**< 0,1**	354	101	3	1	1	0	0
	≥ 0,1; < 0,5	59	100	275	6	1	0	0
	≥ 0,5; < 1	47	33	147	76	6	0	0
	≥ 1; < 3	90	52	196	149	145	5	0
	≥ 3; < 10	126	23	87	80	176	96	24
	≥ 10	123	28	52	48	105	167	152

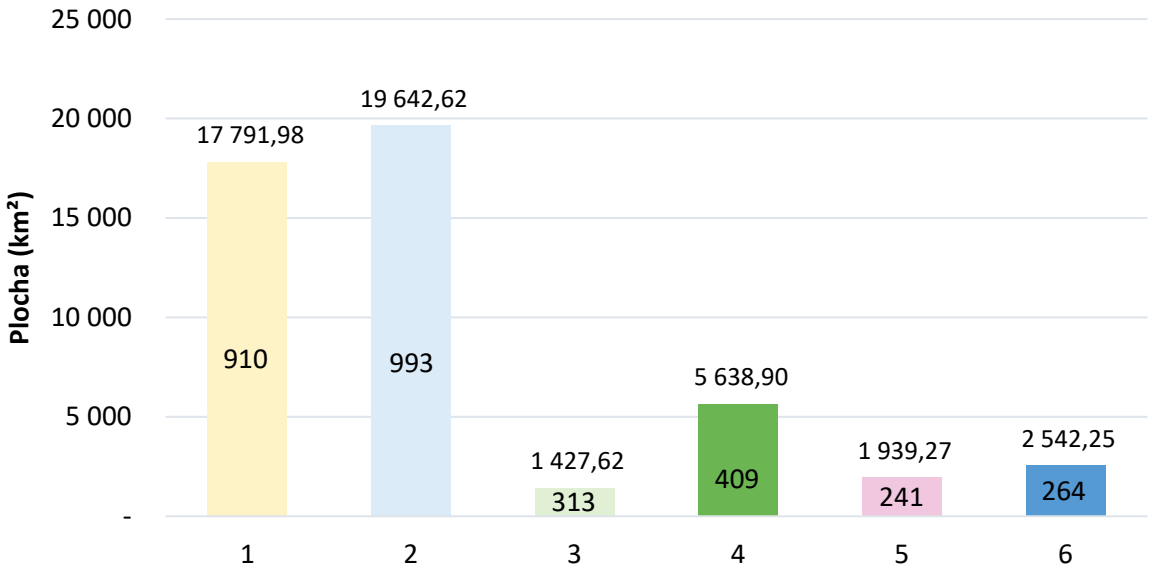
Pre kategóriu 4. veľké vodárenské zdroje a najmä pre kategóriu 5 významné vodárenské zdroje musí byť spracovaná podrobnejšia riziková analýza.

Geologické a hydrogeologické podmienky

Vymedzenie plôch povodia pre miesta odberu podzemnej vody určenej na ľudskú spotrebu musí vychádzať z existujúcich geologických a hydrogeologických podmienok konkrétnych vodárenských zdrojov (2. krok). Na základe hydrogeologického významu bolo v rámci SR vymedzených 6 základných typov zvodnencov:

A. Nezvodnené - oblasti s takmer žiadnymi množstvami podzemných vôd.
B. Menšie zvodnence s obmedzenými množstvami podzemných vôd miestneho významu.
C. Priestorovo obmedzené alebo nespojité hydrogeologicky vysoko produktívne zvodnence, alebo rozsiahle a stredne produktívne zvodnence, ostatné.
D. Priestorovo obmedzené alebo nespojité hydrogeologicky vysoko produktívne zvodnence, alebo rozsiahle a stredne produktívne zvodnence, piesky a štrky.
E. Rozsiahle a hydrogeologicky vysoko produktívne zvodnence, štrky.
F. Rozsiahle a hydrogeologicky vysoko produktívne zvodnence, dolomity a vápence.

Z hľadiska rozšírenia jednotlivých typov zvodnencov najväčšie plošné zastúpenie (cca 20 tis. km^2) majú najmä menšie zvodnence s obmedzeným množstvom podzemnej vody, miestneho významu, kde sa však nachádza najviac vodárenských zdrojov, až 993 *(Obr. 2)*.



Obr. 2. *Kategorizácia typu zvodnencov a počet vodárenských zdrojov v nich*

K jednotlivým typom zvodnencov sme priradili vodárenské zdroje podľa kategórie významnosti vodárenského zdroja *(Tab. 2)*. Výsledkom je matica priority ochrany vodárenských zdrojov a stanovenia plochy povodí *(Tab. 2)*, kde červená farba vyjadruje vysokú prioritu > a šedá najnižšiu prioritu. Tieto výsledky sú premietnuté aj do mapového spracovania *(Obr. 3)*.

Ďalšími analyzovanými informáciami, ktoré podmieňujú vymedzenie plochy povodia sú hĺbka odberu, smer prúdenia podzemnej vody, hydrologická bilancia lokality, procesy dopĺňania, infiltrácie a akumulácie podzemnej vody. Na základe nich bude posúdené zlučovanie/zgrupovanie vodárenských zdrojov pre ktoré môže byť stanovené spoločná plocha povodia. Tieto informácie sú získavané z výsledkov hydrogeologických prieskumov, záverečných správ, výsledkov modelovania a odborných štúdií v danej oblasti.

Tab. 2. Kategorizácia priority riešenia ochrany vodárenských zdrojov a stanovenia plochy povodia

	Kategória zvodnenca	Kategória VZ podľa povoleného a priemerného odberu					
		kat 1	kat 2	kat 3	kat 4	kat 5	Spolu
A	**Oblasti s takmer žiadnymi množstvami podzemných vôd**	176	348	191	157	38	910
B	**Menšie zvodnence s obmedzenými množstvami podzemných vôd miestneho významu**	161	329	251	214	38	993
C	**Priestorovo obmedzené alebo nespojité hydrogeologicky vysoko produktívne zvodnence, alebo rozsiahle a stredne produktívne zvodnence, ostatné**	49	78	66	82	38	313
D	**Priestorovo obmedzené alebo nespojité hydrogeologicky vysoko produktívne zvodnence, alebo rozsiahle a stredne produktívne zvodnence, piesky a štrky**	75	79	86	109	60	409
E	**Rozsiahle a hydrogeologicky vysoko produktívne zvodnence, štrky**	28	8	38	73	117	264
F	**Rozsiahle a hydrogeologicky vysoko produktívne zvodnence, dolomity a vápence**	21	39	57	72	52	241
	Sumárne	510	881	689	707	343	3130

Významné antropogénne vplyvy

Z hľadiska rizikovej analýzy potenciálneho vplyvu je súčasťou vymedzenie plôch povodia pre miesta odberu podzemnej vody určenej na ľudskú spotrebu aj identifikovanie významných vplyvov, ktoré môžu ohroziť jednotlivé vodárenské zdroje alebo skupinu vodárenských zdrojov. V rámci analýzy sú identifikované a posudzované hlavne:

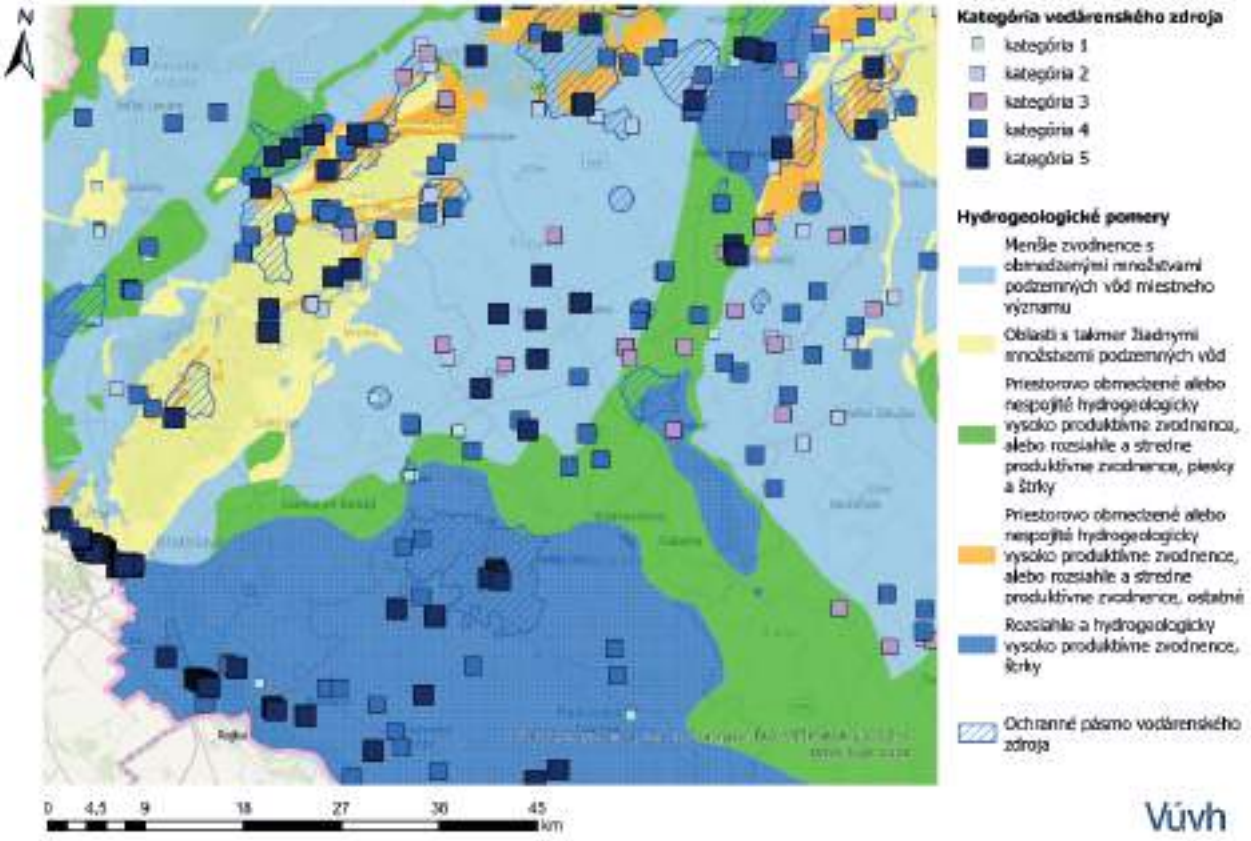
– Difúzne zdroje znečistenia podzemnej vody z poľnohospodárstva – hnojivá, pesticídy používané v predmetnej oblasti (kataster, okres, útvar). Môžu byť využité, ak sú k dispozícii, aj informácie o vplyvoch atmosférickej depozície a erózie.
– Bodové zdroje znečistenia podzemnej vody – environmentálne záťaže, kontaminované lokality, komunálne a priemyselné čistiarne odpadových vôd, iné znečistenie (prevádzky IPKZ, skládky a iné relevantné zdroje znečistenia.

Tieto informácie o pravdepodobných zdrojoch znečistenia budú využívané aj v rámci posúdenia existujúceho monitorovania a identifikácie znečisťujúcich látok, ktoré bude potrebné sledovať vo vymedzených plochách povodia pre miesta odberu podzemnej vody určenej na ľudskú spotrebu.

Ochranné pásma

Keďže ochranné pásma VZ boli zriaďované v rôznych obdobiach a ich evidencia nie je jednotná využili sme pri analýze okrem aktuálnych údajov aj historické údaje dostupné vo vodohospodárskej mape v mierke 1 : 50 000 z roku 1997 a z Atlasu krajiny SR (rok vydania 2002) zverejnenú ako vrstva ochrana vôd. Odbory starostlivosti o životné prostredie na okresných úradoch (OÚ OSŽP) majú evidenciu rozhodnutí o ochranných pásiem VZ, súčasťou ktorých by mala byť aj mapová príloha. Avšak tieto mapové prílohy sú v rôznej kvalite a v rôznom rozlíšení, niekde sú hranice zakreslené rukou, a pod pojmom digitálne sa považoval aj „sken" mapy a najmä pri starších využívaných zdrojoch úplne chýbajú. V rámci vymedzenia plôch povodia

pre miesta odberu podzemnej vody určenej na ľudskú spotrebu boli okrem identifikácie a analýzy ochranných pásiem VZ (krok 4) zohľadňované aj stanovené CHVO, ktoré sú definované zákonom č. 305/2018 Z. z. o chránených oblastiach prirodzenej akumulácie vôd a o zmene a doplnení niektorých zákonov (10 CHVO, ktoré predstavujú 14 % z rozlohy SR) a citlivé a zraniteľné oblasti vymedzené nariadením vlády Slovenskej republiky č. 62/2022 Z. z., ktorým sa mení nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 174/2017 Z. z., ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti (*Obr.3*). Základnými údajmi, ktoré charakterizujú ochranné pásma boli informácie získané z Rozhodnutí o určení ochranného pásma – hranice a poloha, stupeň ochranného pásma, počet odberných miest. V súčasnosti jedným z potrebných podkladov pre vymedzenie ochranných pásiem VZ sú zakreslené hranice ochranných pásiem v mape v mierke 1 : 5 000.



Obr. 3. *Ukážka analýzy vodárenských zdrojov – krok 1, 2 a 4*

Vymedzenie plochy povodia

Pri vymedzovaní plochy povodia, je dôležité identifikovať a analyzovať všetky dostupné informácie čo najpresnejšie a najkomplexnejšie. Na základe priority riešenia významu ochrany vodárenského zdroja pre najvýznamnejšie VZ (kategória F3, F4, F5, E4, E5 a D5) určiť plochu povodia ako infiltračnú a akumulačnú oblasť podzemnej vody. Na základe získaných informácii a výsledkov analýz, so zohľadnením kategorizácie (krok 1 a 2) bude posudzované, či ochranné pásma VZ odpovedajú infiltračnej a akumulačnej oblasti podzemnej vody vo vodárenskom zdroji, z ktorej môže dôjsť, vo vzťahu k identifikovaným vplyvom, k znečisteniu podzemnej vody vo vodárenskom zdroji – v tom prípade môže byť plocha povodia totožná s ochranným pásmom VZ. V opačnom prípade je vymedzená nová/upravená relevantná plocha povodia odpovedajúca definícii.

Doterajšie skúsenosti našich českých kolegov z VÚV Praha aj naše však ukazujú, že v mnohých prípadoch vymedzené ochranné pásma VZ nie sú dostatočné pre správne spracovanie rizikovej analýzy. Časté sú prípady, keď ochranné pásmo VZ takmer vôbec nezodpovedá infiltračnej a akumulačnej ploche povodia a je vysoké riziko, že by tak potenciálne mohlo dochádzať k ohrozeniu vodárenského zdroja znečistením z identifikovaných zdrojov znečistenia.

V prípade ostatných stredne významných vodárenských zdrojov je potrebné posúdiť do akej miery je nevyhnutné stanoviť infiltračnú a akumulačnú oblasť, či nie je dostatočne spoľahlivé použiť zjednodušené riešenie a pre konkrétny vodárenský zdroj podzemnej vody v závislosti od kategórie typu zvodnenca vymedziť plochu povodia ako časť povodia, vodného útvaru alebo využiť ochranné pásmo VZ, resp. ho upraviť, pričom pri rozhodovaní zohľadniť, pre akú územnú jednotku je najvhodnejšie aplikovať opatrenia na zlepšenie kvality vody vo vodárenskom zdroji.

V prípade vodárenských zdrojov s nízkou prioritou je potrebné posúdiť, či nespadajú do už vymedzených plôch povodí a ak áno, pričleniť ich do skupiny. Pre ostatné vodárenské zdroje s nízkou prioritou postupovať zjednodušeným riešením. Pri kategórii A1 pokiaľ nespadá do niektorej už vymedzenej plochy povodia, nepovažujeme za potrebné samostatne stanoviť plochu povodia.

4. ZÁVERY

Správne vymedzenie plochy povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu je nevyhnutným a účinným nástrojom pre spoľahlivú, dostatočnú a účelnú ochranu zdrojov pitnej vody. Práve riziková analýza v zmysle smernice 2020/2184 EÚ má posúdiť potrebu zriadiť a prispôsobiť doterajšiu ochranu vodných zdrojov využívaných na ľudskú spotrebu súčasným podmienkam a vplyvom, zabezpečiť náležité a dostatočne reprezentatívne monitorovanie a v súvislosti s tým navrhnúť efektívne a spoľahlivé preventívne opatrenia vo vymedzených plochách povodia pre miesta odberu vody určenej na ľudskú spotrebu.

Predkladaný metodický návrh pre vymedzenie plochy povodia okrem základného postupu definuje aj zdroje údajov, ktoré je možné využívať aj pri následnej analýze rizík. Súčasťou vymedzenia je opis plochy povodia, ktorý obsahuje hlavné charakteristiky plochy povodia a následne bude spracovaný návrh na monitorovanie príslušných ukazovateľov. V súčasnosti pokračujeme na overení navrhovanej metodiky na modelových príkladoch vodárenských zdrojov v jednotlivých kategóriách.

POĎAKOVANIE

Ďakujeme za odborné konzultácie kolegyniam z VÚV TGM Praha Hanke Prchalovej a Lucii Jašíkovej.

ZOZNAM LITERATURY

1. PATSCHOVÁ, Anna, TARABOVÁ, Katarína. Stanovenie plôch povodia pre podzemnú vodu určenú na ľudskú spotrebu a výber relevantných pesticídov, ich metabolitov a ostatných nebezpečných látok pre podzemnú vodu na zabezpečenie sledovania kvality pitnej vody. Výskumný ústav vodného hospodárstva, Bratislava 2024, s. 17.

VYUŽITÍ VODÁRENSKÝCH TECHNOLOGIÍ PRO DOČIŠTĚNÍ ODTOKŮ Z ČOV

Ing. Tomáš Lederer, Ph.D. [1], Ing. Tomáš Dufek [1], Ing. Karel Havlíček, Ph.D. [1], Mgr. Petra Rosická P. [1], Dr. Ing. Libor Novák [2]

[1] Technická univerzita v Liberci, Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace, Oddělení technologie životního prostředí, Bendlova 1409/7, 461 17 Liberec 1

[2] PRO-AQUA CZ, Petrovická 214, 403 40 Ústí nad Labem

e-mail: tomas.lederer@tul.cz

1. ÚVOD

Příspěvek prezentuje výstupy projektu PHARWAT *(Snížení znečištění povrchových vod farmaceutickými látkami v biologicky vyčištěných odpadních vodách)*, který řešil problematiku snížení antropogenního znečištění farmaceutickými látkami (farmaky, léčivy) v odpadních vodách, které vede k akumulaci nepřirozeně se vyskytujících látek v životním prostředí. V současné době čistírny odpadních vod nedisponují technologiemi, které by byly schopné zmíněné polutanty z odpadní vody kompletně eliminovat, a jsou vnášeny do životního prostředí (především do vod povrchových). Vzhledem k jednoznačné dominanci vnosu farmak do životního prostředí z plošných zdrojů (odpadní vody od obyvatelstva) [2,3,6] byl projekt zaměřen právě na eliminaci či omezení vnosu těchto látek z odtoků biologických ČOV. Po laboratorních testech byly pilotně testovány technologie, které byly vyvinuty na obou pracovištích a slibují velmi účinné odstranění předmětných kontaminantů z odpadních vod.
Je velmi obtížné a v současné době prakticky nereálné omezit primární zdroje znečištění, tj. zakázat nebo výrazně omezit používání farmak. Logickou cestou je výroba ekologicky nezávadných léčiv, řešení koncentrovaných odpadních vod (nemocnice, zařízení s následnou péčí) a celková osvěta vedoucí ke správnému nakládání s farmaky. Tato cesta je jistě správná, ale bude dlouhá a nutně bude mít svůj postupný vývoj. Níže uvedené studie však popisují reálný stav i praxi ve vyspělých zemích, kam by se i ČR měla blížit. Navíc nedávno přijatá aktualizovaná Směrnice o nakládání s městskými odpadními vodami ukládá ČOV nad 150 000 EO a s časovým odstupem i ČOV nad 10 000 EO v citlivých územích povinnost odstraňování mikropolutantů. Nejedná se však pouze o komunální odpadní vody a odpadní vody z bodových zdrojů jako např. z nemocnic, ale v případě antibiotik také o živočišné farmy, kde je používání antibiotik stále reálnou praxí.

Farmaka jsou jednoznačně jednou z prioritních skupin mikropolutantů životního prostředí obecně, jejich podskupina hormonálních látek pak navíc součástí separátně diskutovaných endokrinních disruptorů. Zásadní referencí je review na dané téma [4]. Farmaceutické sloučeniny, jako jsou antibiotika, nesteroidní protizánětlivé léky (NSAID), antikonvulziva, β-blokátory atd., se objevily jako nové třídy látek znečišťujících vodu kvůli jejich potenciálním nebo prokázaným nepříznivým účinkům na lidské zdraví a vodní prostředí. Výše uvedená komplexní rešeršní studie systematicky zhodnotila aktuální dostupná data o globálním výskytu a odstraňování 43 farmaceutických sloučenin v komunálních ČOV v letech 2010 až 2020. Zhodnotila globální denní hmotnostní zátěž a emise farmak v různých regionech. Byla však také hodnocena environmentální rizika léčiv ve vyčištěných odpadních vodách z ČOV. Nakonec byly shrnuty a diskutovány pokyny a předpisy týkající se výskytu léčiv ve vodním prostředí. Různé oficiální regulace, pokyny a předpisy jsou zaměřeny na opatření, která lze použít ke zmírnění výskytu farmaceutik v životním prostředí. Rovněž byly identifikovány a navrženy potřeby výzkumu a budoucí doporučení.

- Byly pozorovány velké rozdíly v koncentraci farmaceutických látek v přítocích a odpadních vodách z komunálních ČOV z různých zeměpisných oblastí.
- Rozdíly v koncentracích léčiv mohly být způsobeny několika důvody, jako je míra a struktura spotřeby, metody odběru vzorků a analýzy, sezónní variace a velikost a hustota populace.
- Acetaminofen a caffeine zaznamenaly nejvyšší koncentrace v přítocích ČOV. Zatímco nejvyšší koncentrace ve vyčištěných odpadních vodách byly detekovány pro naproxen, caffeine a karbamazepin.
- Přestože ČOV využívající terciární procesy jsou účinnější pro odstraňování léčiv, bylo zjištěno, že několik léčiv lze stále detekovat i v takto vyčištěné odpadní vodě i po terciárním čištění.
- Průměrná denní hmotnostní zátěž a emise byly často uváděny v asijských zemích. Acetaminofen (473 g / 1 000 EO/den) a atenolol (592 g / 1 000 EO/den) zaznamenaly nejvyšší průměrnou hmotnostní zátěž. Zatímco nejvyšší sledované denní emise byly hlášeny u amoxicilinu (944 g / den), sulfamethoxazolu (688,38 g / den).
- Denní množství farmaceutických přípravků může být silně ovlivněno mírou spotřeby v dané zemi, velikostí populace a hustotou obyvatelstva. Emise jsou však ovlivňovány účinností odstraňování a vlastnostmi ČOV.
- Dvanáct zkoumaných léčiv zaznamenalo RQ > 1 (risk quotient určený stanovením environmentálních rizik), což naznačuje, že tato léčiva mohou mít významný potenciální účinek na vodní organismy.
- Různé regulační pokyny a regulace („European Union Strategic Approach to Pharmaceuticals in the Environment" and the „European ActionHealth Plan" against antimicrobial resistence, E. Commission, 2019; Policies to control the occurrence of pharmaceutical residues in the environment OECD, 2019) mohou úspěšně zmírnit výskyt léčiv ve vodním prostředí.

Jiné studie [6] ukázaly že z pohledu frekvence zastoupení jsou nejvíce přítomny analgetika, protizánětlivá farmaka, nejčastěji naproxen, ibuprofen a acetaminophen a z antibiotik erythromycin, sulfamethoxazole a trimethoprim. Pokud jde o koncentrace tak v nemocničních vodách byly nejvyšší koncentrace pro caffeine and acetaminophen (analgetika), lincomycin, ofloxacin, trimethoprim a ciprofloxacin (antibiotika). Ve splaškových vodách je pak nejvíce zastoupen acetaminophen, kyselina salicylová a ibuprofen (analgetika), dále oxytetracycline a lincomycin (antibiotika). Většina studií je zaměřena na monitoring splaškových vod. Koncentrace antibiotik jsou sice vyšší u nemocničních vod, u městských vod je zřejmé značně ředění. Hmotnostní bilanční přísun nejčastěji se vyskytujících farmak do životního prostředí je z komunálních odpadních vod od obyvatelstva, přičemž bodové zdroje (v této studii nemocnice) byly vyhodnoceny jako nevýznamné. Z nemocnic byl však zaznamenán přísun řady specifických farmak.

Přístupy v různých zemích včetně Evropy k řešení problematiky přítomnosti farmaceutických látek se různí. Zatímco např. Švédsko akcentuje řešení zdrojů, nedávnými pracemi byly prokázány úniky z ČOV jako hlavní zdroj uvolňování léčiv do životního prostředí [2,3]. Jistě mohou být účinná další opatření, jako je zvyšování povědomí veřejnosti, používání alternativních léků, které jsou méně toxické pro životní prostředí, vývoj zelených farmaceutických přípravků atd. Přesto by měla být přijata okamžitá opatření k zastavení uvolňování farmaceutik do životního prostředí. Na rozdíl od Švédska Švýcarsko urychlilo jiný přístup zaměřením na modernizaci svých ČOV v celé zemi pomocí pokročilých procesů čištění (např. Ozon, aktivní uhlí). Podobně Nizozemsko zaujalo podobný přístup tím, že se zaměřilo na modernizaci svých ČOV a zvýšilo znalosti o efektivitě pokročilých procesů v pilotním měřítku [1,5].

Mikropolutanty včetně léčiv se vyskytují v rozsahu ng/l až µg/l a ve srovnání se zbytkovou hodnotou organického znečištění po biologickém čištění komunálních odpadních vod (desítky mg/l) jsou technologie, které jsou celosvětově doporučovány pro odstraňování mikropolutantů

(pokročilé oxidační technologie, membránové technologie a finální sorpční technologie) vždy limitovány nespecifickou účinností, a tedy je nutno v první fázi odstranit maximum celkového organického znečištění. Pro tyto účely **je vhodné buď doplnit stávající ČOV prakticky vodárenskou technologií, tedy koagulací (případně kombinací koagulace a sorpce na aktivní uhlí) a separací nerozpuštěných látek (filtrací) a následnou filtrací na aktivní uhlí** anebo je nutno kalkulovat vyšší spotřebu oxidačního nebo sorpčního činitele. Teprve potom je ekonomicky efektivní zařazovat technologie náročně na spotřebu oxidačního činidla (ozon, peroxid nebo jiná oxidovadla) nebo aktivačního činitele (UV, plasma atp.) nebo na spotřebu vysoce účinných, ale drahých specifických sorbentů (grafen, grafenoxid, modifikované zeolity). U membránových technologií připadají v úvahu až nanofiltrace, která však předpokládá odstranění nerozpuštěných látek a provozně je opět nákladná.

2. MATERIÁL A METODY

Laboratorní testy

V laboratoři byly provedeny koagulační testy s cílem snížení zbytkového organického znečištění (CHSK) pomocí železa ($FeCl_3$) a hliníku (PAX-XL19 a PAX-18). Dále byly provedeny koagulace s úpravou pH při použití stejných koagulantů za účelem zjištění účinků pH. Pro všechny testy byla používána biologicky vyčištěná odpadní voda z ČOV Liberec po filtraci na pískových filtrech.

Dalším krokem byly kolonové testy AOP (Advanced Oxidation Process) s heterogenními katalyzátory. K tomuto testování byly vždy použity skleněné kolony o délce 250 mm, vnitřním průměru 21,5 mm, výšce katalyzátoru 235 mm a objemu kolony bez náplně 85 ml H_2O (Obr. 1.). Pro čerpání přes kolonu bylo použito čerpadlo Watson Marlow s hadičkou Marprene o vnitřním průměru 0,88 mm a tloušťkou stěny 0,8 mm. Byly testovány dva předem vybrané katalyzátory: nanoželezitý Spinel a drcený Magnetit (1–4 mm). Před použitím byly oba tyto materiály 10x proprány v destilované vodě, dokud nezůstala voda úplně čistá. Objem kolony naplněné katalyzátorem Spinel byl 63 ml H_2O, Magnetitem 27 ml H_2O. Kolony byly provozovány při dobách zdržení 1,5 a 3 hodiny.

K testování byl používán odtok z komunální ČOV a testovány byly koncentrace 500, 1000, 1500 a 2000 mg/l peroxidu vodíku. Množství dávkovaného peroxidu bylo vždy ověřeno pomocí přístroje Quantofix Relay a testovacích papírků. Pro ověření byla výše uvedená metoda porovnána se sadou pro stanovení peroxidu vodíku, model HYP-1 od firmy Hach. Po kolonových AOP testech byly provedeny jednorázové adsorbční testy s granulovaným aktivním uhlím S835 (GAU, Brenntag) v koncentracích 1 g/l a 2 g/l a sorbentem Biochar > 4 mm v koncentraci 1 g/l. Kontaktní čas byl u obou materiálů 5 minut a 10 minut.

V rámci laboratorních a pilotních testů bylo zjištěno, že pro eliminaci nebo významné snížení koncentrací farmak je nutno při heterogenní katalýze používat vysoké koncentrace peroxidu (1–2 g/l) a následná životnost filtru s pískem preparovaným burelem pro eliminaci zbytkového peroxidu byla neudržitelně nízká (2-3 měsíce).

Proto byly otestovány také další aplikovatelné AOP – ozonizace a oxidace UV s podporou peroxidu vodíku se zaměřením na kombinaci koncentrace oxidovadla a doby zdržení.

Obr. 1. Laboratorní kolonové testy AOP s heterogenním katalyzátorem (magnetit)

Pilotní jednotky

Na základě výsledků z výše zmíněných testů byly na celkem 3 komunálních ČOV umístěny pilotní jednotky kvarterního stupně čištění. Jednotka je vždy vybavena vlastním řídícím systémem s dálkovým dohledem a řízením s on-line měřením základních veličin. Dále se zde odebírají vzorky pro analýzy zbytkových farmak.
Prvním stupněm po pískové filtraci odtoku ČOV je filtr s heterogenním katalyzátorem (granulovaný magnetit) před který je dávkován peroxid. Zbytkový peroxid je eliminován na filtračním písku preparovaným burelem. Následně je voda vedena do MBBR pro biosorpci a biologické odstranění přítomných biologicky rozložitelných mikropolutantů a oxidovaných produktů. Finálním stupněm je pak klasická sorpční filtrace na aktivním uhlí.

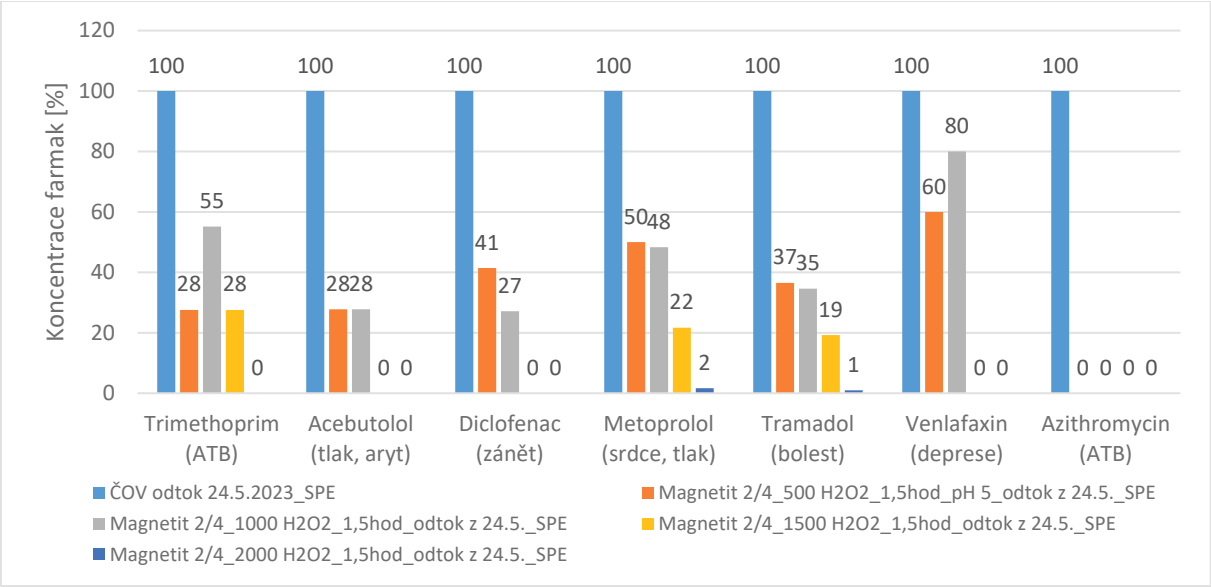
Farmaka v testovaných odpadních vodách jsou stanovována na hmotnostním spektrometru Sciex X500R s kapalinovým chromatografem Exion LC AC. Byla použita kolona YMC Triart C18 s 0,1 % kyselinou mravenčí a methanolem jako složkami mobilní fáze. Pro kvantifikaci byla použita MRM HR metoda v pozitivním módu. Kvůli nutnosti stanovení nižších koncentrací sledovaných analytů bylo přistoupeno k použití extrakce na tuhou fázi (SPE) pro jejich prekoncentraci a přečištění. Byly použity kolonky Oasis HLB od firmy Waters. Zvoleny byly kolony o objemu 1 ml s 30 mg sorbentu. Extrahováno bylo 25 ml vzorku. Kolonky byly promyty 30 % methanolem a eluovány roztokem 50% methanolu a 50% dichloromethanu. Extrakty byly poté odpařeny proudem dusíku a rekonstituovány na 0,5 ml v mobilní fázi.

Obr. 2. Pilotní technologie kvarterního čištění filtrovaných, biologicky vyčištěných odpadních vod (skladba zprava doleva) kombinací AOP Fentonovým procesem s heterogenním katalyzátorem, eliminace zbytkového peroxidu, biologickým dočištěním na MBBR a finální sorpcí na aktivní uhlí. ČOV Liberec

3. VÝSLEDKY A DISKUZE

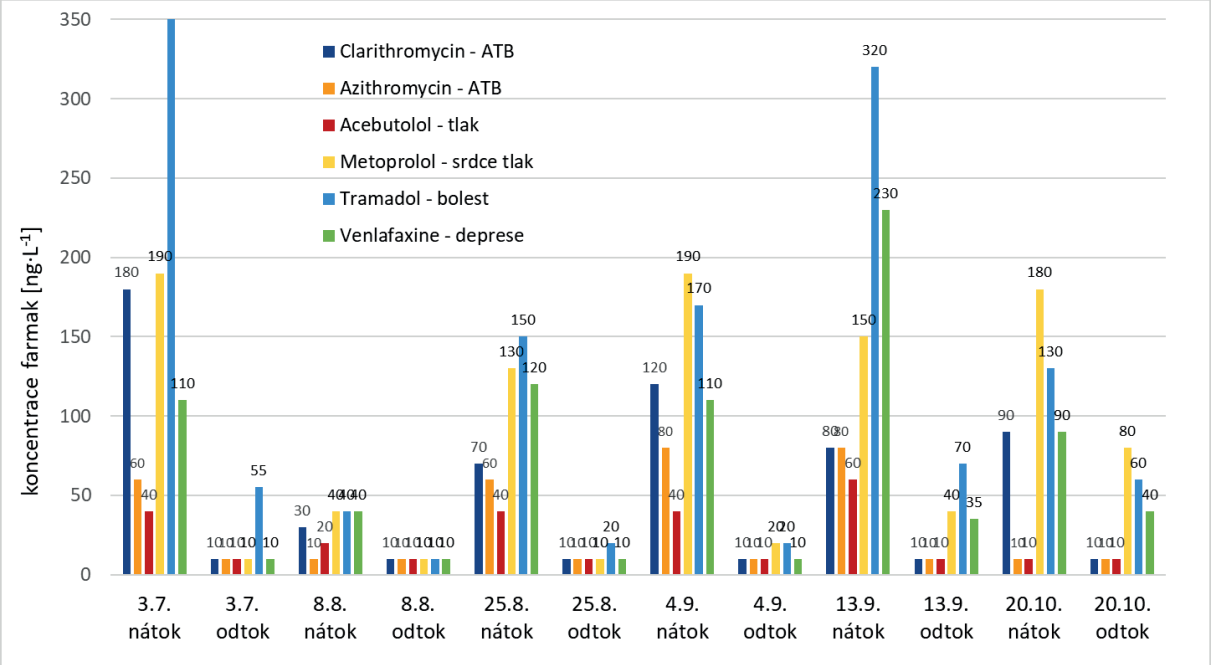
Koagulací s chloridem železitým došlo k nejefektivnějšímu snížení CHSK při dávce 50 mg/l železa (snížení z 30 mg/l na 10 mg/l CHSK), kdy současně došlo k efektivnímu vyčiření odpadní vody, ovšem při poklesu pH na 4. Při použití PAX-XL19 došlo také ke snížení v rozsahu dávek 25–200 mg/l PAX, ovšem nejnižší hodnoty byly pouze 18 mg/l z původních 30 mg/l CHSK. Použití koagulantu PAX-18 bez úpravy pH bylo téměř bez efektu. Výsledky testů ukázaly, že efektivně je možno snižovat CHSK (až 65 %) při koagulaci železitými solemi při nižším pH. Následná úprava pH zajistí sice snížení železa při zachování snížené hodnoty CHSK, ovšem tento systém regulace přináší další provozní náklady, rizikovost a vyšší vnos chemikálií. V případě odpadních vod z ČOV Liberec je možno dávkou 10 mg/l Fe snížit CHSK o 50 % při udržení pH nad 6.

Při testování AOP kolon byl zjištěn pozitivní efekt katalyzátoru magnetit (frakce 1-4 mm). Při dávce 1500 mg/l peroxidu došlo k eliminaci většiny farmak vyskytujících se v koncentracích stovek ng/l, u Tramadolu bylo dosaženo účinnosti téměř 80 % a u Metroprololu 60 %. Při dávce 2000 mg/l peroxidu došlo k téměř naprosté eliminaci sledovaných farmak (Obr. 3.). Výsledky ukázaly, že dávka 2000 mg/l peroxidu má téměř 100% účinnost a dávka 1500 mg/l má účinnost 70 % a více. Snížením hodnoty pH (5) byla účinnost při koncentraci peroxidu 500 mg/l srovnatelná s účinností při koncentraci 1500 mg/l.



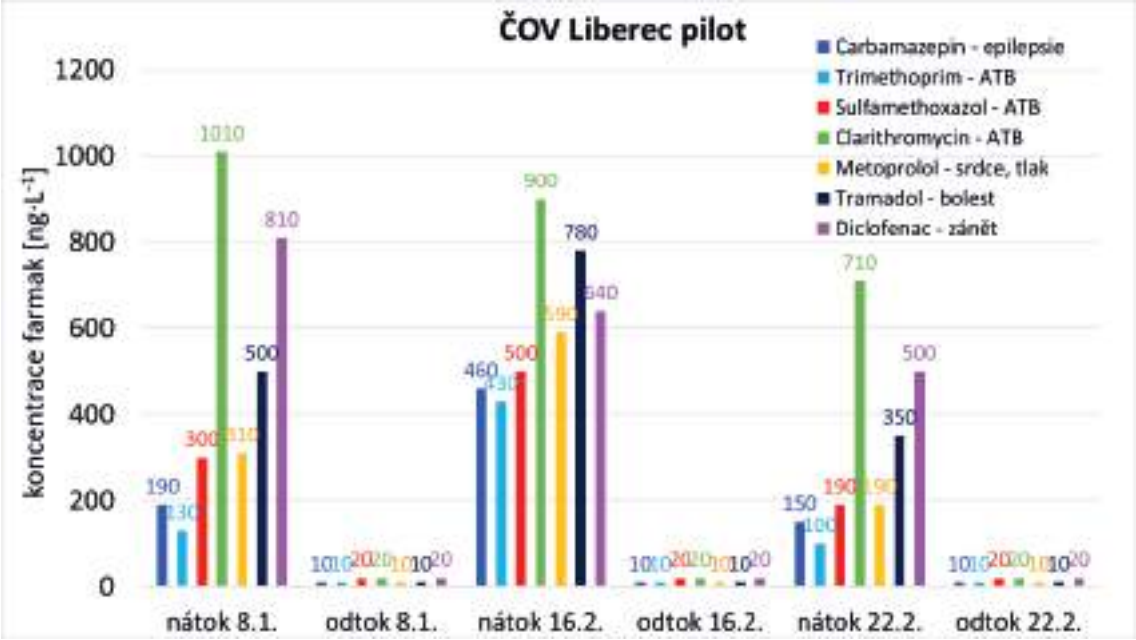
Obr. 3. *Odstraňování vybraných farmak v laboratorních testech AOP – Fenton s heterogenním katalyzátorem*

Níže jsou uvedeny výsledky pilotní jednotky na ČOV Liberec pro vybraná farmaka, které víceméně potvrdily výsledky laboratoře. Při koncentraci peroxidu 2 g/l (období červenec až srpen 2023) byla většina sledovaných farmak odstraňována s vysokou účinností. Následné snížení dávky peroxidu o 20% (ca 1,6 g/l v září) vedlo k poklesu účinnosti odstraňování (Tramadol a Venlafaxine), při dalším snížení (říjen 2023) na ca 1,2 g/l byla účinnost pro řadu farmak ještě nižší (Tramadol, Venlafaxine, Metoprolol aj.).



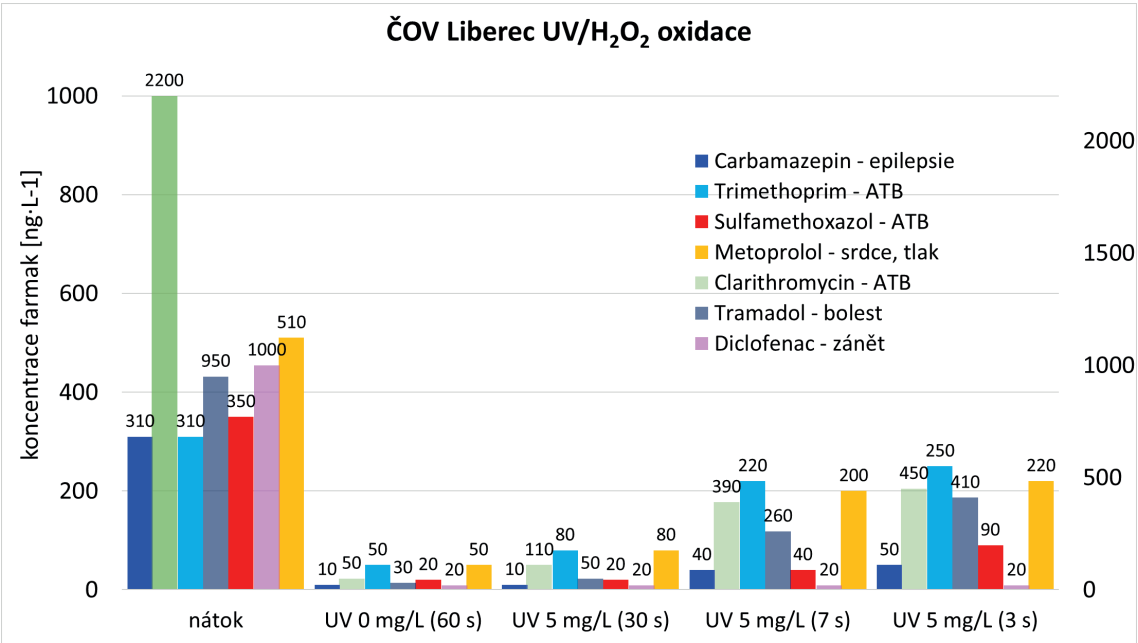
Obr. 4. *Odstraňování vybraných farmak v pilotním testu AOP – Fenton s heterogenním katalyzátorem (bez adsorpční koncovky)*

S dávkou peroxidu 1,2 g/l při heterogenní katalýze magnetitem byla sledována celková účinnost odstraňování farmak monitoringem odtokových koncentrací farmak za filtrem naplněným aktivním uhlím při době kontaktu 20 minut. Výsledky ukázaly eliminaci sledovaných farmak z odpadní vody.



Obr. 5. Celková účinnost odstraňování vybraných farmak v pilotní technologii (AOP – Fenton s heterogenním katalyzátorem s adsorpční koncovkou)

S ohledem na nutně vysoké koncentrace peroxidu byla otestována také oxidace farmak ultrafialovým zářením (UV) a v kombinaci s peroxidem vodíku. S ohledem na ekonomiku procesu (příkon UV trubice vs doba zdržení určující náročnost technologie v kWh/m^3) byla testován vliv doby kontaktu v UV trubici při nízkých koncentracích peroxidu (5 mg/l). Vliv koncentrace peroxidu při udržitelné energetické náročnosti 1 kWh/m^3 je uveden v prezentaci příspěvku.



Obr. 6. Účinnost odstraňování vybraných farmak při použití UV v kombinaci s peroxidem vodíku

4. ZÁVĚRY

AOP s využitím Fentonovy reakce s heterogenním katalyzátorem (magnetit) je vedle oxidace ozonem (s riziky s touto technologií spojenými) variantou pro odstraňování farmaceutických látek s biologicky vyčištěných odpadních vod. Z provedených testů vyplývá, že koncentrace peroxidu určuje účinnost odstraňování léčiv - bez úpravy pH jsou efektivní koncentrace vyšší než 1 g/l. Snížení pH při aplikací železitého koagulantu přináší komplementární výhodu snížení vstupní koncentrace CHSK a současně dosrážení zbytkových koncentrací fosforu pro dosažení nízkých limitních hodnot požadovaných novou Směrnicí nakládání s městskými odpadními vodami. Ekonomicky a operativně efektivnějším způsobem je kombinace aplikace UV s peroxidem vodíku, ovšem při zásadně nižších koncentracích peroxidu (desítky mg/l). Kvalitní filtrace je pak nezbytným předpokladem pro nezbytnou finální sorpční koncovku odstraňující zbytky léčiv a rezidua po jakémkoli AOP.

Řešení nátokových hodnot organického znečištění do kvarterního stupně čištění je nutným předpokladem ekonomicky únosného dočištění odpadních vod a koagulace je jednou z možností nevyžadující zvětšení objemů sekundárního stupně čištění.

PODĚKOVÁNÍ

Práce byly realizovány v rámci projektu číslo 3213200013 – Snížení znečištění povrchových vod farmaceutickými látkami v biologicky vyčištěných odpadních vodách v programu „Životní prostředí, ekosystémy a změna klimatu" podporovaného z Norských fondů 2014–2021.
Part of the work was carried out with the support of VVI CENAKVA Research Infrastructure (ID LM2023038, MEYS CR, 2023–2026).

SEZNAM LITERATURY

1. Bundesrat, S., 2017. Massnahmen an der Quelle zur Reduktion der Mikroverunreini-gungen in den Gewässern. In: Bericht des Bundesrates Erfüllung des Postul., pp.12.
2. Couto, C.F., Lange, L.C., Amaral, M.C.S., 2019. Occurrence, fate and removal of pharmaceutically active compounds (PhACs) in water and wastewater treatment plants — a review. J. Water Process Eng. 32, 100927, http://dx.doi.org/10.1016/J.JWPE.2019.100927.
3. Ebele, A.J., Abou-Elwafa Abdallah, M., Harrad, S., 2017. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. Emerg. Contam. 3, 1–16, http://dx.doi.org/10.1016/J.EMCON.2016.12.004.
4. Khasawneh O.F.S., Palaniandy P., 2021. Occurrence and removal of pharmaceuticals in wastewater treatment plants, Process Safety and Environmental Protection, Volume 150, Pages 532–556, https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.04.045.
5. Netherlands Gov, 2018. Reducing Pharmaceutical Residues in Water: A ChainApproach, Implementation Programme for 2018–2022, Government of the Netherlands. Government of the Netherlands.
6. L.H.M.L.M. Santos, M. Gros, S.Rodriguez-Mozaz, C. Delerue-Matos, A. Pena, D. Barceló, M. Conceição B.S.M. Montenegro. 2013 Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: Identification of ecologically relevant pharmaceuticals, Science of The Total Environment, Volumes 461–462, 2013, Pages 302–316, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.077.

KOKTEJL CIZORODÝCH LÁTEK V PITNÝCH VODÁCH (KOHOUTKOVÝCH A BALENÝCH)

Ing. Taťána HALEŠOVÁ, Ing. Zuzana BÍLKOVÁ, Ph.D.

ALS Czech Republic, s.r.o., Na Harfě 336/9, 190 00 Praha 9
e-mail: tatana.halesova@alsglobal.com

1. ÚVOD

Je lepší pít kohoutkovou, nebo balenou vodu? To je otázka, kterou si klade řada lidí. Pozornost je přitom upřena zejm. na organické mikropolutanty, tedy látky antropogenního původu, které se ve vodách vyskytují v koncentracích v řádu ng/l až µg/l. Obavy nevzbuzuje pouze toxicita jednotlivých sloučenin, ale taktéž jejich působení ve směsích. Mluvíme o koktejlovém efektu, jehož důsledky je velmi obtížné posoudit a jenž může být příčinou vyšší toxicity. Mezi organické mikropolutanty řadíme především pesticidy, léčiva, hormony a per- a polyfluoralkylové látky. Všem těmto skupinám se budeme v článku věnovat.

Požadavky na kvalitu pitné a balené vody jsou zakotveny v legislativě. Kvalitu pitné vody reguluje vyhláška č. 252/2004 Sb. [1], naposledy novelizovaná vyhláškou č. 371/2023 Sb. [2]. Kvalita balené vody se řídí vyhláškou č. 13/2024 Sb. [3], jenž nabyla účinnosti 21. února tohoto roku a jenž nahradila dříve platnou vyhlášku č. 275/2004 Sb. [4].

Za účelem posouzení výskytu organických mikropolutantů v kohoutkových a balených vodách bylo odebráno celkem 13 vzorků kohoutkové vody, z toho 11 vzorků pocházelo z České republiky a 2 vzorky ze Slovenské republiky, a 3 vzorky balené vody. Sledováno bylo 367 pesticidů, 141 léčiv, včetně 5 pohlavních hormonů, a 20 PFAS látek. Sledovány byly jak účinné látky, tak metabolity. S ohledem na skutečnost, že přidanou hodnotou balených vod je zejm. zvýšený obsah minerálních prvků, hořčíku a vápníku, byly všechny odebrané vzorky posouzeny i z tohoto hlediska.

2. PESTICIDY

Pesticidy jsou látky, které se používají v boji proti škodlivým organismům (škůdcům). Zahrnují jak přípravky na ochranu rostlin (POR), které slouží k ochraně rostlin a rostlinných produktů a jejichž hlavní využití je v zemědělství, tak biocidní přípravky, mezi které řadíme např. dezinfekční nebo protihnilobné prostředky.

Legislativa

Legislativa rozlišuje pesticidy na účinné látky, relevantní metabolity a nerelevantní metabolity.

Pro účinné látky a relevantní metabolity jsou stanoveny jak v pitné, tak v balené vodě nejvyšší mezní hodnoty (NMH) – viz Tab. 1. Při jejich překročení je vyloučeno použití vody jako pitné (neurčí-li orgán ochrany veřejného zdraví jinak) a balená voda není považována za bezpečnou. V případě pitné vody je požadováno stanovení všech pesticidů s pravděpodobným výskytem v daném zdroji, v případě balených kojeneckých vod je stanoven minimální výčet 132 povinně analyzovaných pesticidů [1,3].

Nerelevantní metabolity jsou vyhláškou regulující kvalitu pitné vody [1] zařazeny mezi ukazatele se stanovenou směrnou hodnotou, tj. hodnou která iniciuje hodnocení a řízení zdravotních rizik. Danou vyhláškou jsou pro ně stanoveny individuální směrné hodnoty v rozsahu 0,5–3 µg/l a Ministerstvem zdravotnictví ČR doporučené limitní hodnoty [5]. Opět je nutné stanovovat všechny látky s pravděpodobným výskytem v daném zdroji.

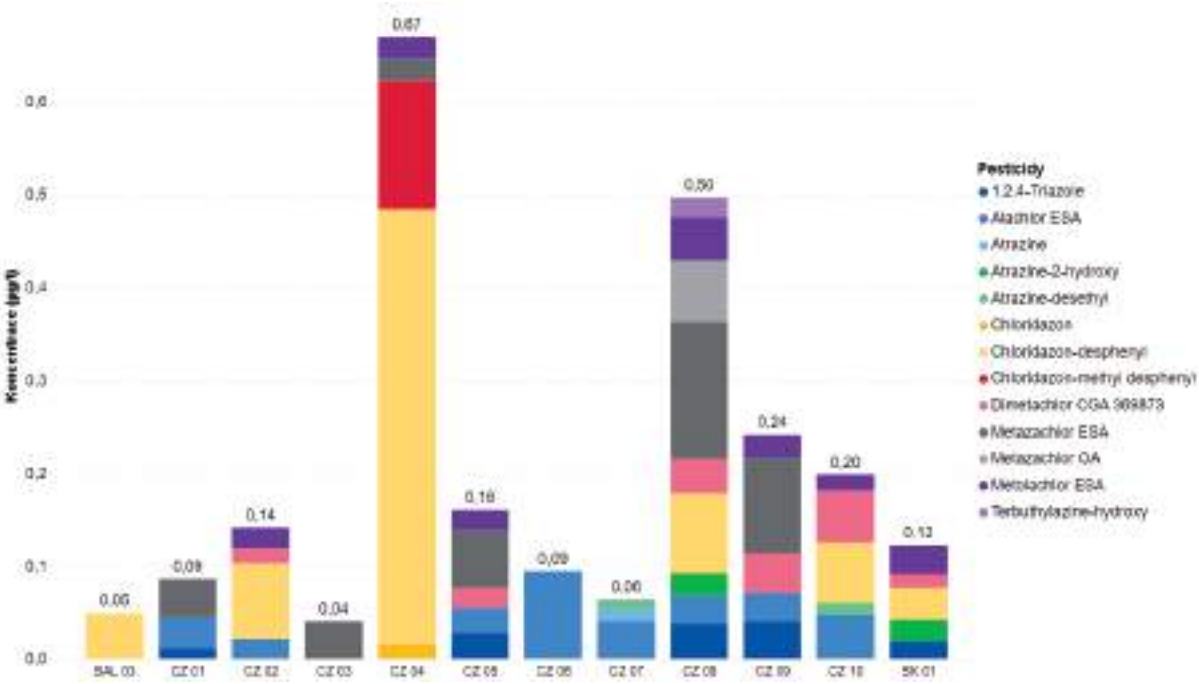
Tab. 1. *Nejvyšší mezní hodnoty pro obsah účinných pesticidních látek a jejich relevantních metabolitů v pitných [1] a balených [3] vodách.*

µg/l	Pitná voda	Balená voda		
		Pramenitá	Přírodní minerální	Kojenecká
Jednotlivá látka	0,10 µg/l	0,05 µg/l	0,025 µg/l	0,015 µg/l
Celkem	0,50 µg/l	0,25 µg/l	0,1 µg/l	0,05 µg/l

Výsledky monitoringu

Pesticidy byly zjištěny téměř ve všech vzorcích kohoutkové vody – v 11 vzorcích ze 13 odebraných. Jejich koncentrace se v pozitivních vzorcích (Obr. 1.) pohybovala rozmezí od 0,04 µg/l do 0,67 µg/l, přičemž průměrná koncentrace byla 0,21 µg/l. Zjištěno bylo celkem 13 různých sloučenin – 2 účinné látky a 11 metabolitů. Nejčastěji se jednalo o látky ze skupiny chloracetanilidových pesticidů. Ve většině vzorků se pesticidy vyskytovaly ve směsi. Nejvíce, a to 9, jich bylo zjištěno ve vzorku č. 8. Ve vzorcích byla potvrzena přítomnost i zakázaných účinných látek a jejich metabolitů.

V případě balených vod byly pesticidy, a to konkrétně nerelevantní metabolit chloridazon-desphenyl v koncentraci 0,05 µg/l, zjištěny pouze v 1 ze 3 odebraných vzorků (Obr. 1.).



Obr. 1. *Pesticidy v kohoutkových (CZ a SK) a balených (BAL) vodách. Pozitivních bylo 12 z 16 odebraných vzorků.*

3. LÉČIVA A HORMONY

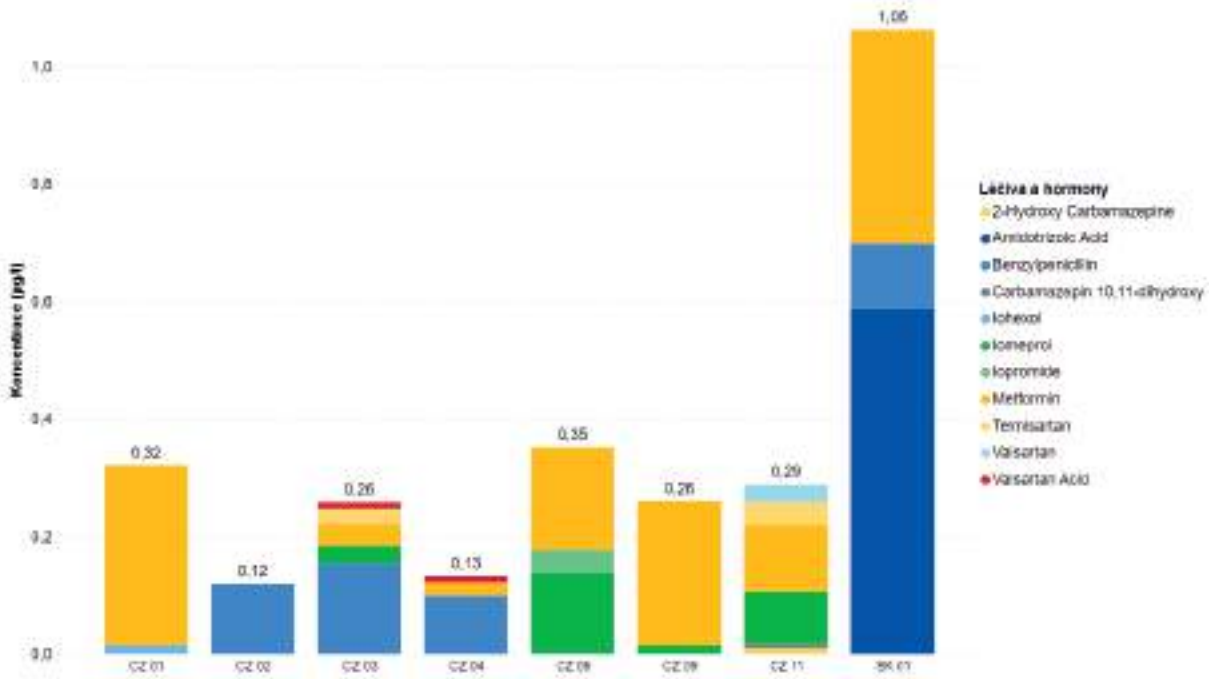
Léčiva představují rozsáhlou, chemicky velmi různorodou a neustále se rozšiřující skupinu látek vyznačující se širokou škálou klinických účinků. Jejich masové používání (a často i nadužívání) v humánní a veterinární medicíně vede nevyhnutelně ke kontaminaci životního prostředí. Specifickou skupinou léčiv jsou hormony, protože se současně jedná o látky, které se přirozeně vyskytují v lidském a zvířecím těle.

Legislativa

Přítomnost léčiv a hormonů je regulována pouze v pitných, nikoli v balených vodách. V souvislosti s pitnými vodami je tato skupina mikropolutantů zařazena pouze na seznamu ukazatelů se stanovou směrnou hodnotou, a to pouze prostřednictvím hormonu 17-beta-estradiol, pro něhož je stanovena směrná hodnota 1 ng/l [1,3].

Výsledky monitoringu

Léčiva byla zjištěna pouze v kohoutkových vodách, a to v 8 vzorcích ze 13 odebraných. Jejich koncentrace se v pozitivních vzorcích (Obr. 2.) pohybovala rozmezí od 0,12 µg/l do 1,06 µg/l, přičemž průměrná koncentrace byla 0,35 µg/l. Zjištěno bylo celkem 11 různých sloučenin, nejčastěji ze skupiny kontrastních látek (amidotrizoic acid, iohexol, iomeprol, iopromide) a ze skupiny léčiv ovlivňujících renin-angiotenzinový systém (telmisartan, valsartan, valsartan acid). Na celkové koncentraci léčiv se největší měrou podílel metformin, který se používá k léčbě diabetu a který byl zjištěn v 7 vzorcích v průměrné koncentraci 0,18 µg/l. Hormony nebyly zjištěny ani v jednom z odebraných vzorků kohoutkové a balené vody.



Obr. 2. Léčiva v kohoutkových vodách. Pozitivních bylo 8 ze 13 odebraných vzorků. V balených vodách nebyla léčiva zjištěna. Hormony nebyly zjištěny ani v kohoutkových, ani v balených vodách.

4. PFAS

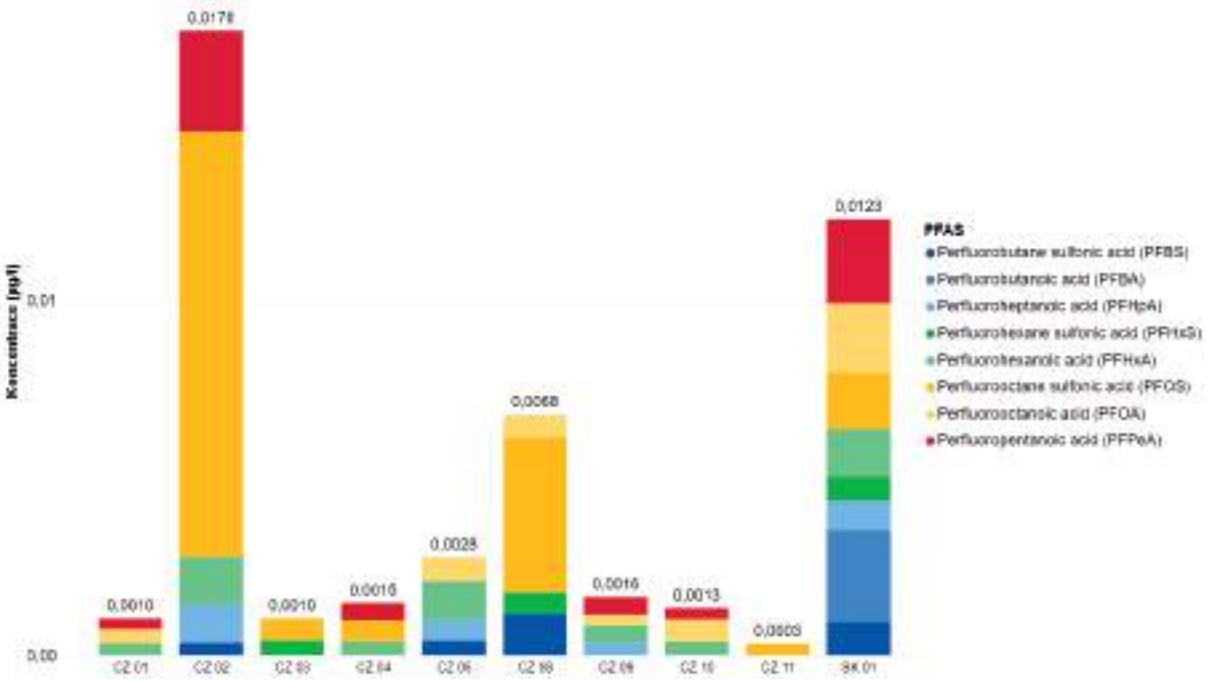
Per- a polyfluoralkylové látky (PFAS) jsou syntetické organofluorové sloučeniny, které mají všechny (perfluoralkylované) nebo část (polyfluoralkylované) atomů vodíku v uhlovodíkovém řetězci nahrazenou atomem fluoru. Dříve se v souvislosti s těmito perzistentními organickými polutanty (Persistent Organic Pollutants, POPs) používala i zkratka PFCs, která ale zahrnuje jen perfluorované sloučeniny. Mezi nejznámější příklady PFC patří kyselina perfluorooktanová (PFOA) a kyselina perfluorooktansulfonová (PFOS). PFAS sloučeniny mají široké využití v průmyslových aplikacích i v předmětech běžné potřeby, ale kvůli obavám z jejich negativních dopadů na životní prostředí a lidské zdraví se jejich používání v současné době omezuje.

Legislativa

V roce 2026 nabyde platnosti NMH 0,10 µg/l pro sumu 20 PFAS sloučenin jak v pitných, tak v balených pramenitých, přírodních minerálních a kojeneckých vodách. V současnosti jsou PFAS v souvislosti s pitnými vodami zařazeny na seznamu ukazatelů se stanovou směrnou hodnotou, a to prostřednictvím ukazatele „PFOA, PFNA, PFHxS a PFOS suma" se směrnou hodnotou 0,010 µg/l [1,3].

Výsledky monitoringu

Rozsah sledovaných PFAS byl zvolen na základě výše uvedených vyhlášek. PFAS byly zjištěny pouze v kohoutkových vodách, a to v 10 vzorcích ze 13 odebraných. Jejich koncentrace se v pozitivních vzorcích (Obr. 3.) pohybovala od 0,3 ng/l do 17,6 ng/l, přičemž průměrná koncentrace byla 4.6 ng/l. Zjištěno bylo celkem 8 různých sloučenin, přičemž na celkové koncentraci PFAS se největší měrou podílela kyselina perfluorooktansulfonová (PFOS), která byla zjištěna v 6 vzorcích v průměrné koncentraci 3,2 ng/l.



Obr. 3. PFAS v kohoutkových vodách. Pozitivních bylo 10 ze 13 odebraných vzorků. V balených vodách nebyly PFAS zjištěny.

5. VÁPNÍK A HOŘČÍK

Vápník a hořčík jsou pro tělo prospěšné minerální látky a voda, kterou pijeme, by je měla obsahovat. Vápník je důležitý zejm. pro pevnost kostí a zubů, hořčík je nepostradatelný v energetickém metabolismu, kde je ho zapotřebí k aktivaci mnoha různých enzymů [6].

Legislativa

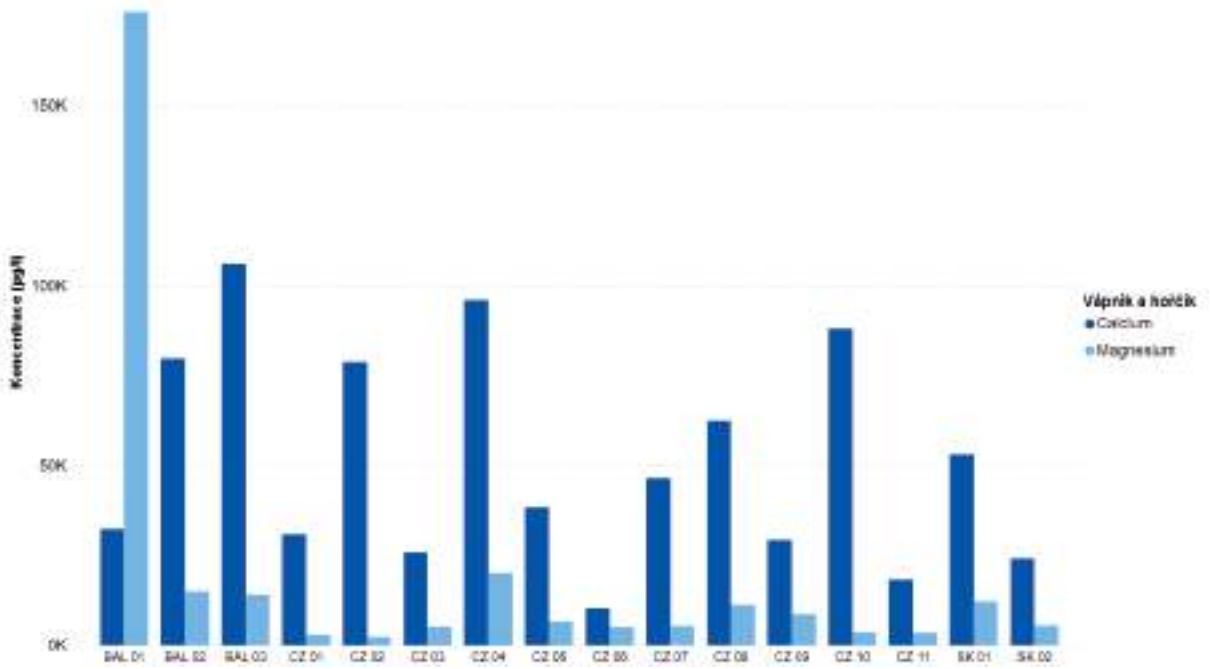
Pro vápník a hořčík v pitné, balené pramenité a balené kojenecké vodě je stanovena doporučená hodnota 40–80 mg/l (vápník) a 20–30 mg/l (hořčík). Balená přírodní minerální voda doporučenou hodnotu stanovenu nemá [1,3].

Výsledky monitoringu

Výsledky monitoringu jsou zobrazeny na Obr. 4 a shrnuty v Tab. 2. Obsahy obou minerálních prvků byly vyšší v balených vodách.

Tab. 2. *Vápník a hořčík v kohoutkových a balených vodách.*

	Typ vody	MIN	MAX	Průměr
Ca	kohoutková	10 mg/l	96 mg/l	46 mg/l
	balená	32 mg/l	106 mg/l	73 mg/l
Mg	kohoutková	2 mg/l	20 mg/l	7 mg/l
	balená	14 mg/l	176 mg/l	68 mg/l



Obr. 4. *Hořčík a vápník v kohoutkových (CZ a SK) a balených (BAL) vodách.*

6. ZÁVĚR

Ze vzájemného porovnání vychází lépe balená voda, ve které byly zjištěny pesticidy v menším množstvím než v kohoutkové vodě, které neobsahovala léčiva, hormony, ani PFAS a naopak poskytovala vyšší obsah minerálních prvků vápníku a hořčíku. Je třeba ale zdůraznit, že kohoutkové a balené vody byly v monitoringu zastoupeny výrazně nerovnoměrně.

SEZNAM LITERATURY

1. Vyhláška č. 252/2004 Sb. ze dne 22. dubna 2004, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.
2. Vyhláška č. 371/2023 Sb. ze dne 8. prosince 2023, kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů.
3. Vyhláška č. 13/2024 Sb. ze dne 17. ledna 2024 o požadavcích na jakost balených vod a o způsobu jejich úpravy.
4. Vyhláška č. 275/2004 Sb. ze dne 28. dubna 2004 o požadavcích na jakost a zdravotní nezávadnost balených vod a o způsobu jejich úpravy.
5. mzd.gov.cz/seznam-posouzenych-nerelevantnich-metabolitu-pesticidu-a-jejich-doporucene-limitni-hodnoty-v-pitne-vode/
6. nzip.cz

FARMAKA A DALŠÍ MIKROKONTAMINANTY V TOCÍCH POVODÍ VLTAVY

Liška M., Balejová M.

Povodí Vltavy státní podnik, Na Hutmance 5a/596, Praha 5 Jinonice 158 00
e-mail: marek.liska@pvl.cz

ÚVOD

Současné znečištění povrchových vod již dávno nepředstavuje pouze přítomnost živin, těžkých kovů, polyaromatických uhlovodíků a dalších organických látek známých z „minulého století". V posledních dvaceti letech mluvíme čím dál častěji o přítomnosti tzv. mikrokontaminantů a potřebě jejich odstraňování, a to jak z vod pitných, tak v poslední době i z vod odpadních, které ústí do vod povrchových. Mezi uvedené mikropolutanty patří zejména rezidua pesticidních látek, humánních a veterinárních léčiv, ale také řada dalších látek, kterými jsou např. rentgendiagnostické látky (iomeprol, iopromid, iohexol), tzv. benzotriazolové látky (používají se jako antikoroziva), bisfenoly (změkčovače plastů), komplexony např. kyselina ethylendiamin tetraoctová (snižující povrchové napětí), ftaláty, zpomalovače hoření atd. Velká pozornost je v současné době věnována také tzv. perflourovaným látkám tzv. PFAS, které své použití nacházejí zejména v různých antismáčivých úpravách textilu, v hasebních pěnách, v rozmrazovacích kapalinách používaných na letištích atd. Vodohospodářské laboratoře státního podniku Povodí Vltavy neustále rozšiřují analytické portfolio sledovaných látek o nově „environmentálně indikované" účinné látky. V posledních letech byla do sestavy analyzovaných látek doplněna některá farmaka, zejména účinné látky přípravků na snižování krevního tlaku tzv. sartany, účinné látky a metabolity přípravků snižujících hladinu cholesterolu v krvi tzv. statiny, některé hormonální látky, další antibiotika, více než cca 20 návykových látek a skupina látek PFAS. Dále do analytického portfolia patří umělá sladidla např. acesulfam, sacharin a sucralosa. Na oddělení organické analýzy ve vodohospodářské laboratoři v Plzni je v současné době analyzováno více než 150 pesticidních látek a jejich metabolitů, více než 120 látek ze skupiny farmak a dále velké množství specifických analytů z uvedených skupin. Všechny výše uvedené látky jsou analyzovány v povrchových vodách a velká část z nich také v odpadních vodách.

METODIKA SLEDOVÁNÍ

Většina výsledků pochází z provozního monitoringu povrchových vod, který probíhá v měsíční frekvenci na většině toků v územní působnosti státního podniku Povodí Vltavy. Nastavení rozsahu sledování provozního monitoringu vychází jednak z platné legislativy a také z provedené analýzy vlivů, tj. např. sledování farmak pod lidskými sídly, pod zaústěním odpadních vod ze zdravotnických zařízení nebo sledování látek PFAS v povrchových vodách odvodňujících např. letiště nebo továrny s leteckým průmyslem. V posledních letech je snaha odebírat také směsné vzorky povrchových vod pomocí automatických vzorkovačů, tak aby byly získány reprezentativní výsledky a byly postiženy různé fluktuace, a to jak z pohledu vypouštění odpadních vod, tak z pohledu anomálních průtoků. Vzorky odpadních vod v celém povodí Vltavy jsou odebírány jednak jako prosté jednorázově odebrané a také jako směsné vzorky (tj. slévané typu A, B, C). Pro analýzu výše uvedených látek jsou používány metody plynové a kapalinové chromatografie s hmotnostní detekcí. Vodohospodářské laboratoře státního podniku Povodí Vltavy disponují několika analytickými systémy GC/MS-MS a LC/MS-MS. Pro analýzy metodou plynové chromatografie (stanovení chlorovaných fenolů, ftalátů,

některých silně polárních pesticidů a dalších látek) je nutné vzorky extrahovat pomocí organických rozpouštědel. Pro analýzu pesticidů, většiny farmak, hormonů, látek PFAS a návykových látek se v rámci metod LC/MS-MS používá tzv. metoda přímého nástřiku vzorku.

HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Cílem níže uvedeného zhodnocení dat je podat rámcovou informaci o významných kontaminantech ze skupiny léčiv a dalších organických látek nacházejících se v povrchových vodách a zároveň látek, které mají původ ve vodách odpadních, a to jak komunálních, tak i např. průmyslových. Rezidua farmak a dalších látek lze ještě částečně rozdělit na ta, která přicházejí v podstatně vyšších koncentracích ze zdravotnických zařízení anebo výhradně z komunálních ČOV, většinou však jde o kombinaci obou zdrojů. Dále je zde popsán výskyt vybraných látek, které se v odpadních vodách vyskytují ve významných koncentracích, přehled viz. Tab. 1. Jsou zde sumarizovány výsledky analýz vybraných významných látek na 7 vybraných profilech monitoringu odpadních vod: odtoky z ČOV dvou zdravotnických zařízení – Rehabilitační ústav v Kladrubech u Vlašimi a Nemocnice na Pleši u Mníšku pod Brdy, odtok z ÚČOV hlavního města Prahy (příklad největší aglomerace v ČR), odtok z ČOV Plzně, Českého Krumlova a Pelhřimova (lidská sídla s nemocnicemi a dalšími zdravotnickými zařízeními). Dále je v tabulce také zařazen profil, který monitoruje jakost odpadních vod na odtoku ze soustavy dvou biologických rybníků pod ČOV Pelhřimov.

Z výsledků jsou velmi dobře patrné rozdíly v koncentracích látek ve „zdravotnických" a komunálních odpadních vodách. Z našich výsledků vyplývá, že v tzv. „zdravotnických odpadních vodách" jsou obecně vyšší koncentrace většiny léčiv, zřetelně vyšší koncentrace jsou však u následujících skupin látek: analgetika (např. metabolity dipyronu), antiepileptika (karbamazepin, pregabalin), psychofarmaka (citalopram, lamotrigin), antiflogistika (diclofenac, phenazone), antibiotika (erythromycin, clarithriomycin, thrimetoprim), antialergika (fexofenadin), diuretika (furosemide), léky na neuropatickou bolest (např. gabapentin), rentgendiagnostické látky (iohexol a iomeprol) a hypolimidemika (rosuvastatin). Ve vyčištěných odpadních vodách rehabilitačního ústavu v Kladrubech u Vlašimi byly analyzovány koncentrace některých farmak v desítkách mikrogramů v litru odpadní vody. Níže uvedená Tab. 1 uvádí průměrné koncentrace za několik posledních let, např. u gabapentinu se průměrná koncentrace pohybuje na hodnotě 29,4 ug/l. Koncentrace některých analgetik např. 4-formylaminoantipyrinu (metabolit dipyronu) se v odpadní vodě odtékající z kladrubské léčebny pohybuje okolo průměrné hodnoty 15,4 ug/l. Průměrná koncentrace furosemidu, který se používá jako diuretikum, dosahuje v odpadních vodách u obou výše uvedených zdravotnických zařízení hodnoty cca 3 ug/l. Z rentgendiagnostických látek se v nemocniční odpadní vodě ve vysokých koncentracích vyskytl iomeprol a to v nemocnici Na pleši, průměrná koncentrace za posledních 5 let je 76,3 ug/l. V odpadní vodě nemocnice Kladruby se rentgendiagnostika téměř nevyskytují. V městských odpadních vodách (Praha a Plzeň) se ve vysokých koncentracích vyskytuje iomeprol a to v desítkách ug/l, dále iohexol v jednotkách ug/l (viz Tab. 1.).

U řady jiných léčiv naopak není tak velkých rozdílů mezi komunálními a tzv. zdravotnickými odpadními vodami, zejména se jedná o farmaka, která jsou napříč lidskou populací hojně a ve vysokých dávkách užívána. Jsou to léky užívané k léčbě cukrovky (metformin), dny a infekcí ledvin a močových cest (alapurinol, v laboratořích Povodí Vltavy, státní podnik je analyzovaný jeho metabolit – oxypurinol), léky na vysoký krevní tlak (např. hydrochlorthiazide a široká skupina léčiv patřící do skupiny tzv. sartanů, jedná se zejména o telmisartan, valsartan). Maximální průměrné koncentrace metforminu v odpadní vodě okolo hodnoty 7 ug/l byly naměřeny na odtoku z ČOV Domažlice. Naprosto běžné hodnoty metforminu u řady komunálních ČOV (např. Praha, Plzeň, Klatovy, Tábor, Písek, Pelhřimov) se pohybují v nižších

jednotkách mikrogramů. I hodnoty reziduí léků na vysoký krevní tlak jsou v odpadních vodách vysoké, jedná se zejména o telmisartan a hydrochlorthiazid a to jak v komunálních odpadních vodách z lidských sídel, tak i v odpadních vodách ze zdravotnických zařízení. Časté koncentrace v obou typech vod se pro obě látky pohybují v jednotkách ug/l. Laboratoře Povodí Vltavy, státní podnik dále monitorují také látky, které lze označit jako stimulancia. Jsou to látky návykové, jsou jednak předepisovány k terapeutickým účelům, ale některé z nich jsou užívány nelegálně jako drogy. Významnějších koncentrací v odpadních vodách dosahuje zejména methamphetamin, který je obsažen jednak v některých legálních účinných farmaceutických přípravcích, ale především je účinnou látkou drogy pervitin, v odpadních vodách se vyskytuje zpravidla v nízkých stovkách ng/l (viz Tab.1.).

Tab.1. *Průměrné koncentrace reziduí účinných látek farmak, jejich metabolitů a dalších látek ve vyčištěných odpadních vodách na odtocích z vybraných čistíren odpadních vod z měst a zdravotnických zařízení a na odtoku z biologického rybníka ČOV Pelhřimov. Průměrné hodnoty za období 2018–2023, hodnoty jsou vyjádřeny v ng/l.*

Místo odběru	ČOV Nemocnice Na Pleši **odtok**	ČOV Rehab. ústav Kladruby **odtok**	ČOV Praha **odtok NVL**	ČOV Plzeň **odtok**	ČOV Český Krumlov **odtok**	ČOV Pelhřimov **odtok z ČOV**	ČOV Pelhřimov **odtok z biolog. rybníka**
4-acetamidoantipyrin	1 706	1 316	1 827	1 657	354	2 528	5
4-formylaminoantipyrin	6 312	15 420	1 966	2 149	190	1 246	667
Acesulfam	1 421	5 042	729	1 703	1 224	1 073	779
Atorvastatin	54	529	52	74	11	39	5
Azithromycin	693	492	689	473	94	109	38
Benzotriazole	16 312	6 253	2 966	4 657	583	1 619	996
Caffeine	750	1 047	143	777	375	245	372
Carbamazepine	1 225	879	388	340	158	258	218
Carbamazepine-2-H	148	205	53	45	19	26	16
Carbamazepine-DHH	558	14	88	49	23	5	5
Cetirizine	330	887	817	408	186	215	nest.
Citalopram	274	1 143	224	161	97	78	33
Clarithromycin	967	650	663	800	153	488	248
Cyclamate	461	422	234	472	165	155	188
Diclofenac	1 598	2 313	1 243	1 478	435	728	172
Diclofenac-4-hydroxy	1 546	2 197	462	345	100	89	90
Erythromycin	341	191	57	56	34	33	15
Fexofenadine	23	1 610	418	233	145	67	32
Fluconazole	693	1 472	189	199	89	59	35
Furosemide	3 029	2 698	1 019	1 525	233	590	703
Gabapentin	1 931	29 446	1 735	1 798	625	1 465	1 136
Hydrochlorothiazide	2 438	4 767	1 563	1 024	1 179	1 008	582
Chloramphenicol	150	28	33	23	10	10	10
Ibuprofen	178	235	119	175	66	78	127
Ibuprofen-2-hydroxy	526	889	109	362	152	94	275
Ibuprofen-carboxy	130	102	<20	426	<20	<20	253
Iohexol	959	30	1 459	215	177	150	73
Iomeprol	76 327	851	20 747	17 778	660	1 791	1 000

Iopromide	1141	886	2 169	1 388	776	416	186
Lamotrigine	876	1 944	1 046	1 071	365	474	354
Metformin	2 639	6 816	2 358	3 155	522	2 010	2 073
Metoprolol	1 080	2 274	1 006	1 030	179	452	153
Paraxanthine	340	1 169	282	894	2 116	161	547
Phenazone	1 546	2 785	322	137	90	43	24
Pregabaline	5	1 180	143	103	81	278	5
Rosuvastatin	579	5 393	444	561	25	101	nest.
Saccharin	438	591	563	502	286	305	294
Sucralose	7 787	50 825	16 662	13 859	6 586	4 640	1 870
Sulfamethoxazole	3 096	2 328	686	327	157	157	136
Telmisartan	6 572	8 892	6 128	4 828	1 068	2 299	1 143
Tramadol	3 574	5 441	674	1 133	706	610	212
Trimetoprim	2 311	2 622	277	177	35	111	49
Valsartan	328	2 758	260	371	273	95	71
Valsartan acid	1 079	892	1 102	1 213	1 363	736	448
Venlafaxine	450	1 746	422	434	214	180	36
Venlafaxine O-desmet	1 014	4 360	1 298	1 350	497	543	5
Xanthine	5	3 880	1 060	1 590	2 130	884	5
Benzoylecgonine	46	4	15	23	2	10	4
Cocaine	3	2	2	2		3	1
Codeine	71	95	40	28	5	9	5
Hydrocodone	124	86	22	26	11	21	nest.
Lidocaine	66	267	158	155	93	44	nest.
Methamphetamine	7	149	120	173	15	92	21
Morphine	38	38	11	9	2	3	6
Oxazepam	350	278	50	56	22	11	7

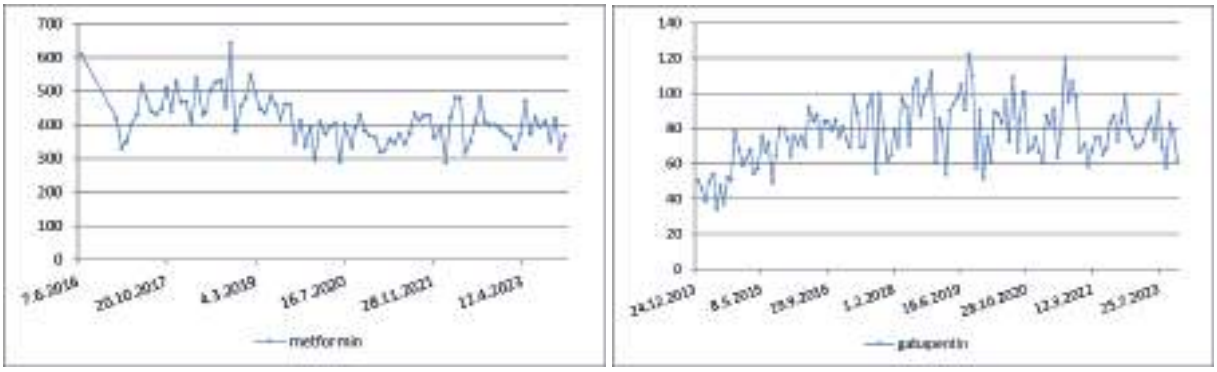
Dalšími návykovými látkami, které se v odpadní vodě vyskytují v desítkách ng/l jsou např. benzoylecgonin (metabolit cocainu), codein, morfin a hydrocodon. THC obsažené např. v konopí se v odpadních vodách příliš nevyskytuje, spíše jen jako metabolit THC-COOH a to v nízkých koncentracích. Poměrně nezanedbatelnou látkou z této skupiny je oxazepam, který se používá k terapii v humánní medicíně a v odpadních vodách se vyskytuje v desítkách až stovkách ng/l (viz Tab. 1.).

Z ostatních sledovaných látek, odtékajících z čistíren odpadních vod jsou zajímavé zejména bisfenoly (používané např. pro změkčování plastů, při zpracování recyklovaného papíru), benzotriazolové látky (antikoroziva), perfluorované látky tzv. PFAS (antismáčivé látky), komplexotvorné látky např. EDTA (ethylen diamintetraoctová kyselina), ale také např. umělá sladidla (acesulfam, sucralosa a sacharin), cofein a jeho metabolit (paraxantin) – výsledky průměrných hodnot některých látek uvádí Tab. 1.

S odpadními vodami se všechny výše uvedené a další látky dostávají do vod povrchových, kde dochází k jejich dalšímu naředění nebo metabolizaci, která je však velmi specifická v závislosti na chemické povaze dané látky. Určitým mezistupněm mezi čistírnou odpadních vod a vodním tokem nebo nádrží mohou být tzv. biologické dočišťovací rybníky. Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že i tento stupeň čištění vykazuje určitou efektivitu v odstraňování léků. Z porovnání hodnot koncentrací léčiv na odtoku z ČOV Pelhřimov a odtoku z kaskády biologických dočišťovacích rybníků je zřejmé, že koncentrace většiny účinných látek a jejich metabolitů při

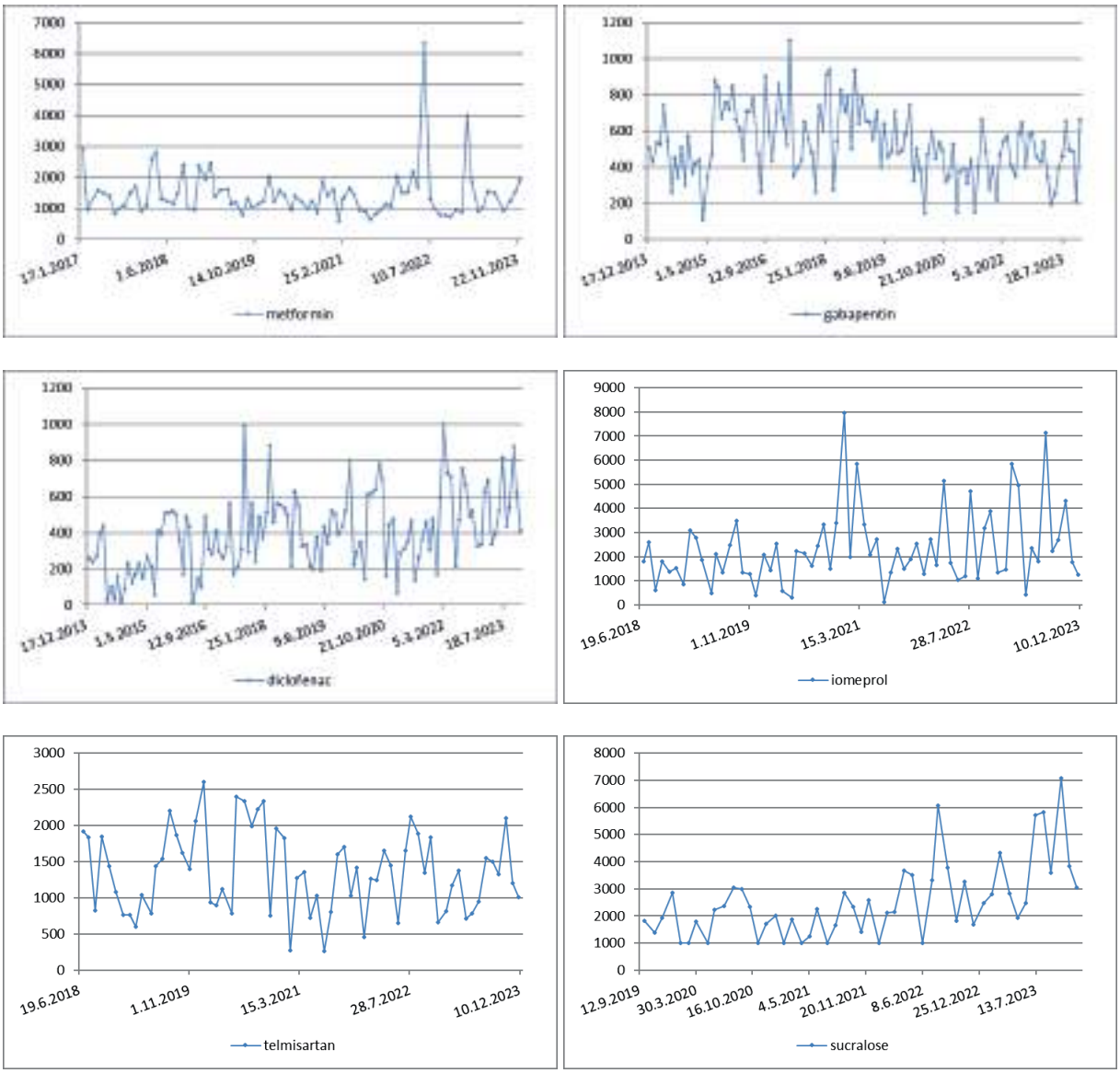
průtoku těmito „ekosystémy" klesá. U většiny látek je patrný výrazný pokles, někde až několika řádový, jinde pouze poloviční. Při jistém zobecnění zde můžeme říci, že jen velmi malý pokles koncentrace je zřetelný u umělých sladidel: acesulfam, sacharin a částečně i sucralosa (zde cca o 50 %) a dále u cofeinu. Koncentrace léčiv gabapentinu a carbamazepinu poklesly při průchodu rybníkem také jen velmi málo. Žádné snížení koncentrací při průchodu rybníky se neprojevilo u látek metformin a furosemid.

Povrchové vody jsou rezidui farmak obecně zatíženy významně, zejména jedná-li se o toky, které nejsou příliš vodné a současně jsou recipientem odpadních vod pro větší sídelní aglomeraci nebo do nich ústí odpadní vody z většího zdravotnického zařízení. Obecně lze říci, že se v povrchových vodách ve vysokých koncentracích vyskytují také rezidua látek, které se ve vodním prostředí nerozkládají nebo nemetabolizují. Jedná se zejména o již výše uvedené látky metformin, gabapentin, tramadol, karbamazepin a některé další. Uvedené látky se vyskytují i ve zdrojích pitných vod, např. i v největší české vodárenské nádrži Švihov na Želivce. Zde se průměrná koncentrace např. metforminu pohybuje kolem hodnoty 400 ng/l a gabapentinu cca 80–110 ng/l (Obr. 1.). V měřitelných koncentracích se vyskytuje také telmisartan, metabolity ibuprofenu a řada dalších látek.

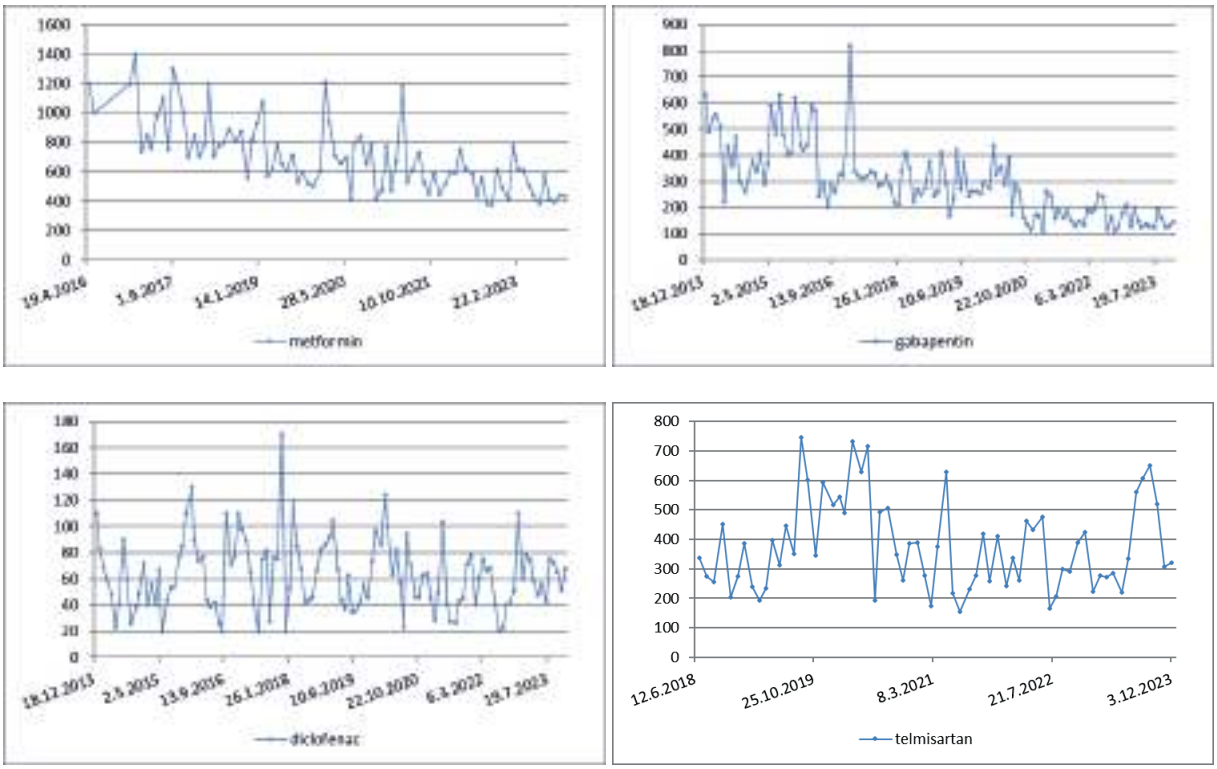


Obr. 1. *Vývoj koncentrace metforminu a gabapentinu ve vodě VN Švihov, profil ÚV Hulice surová voda (ng/l)*

Nejvyšší koncentrace farmak jsou zpravidla měřeny v drobných tocích pod zaústěním odpadních vod z ČOV. Tuto situaci dobře ilustruje profil Drnový potok – Klatovy, kde jsou dlouhodobě měřeny vysoké koncentrace léčiv Obr. 2., látky metformin a telmisartan se zde vyskytují v jednotkách ug/l. U řady léčiv je jejich koncentrace v potoce pouze poloviční oproti jejich koncentraci v odpadní vodě, která odtéká z ČOV Klatovy. Na ČOV Klatovy jsou svedeny i odpadní vody ze zdejší nemocnice, pravděpodobně díky tomu jsou koncentrace některých léčiv tak vysoké.
Ve velkých tocích bývá zpravidla koncentrace léčiv výrazně nižší než v těch drobných, a to i když jsou do nich zaústěny odpadní vody z velkých aglomerací, tak jako je tomu ve významném vodním toku Vltavě pod Prahou. Obr. 3. znázorňuje vývoj koncentrací vybraných farmak na profilu Vltava – Zelčín (před soutokem Vltavy a Labe). Koncentrace reziduí farmak jsou zde sice nižší, avšak z pohledu „bilančního" se jedná o nezanedbatelné látkové odtoky (kdybychom vynásobili koncentraci velkým průtokem). Téměř u všech níže uvedených grafů je zřetelný výrazný pokles farmak ve vltavské vodě, což velmi pravděpodobně souvisí s intenzifikací a modernizací ústřední čistírny odpadních vod v Praze Troji.



Obr. 2. *Vývoj koncentrace metforminu, gabapentinu, diclofenac, iomeprol, telmisartan a sucralosy v povrchové vodě Drnového potoka – profil Klatovy (ng/l)*



Obr. 3. *Vývoj koncentrace metforminu, gabapentinu, diclofenaku a telmisartanu v povrchové vodě Vltavy – profil Zelčín (ng/l)*

ZÁVĚREM

Vodohospodářské laboratoře státního podniku Povodí Vltavy se zabývají monitoringem reziduí farmak a dalších specifických látek v povrchových vodách již řadu let. V příspěvku jsou uvedeny příklady výskytu těchto látek ve „vyčištěných" odpadních vodách z lidských sídel a zdravotnických zařízení. Zaústění odpadních vod do vod povrchových má přímý vliv na jejich jakost, a to v drobných i ve velkých tocích a dále ve vodních a vodárenských nádržích, které slouží jako zdroje pitné vody.

S ohledem na vysoké koncentrace některých léčiv v povrchových vodách a jejich pravděpodobnému „koktejlovému" efektu (nejen na vodní ekosytémy) je nutné začít s realizací opatření, která povedou k menšímu zatížení povrchových vod těmito látkami. Řešení lze hledat např. v zavedení určitých opatření v topické aplikaci některých přípravků, sběru a likvidaci moči s vysokým obsahem farmak z urinbagů pacientů či likvidaci nevyužitých léků. Dalším možným řešením je zavedení technologických stupňů čištění na odstranění těchto látek z odpadních vod u významných hot-spot zdrojů odpadních vod s vysokým obsahem reziduí léčiv (např. některé nemocnice, léčebny, rehabilitační ústavy, velké domovy seniorů atd…).

VÝSLEDKY MONITORINGU PESTICÍDNYCH LÁTOK V PITNEJ VODE NA SLOVENSKU V ROKU 2023

Ing. Mgr. K. JATZOVÁ, PhD., RNDr. Z. VALOVIČOVÁ

Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky, Trnavská cesta 52, 826 45 Bratislava
Národné referenčné centrum pre hygienickú problematiku pitnej vody
e-mail: katarina.jatzova@uvzsr.sk

ÚVOD

V roku 2023 realizovali orgány verejného zdravotníctva národný monitoring pesticídov a ich metabolitov v pitnej vode vo verejných vodovodoch vo veľkých zásobovaných oblastiach (ďalej len „VZO")[1]), ktorý vyplýval z projektu č. 1.5 „Mapovanie aktuálneho stavu výskytu pesticídnych látok a mikropolutantov v pitných vodách" [1]. Cieľom monitoringu bolo zmapovanie aktuálneho stavu výskytu pesticídnych látok (ďalej len „PL") v systémoch zásobujúcich pitnou vodou viac ako 5 000 obyvateľov. Ide o prvú etapu projektu zameraného na celoplošné a komplexné zmapovanie uvedených látok na úrovni Slovenska.

Európsky legislatívny rámec pre PL v pitnej vody vymedzuje nová Smernica Rady (EÚ) 2020/2184 zo dňa 16. decembra 2020 [2], ktorá nahradila smernicu 98/83/ES o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu [3]. Transpozícia smernice mala legislatívny vplyv na národnú legislatívu Slovenska a viedla k novele *zákona č. 355/2007 Z. z. ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia* (ďalej len „zákon č. 355/2007 Z. z.") [4]. Taktiež viedla k prijatiu *vyhlášky č. 91/2023 Z. z., ktorou sa ustanovujú ukazovatele a limitné hodnoty kvality pitnej vody a kvality teplej vody, postup pri monitorovaní pitnej vody, manažment rizík systému zásobovania pitnou vodou a manažment rizík domových rozvodných systémov* (ďalej len „Vyhláška MZ SR č. 91/2023 Z. z.") [5], ktorá nahradila *vyhlášku č. 247/2017 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o kvalite pitnej vody, kontrole kvality pitnej vody, programe monitorovania a manažmente rizík pri zásobovaní pitnou vodou* [6]. Nová vyhláška v oblasti PL právne zozáväznila dodržiavanie Odporúčaného postupu [7] a Zoznamu pesticídov [8] zverejnených na webovom sídle Úrade verejného zdravotníctva SR, ktoré dovtedy mali len odporúčací charakter. Osobitný prístup je venovaný nerelevantným metabolitom pesticídov. V marci 2019 vstúpilo do platnosti rozhodnutie [9] určujúce limitné hodnoty pre deväť nerelevantných metabolitov pesticídov, ktorých prítomnosť bola zistená alebo sa predpokladá v povrchových a podzemných zdrojoch vôd na Slovensku.

METODIKA

Výber odberných miest. Pre potreby projektu sa vychádzalo zo zoznamu VZO podľa „Správy Slovenskej republiky o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu v rokoch 2017–2019" [10]. Pre 97 VZO bol navrhnutý minimálne jeden odber vzorky pitnej vody. Odbery vzoriek realizovali pracovníci akreditovaných odberových skupín odborov hygieny životného prostredia a zdravia na 36 miestne príslušných regionálnych úradoch verejného zdravotníctva (ďalej len „RÚVZ") v SR.

[1]) Zásobovaná oblasť je v súlade s Prílohou č. 2 Vyhlášky MZ SR č. 91/2023 Z. z. geograficky vymedzená oblasť, v ktorej pitná voda pochádza z jedného zdroja alebo z niekoľkých zdrojov; kvalitu pitnej vody v zásobovanej oblasti možno považovať za približne rovnakú.

Výber sledovaných analytov. Vo vzorkách pitných vôd bolo v rôznom rozsahu analyzovaných 79 PL zo Zoznamu [8], konkrétne: 2,4-D, acetochlór ESA, acetochlór OA, acetochlór, alachlór ESA, alachlór OA, alachlór, 2-amino-N-(izopropyl) benzamid, atrazín, 2-hydroxyatrazín, desetylatrazín, desetyldesisopropylatrazín, desizopropylatrazín, R234886, azoxystrobín, metylbentazón, bentazón, karbendazím, cyprokonazol, desmedifam, diflufenikan, dichlórprop, dimetachlór ESA, dimetachlór OA, dimetachlór, dimeténamid ESA, dimeténamid OA, dimeténamid, epoxikonazol, etofumesát, flufenacet ESA, flufenacet OA, flufenacet, fluroxypyr, chloridazón, desfenylchloridazón, metyldesfenylchloridazón, chlórmekvát, chlórotolurón, desmetylchlorotolurón, chlórpyrifos, chlórsulfurón, izoproturón, desmetylizoproturón, lenacil, linurón, MCPA, MCPB, mekoprop, mezotrión, metamitrón, metazachlór ESA, metazachlór OA, metazachlór, metolachlór ESA, metolachlór OA, metribuzín, diketodesaminometribuzín, ASDM, nikosulfurón, pendimetalín, pethoxamid, fenmedifam, prochloraz, prometrín, propazín, propikonazol, protiokonazol, quinmerac, simazín, 2-hydroxysimazín, metolachlór, tebukonazol, terbutylazín, hydroxyterbutylazín, desetylterbutylazín, 2-hydroxydesetyl-terbutylazín, terbutrín, tiofanát-metyl. Zvyšné PL zo Zoznamu [8] neboli analyzované najmä z dôvodu, že nebolo možné obstarať štandardy (napr. HMUD, UCSN, AUSN) resp. nebola zavedená vhodná metóda stanovenia (napr. clopyralid, dikamba).
Metóda stanovenia. Analýzy všetkých vzoriek na prítomnosť PL zabezpečilo *Národné referenčné centrum pre rezíduá pesticídov* na Úrade verejného zdravotníctva SR. Stanovenie analytov v pitnej vode prebiehalo multireziduálnou metódou na prístroji HPLC-MS/MS Q-trap 6500+ Sciex. Na analýzu finálnych extraktov vzoriek sa využila vysokorozlišovacia kvapalinová chromatografia s tandemovou hmotnostnou spektrometrickou detekciou. Dávkovanie upravených extraktov bolo zabezpečené autosamplerom. Dávkovaný objem finálneho extraktu v pitnej vode bol 100 µL. Ako mobilná fáza sa využívala zmes voda-metanol s prídavkom kyseliny mravčej s gradientovým programovaním. Podrobnosti o použitej metóde sú uvedené v samostatnej publikácií [11].

VÝSLEDKY

V rámci projektu bolo v roku 2023 odobratých celkovo 211 vzoriek pitných vôd. Výsledky stanovenia PL vo vzorkách pitných vôd podľa krajov sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1. *Výsledky stanovenia PL vo vzorkách pitných vôd podľa krajov.*

Kraj	Počet VZO	Počet odobratých vzoriek	Počet vzoriek bez stanovených PL	Počet stanovených ukazovateľov v jednej vzorke	Počet stanovených ukazovateľov celkovo	Počet PL nad limit detekcie
BA	8	32	3	74	2 368	35
TT	15	24	6	75	1 800	57
TN	12	25	16	77	1 925	13
NR	14	30	13	76/77	2 295	32
ZA	12	28	27	77	2 156	1
BB	16	23	20	77	1 771	13
PO	13	24	22	77	1 848	4
KE	11	25	19	77	1 925	16
SR	**101**	**211**	**126**	**-**	**16 088**	**171**

V Bratislavskom kraji bolo až 65,6 % vzoriek odobratých v ZO Bratislava – mesto. Z účinných látok bola zistená len prítomnosť atrazínu (ZO Senec – Bernolákovo – Malinovo, ZO Záhorská). Z relevantných metabolitov bola zistená prítomnosť desetyldesisopropylatrazínu (ZO Senec – Bernolákovo – Malinovo, ZO Bernolákovo) a desetylatrazínu (ZO Senec – Bernolákovo – Malinovo).

Z nerelevantných metabolitov bola zistená prítomnosť metolachlóru ESA (vo všetkých 8 VZO) a metyldesfenylchloridazónu (ZO Senec – Bernolákovo – Malinovo).

V Trnavskom kraji bolo najviac vzoriek odobratých v ZO Trnava (20,8 %). Z účinných látok bola zistená prítomnosť bentazónu (ZO Holíč – Skalica, ZO Galanta), chloridazónu (ZO Šamorín), prometrínu (ZO Zlaté Klasy) a atrazínu (ZO Veľký Meder, ZO Zlaté Klasy, ZO Galanta). Z relevantných metabolitov bola zaznamenaná prítomnosť acetochlóru ESA (ZO Holíč – Skalica, ZO Kúty, ZO Šaštín – Stráže), desetylatrazínu (ZO Galanta) a desetyl-desisopropylatrazínu (ZO Dunajská Streda – Topoľníky, ZO Zlaté Klasy, ZO Galanta, ZO Trnava). Z nerelevantných metabolitov boli stanovené: alachlór ESA (ZO Holíč – Skalica, ZO Kúty), metyldesfenylchloridazón (ZO Holíč – Skalica, ZO Dunajská Streda – Topoľníky, ZO Zlaté Klasy, ZO Galanta, ZO Trnava), metazachlór OA (ZO Kúty), metazachlór ESA (ZO Holíč – Skalica, ZO Kúty, ZO Senica, ZO Šaštín – Stráže, ZO Borský Mikuláš, ZO Šamorín, ZO Trnava), metolachlór ESA (ZO Holíč – Skalica, ZO Kúty, ZO Šaštín – Stráže, ZO Šamorín, ZO Zlaté Klasy, ZO Galanta, ZO Trnava) a metolachlór OA (ZO Kúty, ZO Šaštín – Stráže). Taktiež bol stanovený jeden metabolit bez priradenej relevancie, konkrétne diketodesaminometribuzínu (ZO Kúty, ZO Šaštín – Stráže).

V Trenčianskom kraji nebola zistená ani jedna účinná látka. Najviac metabolitov bolo zistených v ZO Trenčín, konkrétne dva relevantné metabolity (ASDM, desetylatrazín) a dva nerelevantné metabolity (desfenylchloridazón, metyldesfenylchloridazón). Nerelevantný metabolit desfenyl-chloridazón bol stanovený aj v ďalších 4 ZO (ZO Nové Mesto nad Váhom – Stará Turá – Myjava, ZO Bánovce nad Bebravou, ZO Partizánske, ZO Lednické Rovne).

V Nitrianskom bola stanovená účinná látka atrazín (ZO Šaľa, ZO Nitra). Z relevantných metabolitov bol stanovený desetylatrazín (ZO Šaľa, ZO Nitra) a desetyldesisopropylatrazín (ZO Šaľa, ZO Nitra). Ďalej bola zistená prítomnosť troch nerelevantných metabolitov: desfenylchloridazónu (ZO Levice, ZO Nové Zámky, ZO Štúrovo, ZO Topoľčany), metyldesfenylchloridazónu (ZO Šaľa, ZO Nitra) a metolachlóru ESA (ZO Šahy, ZO Komárno).

V Žilinskom kraji bol stanovený len jeden relevantný metabolit desetyldesisopropylatrazín (ZO Bytča).

V Banskobystrickom kraji boli zistené dve účinné látky azoxystrobín a prochloraz (ZO Pohronie – Banská Bystrica). Zvyšné PL boli zaznamenané v ZO Tornaľa, konkrétne: 1 účinná látka (metolachlór), 3 relevantné metabolity (acetochlór OA, acetochlór ESA a ASDM) a 7 nerelevantných metabolitov (alachlór OA, alachlór ESA, desfenylchloridazón, metyldesfenylchloridazón, metazachlór OA, metolachlór ESA a metolachlór OA).

V Prešovskom kraji bolo až 29 % vzoriek odobratých v ZO Prešov. PL boli zistené iba v ZO Bardejov – Bardejovské Kúpele (nerelevantné metabolity metyldesfenylchloridazón a desfenylchloridazón) a v ZO Vranov nad Topľou (relevantný metabolit acetochlór ESA a nerelevantný metabolit metolachlór ESA).

V Košickom kraji bolo až 40 % vzoriek odobratých v ZO Košice, v ktorej boli stanovené nerelevantný metabolit desfenylchloridazón i relevantné metabolity desetylatrazín a 2-hydroxy-desetyl-terbutylazín. V ZO Pobodrožie – Boťany bola zaznamenaná účinná látka bentazón. Zvyšné PL boli zistené v ZO Michalovce, konkrétne: 4 relevantné metabolity (dimetachlór ESA, acetochlór ESA, desetylatrazín, desetyldesisopropylatrazín) a 5 nerelevantných metabolitov (alachlór ESA, desfenylchloridazón, metazachlór ESA, metolachlór ESA, metolachlór OA).

Celkovo bola na základe monitoringu VZO v rámci projektu v roku 2023 limitná hodnota pre PL – účinné látky a ich relevantné metabolity (0,01 µg/l) prekročená len v dvoch prípadoch. V prvom prípade išlo o relevantný metabolit acetochlór ESA v ZO Kúty (odber zo dňa 13. 7. 2023, zistená hodnota 0,107 µg/l); opakovaný odber zo dňa 27. 9. 2023 potvrdil prekročenie limitnej hodnoty (zistená hodnota 0,110 µg/l). V nadväznosti na zistené výsledky pracovníci RÚVZ so sídlom v Senici oslovili dodávateľa pitnej vody – Bratislavskú vodárenskú spoločnosť a. s. a začali situáciu aktívne riešiť. V druhom prípade išlo o relevantný metabolit desetylatrazín v ZO Michalovce (odber zo dňa 27. 11. 2023, zistená hodnota 0,227 µg/l); opakovaný odber zo dňa 2.1.2024 potvrdil prekročenie limitnej hodnoty (zistená hodnota 0,307 µg/l). Zákaz používania pitnej vody na pitie, varenie a prípravu potravín z vodného zdroja, ktorá nie je bezpečná podľa § 12 ods. 2 písm. i) zákona č. 355/2007 Z. z. [4], bol vydaný pre vrt HL-1 Ložín (ZO Michalovce) dňa 11. januára 2024.

DISKUSIA

Pitnou vodou z VZO je zásobovaných cca 74 % obyvateľov Slovenska (po zohľadnení počtu obyvateľov Slovenska podľa výsledkov „Sčítania obyvateľov, domov a bytov" z roku 2021). Najvyššia zásobovanosť pitnou vodou je v Bratislavskom kraji (cca 98,9 %), najnižšia je v Košickom kraji (cca 90 %).

V rámci národného monitoringu bolo odobratých celkovo 211 vzoriek, z toho v 85 vzorkách (cca. 40 %) sa vyskytol minimálne jeden parameter nad limitom detekcie. Vyšetrených bolo spolu 16 088 ukazovateľov, pričom PL nad limit detekcie boli stanovené v 171 prípadoch (0,105 % zo všetkých stanovených ukazovateľov). Najväčší počet PL bol stanovený v Trnavskom kraji (33,33 %), najnižší v Žilinskom kraji (0,58 %). Išlo o ojedinelé a navzájom nesúvisiace výskyty v množstvách, ktoré len vo výnimočných prípadoch prekročili limitné hodnoty pre koncentrácie PL v pitnej vode.

Len 0,012 % všetkých zistených výsledkov sa nachádzalo nad limitnou hodnotou 0,1 µg/l ustanovenou Vyhláškou MZ SR č. 91/2023 Z. z. (2 hodnoty z celkového počtu 16 088 stanovení); išlo o relevantné metabolity acetochlór ESA a desetylatrazín. Pre porovnanie, dvojetapový monitoring PL v pitnej vode v Českej republike realizovaný v roku 2017 preukázal nad limitnou hodnotou 0,1 µg/l ustanovenou vyhláškou č. 252/2004 Sb. na pitnú vodu [12] v prvej etape takmer 5 % všetkých nameraných výsledkov (183 hodnôt z celkového počtu 3 717 stanovení) a v druhej etape 3,3 % všetkých nameraných výsledkov (129 hodnôt z celkového počtu 3 885 stanovení). Limit 0,1 µg/l pre relevantné metabolity v prvej aj druhej etape monitoringu prekračovali rovnako ako na SR len relevantné metabolity acetochlór ESA a desetylatrazín (celkovo 21 hodnôt) [13].

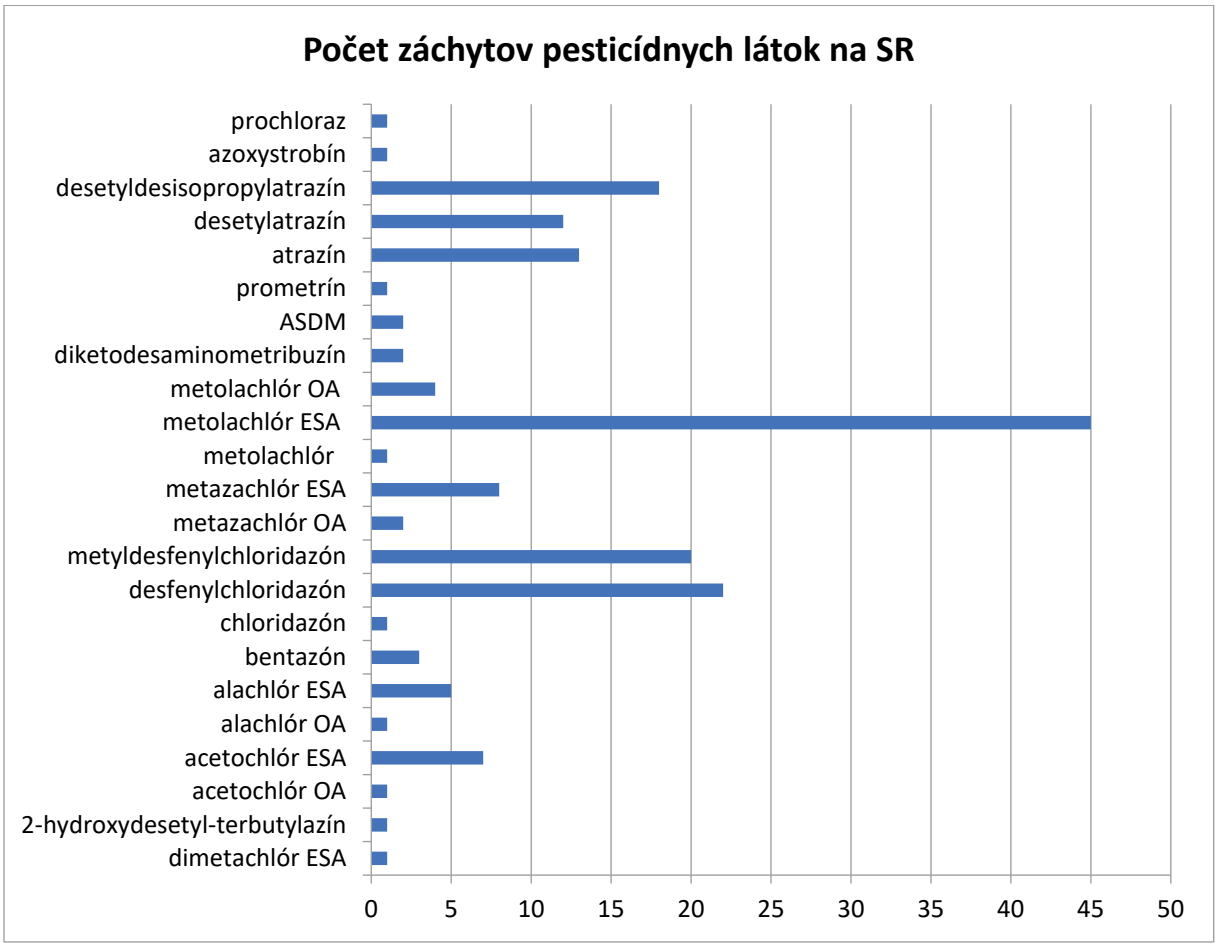
Na základe výsledkov získaných v rámci monitoringu PL (a tiež v roku 2023 na SR všeobecne) nebola ani v jednom prípade vydaná výnimka na použitie vody, ktorá nespĺňa limity ukazovateľov kvality pitnej vody. Pre porovnanie, v ČR v roku 2022 boli PL príčinou výnimky schválenej orgánom ochrany verejného zdravia až v 74 oblastiach (69,2 % z celkového počtu výnimiek), u 3 z týchto oblastí bola udelená výnimka ešte aj na iný ukazovateľ s najvyššou medznou hodnotou [14]. Výsledky stanovenia PL potvrdzujú, že vo vzorkách vôd sa častejšie vyskytujú metabolity (až v 87,8 % záchytov) ako účinné látky pesticídov. Počet záchytov účinných látok a metabolitov v jednotlivých krajoch Slovenska je uvedený v Tab. 2. Z metabolitov boli častejšie zisťované nerelevantné metabolity (71,3 %), z ktorých bola najčastejšie zaznamenaná prítomnosť metolachlóru ESA (42 % prípadov). Z relevantných metabolitov bola najčastejšie zaznamenaná prítomnosť desetyldesisopropylatrazínu (42,9 % prípadov). Častejší výskyt metabolitov potvrdzujú aj výsledky monitoringu pitnej vody

vo Francúzku z roku 2022, ktorý preukázal v distribučných jednotkách dominantný výskyt 5 metabolitov: metolachlór ESA, desfenylchloridazón, metyldesfenylchloridazón, atrazíndesetyldesisopropyl a atrazíndesetyl [15].

Tab. 2. *Počet záchytov účinných látok a metabolitov v jednotlivých krajoch Slovenska.*

Kraj	Účinné látky	Metabolity			
		relevantné	nerelevantné	bez určenej relevancie	celkovo
BA	2	4	29	0	33
TT	10	14	31	2	47
TN	0	2	11	0	13
NR	5	10	17	0	27
ZA	0	1	0	0	1
BB	3	3	7	0	10
PO	0	1	3	0	4
KE	1	7	8	0	15
SR	**21**	**42**	**106**	**2**	**150**

Hoci na Slovensku bolo k 1. januáru 2024 povolených 213 účinných látok v 1 223 prípravkoch na ochranu rastlín, monitoring odhalil prítomnosť len 23 rôznych PL (7 účinných látok, 1 metabolit bez priradenej relevancie, 7 relevantných 8 nerelevantných metabolitov). Zoznam PL a početnosť ich záchytov vo VZO na Slovensku znázorňuje Obr. 2.



Obr. 2. *Počet záchytov pesticídnych látok v VZO na Slovensku.*

Výsledky laboratórnych analýz vzoriek pitných vôd v Bratislavskom a Trenčianskom kraji naviac poukázali na trendy vo výskyte PL. Konkrétne, v Bratislavskom kraji majoritný výskyt nerelevantného metabolitu metolachlór ESA (v 80 % záchytov) a v Trenčianskom kraji majoritný výskyt nerelevantného metabolitu desfenylchloridazón (v 69,2 % záchytov). V ostatných krajoch nebol zistený žiadny obdobný trend.

ZÁVERY

Pesticídy patria stále k aktuálnym témam v oblasti pitnej vody. V súčasnosti sa v poľnohospodárstve používajú „moderné pesticídy" (CUPs), ktoré sú šetrnejšie voči životnému prostrediu. Napriek tomu sú vo vodných zdrojoch naďalej zisťované aj pesticídy (či ich metabolity), ktorých použitie bolo zakázané pred desiatimi a viac rokmi (alachlór 2008, atrazín 2004), čo poukazuje na dlhú dobu perzistencie týchto látok a miestne staré záťaže.

Aktuálny prístup orgánov verejného zdravotníctva je založený na dôslednom uplatňovaní najvyššej medznej hodnoty (0,10 µg/l) pri pesticídoch a relevantných metabolitoch, ktorých prítomnosť v pitnej vode je nutné vyšetrovať v súlade so Zoznamom a Odporúčaným postupom a tiež na osobitnom prístupe k nerelevantným metabolitom.

V roku 2024 orgány verejného zdravotníctva plánujú pokračovať v národnom monitoringu prítomnosti pesticídov v pitnej vode. Cieľom bude zmonitorovať kvalitu pitnej vody vo vybraných verejných vodovodoch so štatútom malej zásobovanej oblasti zásobujúcich 500 až 5 000 obyvateľov.

ZOZNAM LITERATÚRY

1. Programy a projekty úradov verejného zdravotníctva slovenskej republiky na rok 2023 a ďalšie roky. Available from: https://www.uvzsr.sk/documents/d/uvz/pap_uvz_2023.
2. Smernica Rady (EÚ) 2020/2184 z 16. decembra 2020 o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu.
3. Smernica Rady (EÚ) 98/83/ES z 3. novembra 1998 o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu.
4. Zákon č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov. Zbierka zákonov Slovenskej republiky.
5. Vyhláška Ministerstva zdravotníctva č. 91/2023 Z. z., ktorou sa ustanovujú ukazovatele a limitné hodnoty kvality pitnej vody a kvality teplej vody, postup pri monitorovaní pitnej vody, manažment rizík systému zásobovania pitnou vodou a manažment rizík domových rozvodných systémov. Zbierka zákonov Slovenskej republiky.
6. Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 247/2017 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o kvalite pitnej vody, kontrole kvality pitnej vody, programe monitorovania a manažmente rizík pri zásobovaní pitnou vodou v znení vyhlášky Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 97/2018 Z. z. Zbierka zákonov Slovenskej republiky.
7. Odporúčaný postup pri zisťovaní a hodnotení pesticídov a ich metabolitov v pitnej vode a v jej zdrojoch. Available from: https://www.uvzsr.sk/documents/41637/123252/Pesticidy_Pokyn.pdf/20e2c569-f760-8ff8-6702-82669b925378?t=1659284813481.
8. Zoznam pesticídnych látok pre monitorovanie pitnej vody a jej zdrojov. Available from: https://www.uvzsr.sk/documents/41637/123252/Pesticidy_Zoznam.pdf/a0973c8f-9b70-0dce-ad65-fd0b68d52980?t=1659284813091.
9. Rozhodnutie pre vybrané nerelevantné metabolity pesticídov. Available from: https://www.uvzsr.sk/documents/41637/123252/Rozhodnutie_pre_vybrane_nerelevantne_metabolity_pesticidov.pdf/ade297ba-664a-7e9b-50ed-9b47e44d4f61?t=1659284810905.
10. Správa Slovenskej republiky o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu v rokoch 2017 – 2019. Available from: https://www.uvzsr.sk/web/uvz/sprava-sr-o-pitnej-vode-podla-poziadaviek-europskej-komisie.
11. Lukačovičová, Zuzana et. al. Multireziduálna metóda stanovenia pesticídov v detskej strave a pitných vodách metódou HPLC-MS/MS. Pitná voda 2023. Zborník prednášok, z XIX. konferencie s medzinárodnou účasťou, s. 264-268. ISBN 978-80-570-4854-1.
12. Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Available from: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252.
13. MOULISOVÁ, Alena et al. Pesticidy a jejich metabolity v pitné vodě: jaký je současný stav v České republice? Vodní hospodářství 2018, roč. 68, č. 7, s. 4-10. ISSN 1211-0760.
14. Zpráva o kvalitě pitné vody v ČR za rok 2022. SZÚ Praha, 2023. Available from: https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/07/voda_2022.pdf.
15. Bilan de la qualité de l'eau au robinet du consommateur vis-à-vis des pesticides en France en 2022. Available from: https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/2022_qualite_edch_pesticides.pdf.

ODLEHČOVANÉ ODPADNÍ VODY – PROBLÉM, KTERÝ SI ZASLOUŽÍ BÝT VIDĚN

RNDr. J. DURAS, Ph.D., Ing. M. MARCEL

Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5
e-mail: jindrich.duras@pvl.cz

1. ÚVOD

Autoři se věnují problematice odlehčovaných odpadních vod z jednotné stokové sítě a znečištění, které je touto cestou vnášeno do povrchových vod, poměrně soustavně už 8 let. Svá zjištění jsme průběžně sdíleli zejména s naší odbornou veřejností jak v sérii tištěných výstupů [1–7] tak v podobě alespoň prezentací na seminářích a konferencích, kde tištěné sborníky nebyly vydány. Přistupujeme k tématu přímým monitoringem průběhu koncentračních a průtokových vln za srážkoodtokových událostí, kdy se snažíme zachytit vliv města jako celku. Porovnáváme tedy stav nad a pod daným městem.

Uvedenou metodou jsme zdokumentovali několik srážkoodtokových událostí ve městech Stříbro, Kladruby u Stříbra, Planá u Mariánských Lázní a částečně i M. Lázně [1,2,3,4,6], vše v povodí vodní nádrže Hracholusky na řece Mži, kde se důležitým stalo rekreační využití a jeho interference se sinicovými vodními květy. Získali jsme několik sérií dat (zatím nepublikována) z Prostřední stoky, kam ústí odlehčení z města Třeboň. Prostřední stoka teče následně do hypertrofního rybníka Rožmberk, kde přispívá významně k živinové bilanci. Od začátku roku 2023 se věnujeme vstupu znečišťujících látek s odlehčovanými odpadními vodami z města Klatovy (22 tis. obyvatel, nemocnice, průmysl) do vodárenského toku Úhlava, což je jediný a nenahraditelný zdroj vody pro plzeňskou aglomeraci (cca 220 tis. lidí) [5,7].

Pokus legislativně zavést systematické monitorování průtoku a jakosti odpadní vody alespoň na odtoku z poslední odlehčovací komory před ČOV se před několika lety (2019) nezdařil (Vodní zákon § 8, odst. 3, písm. g) a opatření zaváděná vyhláškou č. 244/2021 Sb. se vztahují jen na nově budované odlehčovací komory a nikoli na ty, co to potřebují nejvíc. Aktuálně má tedy šanci napravit poměry v našich znečišťovaných povrchových vodách až direktiva zvenčí, a tou je velmi aktuální: Urban Waste Water Treatment Directive (UWWTD). Zde byl nakonec zakotven požadavek, aby s odlehčovanou odpadní vodou odtekl do povrchových vod podíl maximálně 2 % z celkového ročního znečištění odváděného stokovou sítí za bezdeštného období, a to zejména v parametrech BSK_5, $CHSK_{Cr}$/TOC, NL, P_{celk} a N_{celk}.

2. STRUČNÝ PŘEHLED HLAVNÍCH VÝSLEDKŮ

Jedná se o souhrn našich nejdůležitějších poznatků, které považujeme za užitečné pro diskuse, zda vůbec či jak moc vlastně odlehčení řešit.

(1) Odlehčovaná odpadní voda začíná přepadat do recipientu už při srážce 1–2 mm za hodinu, což se týká i odlehčovacích komor (OK) se „správným" odlehčovacím poměrem 1:4. Tento poměr je tedy sice jakousi normovanou hodnotou (1:4 až 1:8), ale není žádnou zárukou dostatečné ochrany recipientu. V případě OK před ČOV Klatovy jsme zaznamenali přepadání odpadní vody už při srážce 0,7 mm. Z toho plyne, že aktuální schopnost většiny měst a jejich stokových sítí vypořádat se i s mírnými srážkami je v zásadě nulová. Počet odlehčovacích epizod byl v případě města Klatovy v roce 2023 80–90, což jasně dokládá závažnost znečišťování.

(2) Výška koncentrační vlny v recipientu záleží samozřejmě na tom, jak je velké město a jak vodný je daný recipient. Zásadním ohrožením pro dosažení dobrého ekologického stavu a potenciálu je ale v suchých létech s nízkými přirozenými průtoky vody malé město i pro středně velké toky. Typicky anoxie.

(3) Z propočtů látkových bilancí, jakkoli se jedná pouze o rámcové odhady, protože jsme neměli k dispozici dostatek dat v průběhu roku, se zdá, že v parametru P_{celk} jsou emise velmi vážné z pohledu eutrofizace. Pro ČOV s nízkou účinností odstraňování P se jedná za rok zhruba o polovinu množství v porovnání s emisemi P na odtoku z ČOV, pro ČOV s efektivním odstraňováním P jsou emise za deště stejné až dvojnásobné. Z toho vyplývá, že aktuálně bilancovaný vnos P, ale samozřejmě i dalšího znečištění z bodových zdrojů, zdaleka neodpovídá realitě a zatížení našich povrchových vod je ve skutečnosti podstatně větší. To je důležité pro úvahy a navrhování opatření cílených na snížení eutrofizace v našich stojatých vodách a zároveň i pro plnění našich závazků vzhledem k ochraně moří a našim sousedům (např. Mezinárodní komise pro ochranu Labe, tedy i Severního moře). Je možné říci, že pro znatelný pokrok na poli eutrofizace a jejích projevů ve stojatých vodách je nezbytné razantně pokročit i v hospodaření se srážkovými vodami. Jako prioritní můžeme vidět vodní nádrže s vodárenským a rekreačním využitím.

(4) Z podrobnějších sledování ve městě Klatovy jsme za deště doložili také (i) masivní emise lehce rozložitelných organických látek (BSK_5, $CHSK_{Cr}$, TOC) s jasně čitelným rizikem pro kyslíkové poměry v Úhlavě, (ii) obrovské vstupy nerozpuštěných látek (NL), včetně kusových exkrementů, toaletního papíru a vlhčených ubrousků, které představují navíc i zdroj mikroplastů a (iii) vysoké dávky celkového dusíku (N_{celk}) převážně vázaného v organických látkách.

(5) Samostatně je důležité uvést obrovské dávky mikrobiálních agens, které jsme sledovali pomocí stanovení *Eschericjia coli*. Například v jedné 125 minut trvající epizodě (21. 6. 2023, srážka 10,6 mm) se odlehčením do řeky Úhlavy dostalo takové množství střevních baktérií, které v této řece běžně proteče za 115 dní. Riziko pro jakékoli rekreační využití Úhlavy je zřejmé a o využití vodárenském marné mluvit.

(6) Neméně závažná je i otázka organických mikrokontaminant, která se týká především obrovských vnosů těch látek, které by jinak byly na ČOV odstraněny. Za zmínku jistě stojí například bisfenoly, metformin, ibuprofen, paracetamol, kofein, umělá sladidla, vše ve vlnách koncentrací o jeden až několik řádů převyšujících koncentrace, které jsme si zvykli považovat za jaksi „normální".

(7) Pro ČOV Klatovy jsme se pokusili o hrubý odhad celkových emisí znečišťujících látek s odlehčovanými odpadními vodami a porovnali jsme je s emisemi deklarovanými na Vodohospodářském informačním portálu ISVS-VODA (Evidence odběrů povrchových vod v rámci zjišťování a hodnocení stavu povrchových a podzemních vod dle Vodního zákona). Odlehčením se za rok 2023 do povrchových vod dostalo zhruba 6x víc BSK_5, 2x víc $CHSK_{Cr}$, 20x víc NL, ale jen zhruba ½ N_{celk} a ¾ P_{celk} v porovnání s emisemi z ČOV.

(8) Pro ČOV Klatovy jsme se pokusili s využitím údajů ze stejného zdroje (ISVS VODA) a z našeho hrubého odhadu ročních emisí z odlehčení pohlédnout alespoň orientačně na cíl daný UWWTD, tedy na ona odlehčovaná 2 % z ročního nátoku na ČOV. Zdá se, že je třeba snížit emise odlehčovaného znečištění za deště v parametrech BSK_5 a P_{celk} na $^1/_3$, $CHSK_{Cr}$ a N_{celk} na ¼ a NL na 15–20 %.

Obr. 1–3. *Ilustrační obrázky (Klatovy, 2023).*

Nahoře: Výusť OK s odlehčovacím poměrem 1:4 za deště 2,5 mm/hod.

Uprostřed: Všestranné masivní znečištění pravidelně vstupuje do vodárenského toku Úhlava.

Dole: Vhodný typ česlí by mohl zlepšit situaci alespoň pohledově a snížil by se i vstup plastů do vod.

Obr. 4. Mikrobiologické riziko je značné nejen pro vodárenské, ale i pro rekreační využití povrchových vod.

3. ZÁVĚR

Znečištění vstupující do povrchových vod za srážkoodtokových událostí je velmi závažné. Bez jeho razantního snížení nepohneme významně ani s eutrofizací, ani s otázkou (mikro či nano) plastů, nezlepšíme ekologický stav či potenciál tekoucích ani stojatých vod, a navíc si udržujeme značné riziko problémů v důsledku mikrobiální kontaminace. Průběžně dochází k nezodpovědné kontaminaci vodárenských toků i nádrží, jakkoli opakovaně deklarujeme jejich cennost, jedinečnost a nenahraditelnost.

Cesta k nápravě je velmi dobře známá: výstavba retenčních zdrží jako první pomoc a systematické rozvíjení prvků modrozelené infrastruktury. Je to ale cesta poměrně náročná na schopnost realizace komplexních projektů a není ani laciná. Zatím jsme neměli odvahu se po této cestě doopravdy vydat. Osobně vnímám trochu jako ostudu, že nás k aktivitě musí pohnout až evropská direktiva, jakkoli by starost o naše vlastní zdroje vody měla ležet na srdci v první řadě nám.

Snad se nám podaří příležitost ke zlepšení kvality povrchových vod efektivně využít a pohneme s problémy, se kterými léta nebylo možné pohnout.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři děkují všem, kteří se otázce snížení vstupu znečištění do povrchových vod z jednotných stokových sítí při srážkoodtokových událostech věnují, i všem, kteří se tomuto tématu věnovat teprve budou. Je to sice náročné, ale podle našeho názoru i nesmírně důležité.

SEZNAM LITERATURY

1. Marcel Michal, Duras Jindřich, 2018. Epizodický vstup živin za deště – téma k řešení. Vodárenská biologie 2018: 6. – 7. února 2018, Praha, Říhová Ambrožová J., Pecinová A. (Edit.), str. 123–127.
2. Duras Jindřich, Marcel Michal, 2019. Vstupy živin odlehčeními odpadních vod – měření v povodí VN Hracholusky. Vodárenská biologie 2019, 6. – 7. února 2019, Praha, Říhová Ambrožová J., Pecinová A. (Edit.), str.134–143, ISBN: 978-80-88238-12-6.
3. DURAS Jindřich, MARCEL Michal, 2021. Monitoring odlehčovaných odpadních vod – zkušenosti a výsledky. Sborník příspěvků 14. bienální konference CZWA Voda 2021, str. 61–69.
4. Duras Jindřich, Marcel Michal, 2021. Water retention in cities – great potential benefit for ecological status of streams during dry years. Magdeburský seminář o ochraně vod 2021, 7. – 8. října 2021, IKSE/MKOL, 79–82.
5. DURAS Jindřich, MARCEL Michal, KUBÍK Michal, KOŽELUH Milan, KOPP Jan, 2023. Odlehčované odpadní vody – ošklivá stránka hezkých měst. Sborník příspěvků 15. bienální konference CZWA Voda 2023, str. 66–73.
6. DURAS Jindřich, MARCEL Michal, 2023. Když prší, nikdo se nedívá – a odlehčovací komory pracují… Sborník konference Vodní toky 2023, str. 30–32.
7. MARCEL Michal, DURAS Jindřich, KUBÍK Michal, KOŽELUH Milan, 2024. Odlehčované odpadní vody – zdroj znečištění všeho druhu. Vodárenská biologie 2024, 8. – 9. února 2024, Praha, Česká republika, Říhová Ambrožová J., Petráková Kánská K. (Edit.), str. 138–145, ISBN: 978-80-88238-32-4.

DEŠŤOVÁ VODA JAKO ZDROJ PITNÉ VODY – PRVNÍ REALIZACE V ČESKÉ REPUBLICE

Ing. Lucie Báborská a kol.

ASIO TECH, spol. s r.o., Kšírova 552/45, 619 00 Brno
e-mail: baborska@asio.cz

1. ÚVOD

Logistický areál Sázava Logistics Park na dálnici D1 u Ostředku je provozován mezinárodním developerem UDI Group. Výstavba areálu, který nabízí 50 tisíc m^2 ploch, si vyžádala investici jedné miliardy korun. Ve čtyřech provozech zde našlo práci asi 300 zaměstnanců. Areál leží na 34. kilometru hlavního domácího dopravního tahu – dálnice D1.

Investor se mimo jiné zaměřil na zajištění vysokého enviromentálního standardu, výstavbu zelených střech a hospodaření s vodou. Celý areál prochází environmentální certifikací BREEAM a pracuje i s celou řadou dalších šetrných opatření, jako je nízká energetická náročnost, kterou zajišťuje kvalitní izolace budov. Moderní vjezdy pro kamiony omezují tepelné ztráty v zimě a světlé a částečně zelené střechy zase minimalizují vznik tepelného ostrova v létě. Myslelo se i na biodiverzitu – zelené plochy jsou nově upraveny a vysazena byla stovka nových stromů.

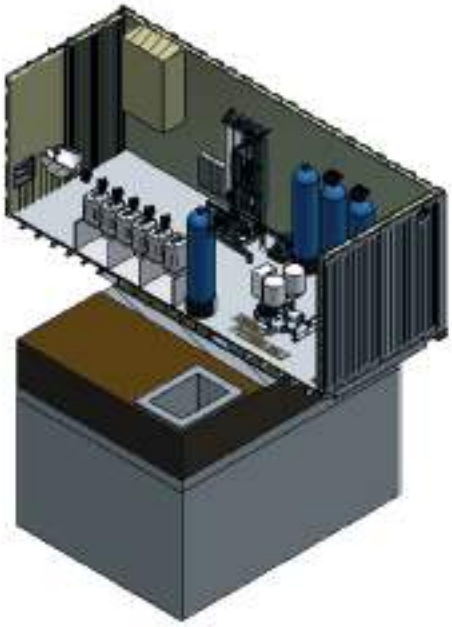
Hlavní otázkou v logistickém parku však bylo hospodaření s vodou. Kvůli nedostačující vydatnosti vrtů pro zásobování tohoto obrovského areálu pitnou vodou se tak hledaly jiné zdroje vody. Jako vhodná alternativa byla zvolena úprava dešťové vody – první a jediná úpravna dešťové vody v České republice. Pitnou vodou z dešťovky jsou zásobovány tři čtvrtiny celého logistického areálu. Ročně je tak možno vyrobit až 8 700 m^3 pitné vody. Zbytek areálu je zásobován vodou z vrtů přímo na pozemku. Z hlediska hospodaření s vodou je areál v podstatě ostrovním řešením.

Obr. 1. *Náhled areálu logistického centra u Ostředku*

2. MATERIÁL A METODY

Kontejnerová úpravna dešťové vody je navržena na základě nejnovějších poznatků v oboru úpravárenství vod, s přihlédnutím k používaným a ověřeným technologiím a způsobům úpravy vod.

Navržená technologie pracuje jako multibariérová s důrazem na kvalitu výstupního produktu a jeho mikrobiální nezávadnost. Jedná se o komplexní technologii úpravny vody, umístněnou v zatepleném 20′ kontejneru a uloženou v blízkosti akumulace dešťové vody. Výsledným produktem je voda pitná splňující vyhlášku 252/2004 Sb.
Technologie úpravy dešťové vody a akumulace upravené pitné vody (vodojem) jsou umístěny ve dvou objektech. Samotná technologie je umístěna ve skladovém zatepleném kontejneru velikosti 20′ a vodojem je tvořen PREFA akumulační nádrží vyrobenou z vodostavebního betonu o vnitřních rozměrech L x Š x H = 3 800 x 2 800 x 1 930 mm a užitném objemu 17,34 m^3.



Obr. 2. Úpravna vody a vodojem – 3D model

Dešťová voda je shromažďována v akumulační nádrži. Aby nedošlo k případnému znečištění nádrže ze střech, jsou přívody vody osazeny speciálními filtry pro záchyt nejhrubších nečistot. Z akumulační nádrže je dešťová voda přečerpávána do úpravny v kontejneru.

Obr. 3. Úpravna vody a akumulace dešťové vody

V úpravně dešťová voda prochází sérií mechanických filtrací, ultrafiltrací a chemických úprav, aby se odstranily nečistoty a dosáhlo se požadované kvality pitné vody. Nejprve je voda vedena podávacím čerpadlem na diskový filtr s porozitou 130 µm. Následně prochází přes zeolitový filtr a filtr s aktivním uhlím, za kterým je do proudu vody dávkován koagulant a roztok

hydroxidu sodného pro případnou úpravu pH. Za vstřikovacími ventily je instalována reakčně-akumulační nádrž (RAN) pro dokonalé promíchání chemikálií. Na výtlačném potrubí z RAN je osazen svíčkový filtr s porozitou 80 µm. Voda je pak dále tlakově vedena na membránovou ultrafiltrační jednotku. Ultrafiltrační jednotka (UF) je provozována v plně automatickém režimu. Do permeátu (vyčištěné vody) z UF je následně dávkován roztok chlornanu sodného pro post-dezinfekci. Dále je možnost vyčištěnou vodu vést na filtr s náplní polovypáleného dolomitu pro zvýšení mineralizace nebo ho částečně bypassovat.

Po všech těchto krocích je pitná voda akumulována ve vodojemu – v akumulační nádrži upravené vody. V boční větvi vodojemu je instalováno recirkulační čerpadlo s UV lampou pro kontinuální dávkování UV záření do recirkulovaného proudu vody. Z akumulační nádrže upravené vody je voda přes systémovou ATS čerpána do spotřebiště. Odpadní vody z praní filtrů a odpadní vody z ultrafiltrace jsou zaústěny do areálové kanalizace.
Během procesu je vše monitorováno a řízeno automatizovaným systémem, s možností vzdáleného dohledu.

Celá technologická linka úpravny vody je řízena z elektrorozvaděče s řídícím systémem umístěným v kontejneru úpravny vody.

ÚV byla uvedena do provozu v září 2022. Průtok přes úpravnu je 1,5 m^3/h.

Obr. 4. *Úpravna dešťové vody – pohled na technologii v kontejneru*

Stěžejní technologií úpravny dešťové vody je membránová technologie – ultrafiltrace, kde kapacita ultrafiltrační jednotky a vlastně celé úpravny vody je dána počtem membránových modulů.

Jednotka pracuje v automatickém režimu s jednotlivými provozní módy pracující v pravidelných intervalech za sebou:
- Filtrace
- Backwash
- Forward Flush
- CEB

Během filtrace, která je zapojená v režimu dead-end, je udržován konstantní nastavený průtok. Veličina, která reflektuje zanášení membrán, je zvýšení transmembránového tlaku (TMP). Případně pak snížení průtoku permeátu/filtrátu, což se projevuje ve snížení permeability. Maximální přípustný je TMP 1,5 bar. V současnosti pracuje ultrafiltrační jednotka při TMP 0,4–0,5 bar.

Filtrační průtok neboli flux se pohybuje od 50 do 180 LMH a odvíjí se od kvality a teploty vstupní vody. Nastavení UF: FLUX 62 LMH, doba filtrace 40 min., průtok 1,5 m^3/h.

Pro backwash (zpětný proplach) je využito „prací" čerpadlo, kdy flux se pohybuje okolo 230 LMH. Pro zpětný proplach se využívá pitná voda z vodojemu. Doba backwash je 30 s.
Forwash Flush se používá pro odstranění částic, které se zachytí na povrchu membrány a v systému. Principem je vysoká hydraulická rychlost vody, která odstraní částečky z membrány. Pro Forward Flush je využívána vstupní dešťová voda, která je předčištěná na filtrech: diskovém, zeolitovém a filtru s aktivním uhlím. Čas tohoto procesu je cca 20 sekund.

Chemické čištění membrán (CEB) se provádí jako zpětný proplach s přídavkem chemie: kyseliny, zásady, případně biocidu. Potřebný flux pro CEB je 120 LMH.

Jednotka je vybavena ultrafiltračním modulem, který obsahuje hydrofilní membrány typu multikanálových dutých vláken s 0,02 um póry a průměrem vlákna 0,9 mm z PESM, pro separaci nerozpuštěných a koloidních látek. Pouze rozpuštěné látky (o velikosti molekul menších, než je pórovitost membrány) a voda prochází skrze membránu, ostatní látky jsou zachycovány na jejím povrchu. Moduly tubulární ultrafiltrace, které jsou zde použity, mají unikátní Multibore® technologii, jež kombinuje sedm kapilárních trubiček v jednom vláknu. Díky tomu vynikají větší mechanickou odolností a umožňují zpětný proplach zaručující dlouholetou životnost.

Membránový modul je provozován v konfiguraci „inside-out", kde surová voda je přiváděna dovnitř vláken a filtrovaná voda prochází z vláken do prostoru mezi vlákny.

Tabulka 1: *Základní parametry ultrafiltrační jednotky*

Membrána	
Počet	4
Typ membrány	Dizzer P 4040-6.0
Výrobce	Inge
Velikost pórů	0,02 um
Materiál	PESM
Provoz	Inside to out, Dead end
Průměr tubuláry vnitřní	0,9 mm
Plocha	4 x 6 m^2
Max. TMP	0 až 3 bar
Max. provozní teplota	40 °C
pH odolnost pro čištění	1 až 13 (<40 °C)

3. VÝSLEDKY A DISKUZE

Za předpokladu dostatečného množství dešťové vody je úpravna schopná vyrobit až 24 m^3/den pitné vody. Vzorky upravené pitné vody jsou odebírány 1x měsíčně (provozní vzorky), 4x rok (krácený rozbor), 1x rok (úplný rozbor). V tabulce 2 jsou uvedeny průměrné hodnoty koncentrací jednotlivých parametrů od ledna 2023 do ledna 2024. Všechny hodnoty splňují limity pro pitnou vodu dle vyhlášky 252/2004 Sb.

Tabulka 2: Průměrné koncentrace parametrů úpravny vody

	Maximální denní nátok: 24 m^3/den			
Parametr	**Jednotka**	**Parametry dešťové vody**	**Parametry upravené pitné vody**	**Limit dle vyhl. 252/2004 Sb.**
pH		6,7	7,5	6,5 – 9,5
barva	mg/l	9	3,5	20
zákal	NTU	4	1,15	5
železo	mg/l	0,11	0,035	0,2
mangan	mg/l	<0,05	<0,05	0,05
$CHSK_{Mn}$	mg/l	2,0	1,2	3
Intestinální enterokoky	KTJ/100ml	7	0	0
E. coli	KTJ/100ml	12	0	0
Koliformní bakterie	KTJ/100ml	>100	0	0
Počty kolonií (22 °C)	KTJ/ml	>300	5	200
Počty kolonií (36 °C)	KTJ/ml	>300	6	40

Ekonomická rozvaha – provozní náklady na 1 m^3 pitné vody

V ekonomické rozvaze v tabulce 3 jsou spočítány provozní náklady na 1 m^3 vyrobené pitné vody z dešťovky. Je počítáno s reálnými cenami bez DPH, cena za 1 kWh elektrické energie je 5 Kč. Dále jsou započítány náklady na spotřebované chemikálie a na obsluhu. Investiční náklady nejsou započítány v této ekonomické rozvaze.

Tabulka 3: Provozní náklady na 1 m^3 pitné vody

spotřeba elek. energie na 1 m^3 vyrobené vody	0,55	kWh/m^3
cena za 1 kWh	5	Kč
dávkování chemie	12	Kč/d
cena energie za den	55	Kč/d
obsluha za den	100	Kč/d
provozní náklady celkem	167	Kč/d
provozní náklady na 1 m^3 vyrobené pitné vody	**8-10**	**Kč/m^3**

4. ZÁVĚR

Areál Sázava Logistic park, který zaměstnává přes 300 zaměstnanců a nabízí 50 tisíc m^2 ploch, se potýkal s nedostatkem pitné vody. Zdrojem surové vody jsou dva vrty, které však svou vydatností a maximálním povoleným odběrem jsou nedostačujícím zdrojem. Proto byl hledán alternativní zdroj surové vody. Vhodným zdrojem byla shledána dešťová voda, která se na úpravně vody upravuje na kvalitu vody pitné dle vyhlášky 252/2004 Sb. – první a jediná úpravna dešťové vody v České republice.
Úpravna dešťové vody umí vyrobit až 8700 m^3/rok a zásobuje ¾ celého logistického parku. Přičemž náklady na výrobu pitné vody z vody dešťové jsou 10 Kč/m^3. Tato cena zahrnuje veškeré provozní náklady potřebné k úpravě.
Systém kombinuje různé metody úpravy vody, včetně ultrafiltrace, chemické úpravy a UV-dezinfekce tak, aby byla zajištěna vysoká kvalita pitné vody. Tím se úpravna dešťové vody stává zcela bezpečnou bez rizika ohrožení na zdraví zaměstnanců logistického areálu.
Vzhledem k narůstajícím problémům s vodními zdroji je schopnost transformovat dešťovou vodu na vodu pitnou mimořádně cenná. Tato inovace může sloužit jako příklad pro další regiony a obce, které hledají udržitelné řešení svých vodních potřeb.

SEZNAM LITERATURY

1. Vyhláška 252/2004 Sb. hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

ÚV PODOLÍ – VARIANTY DOPLNĚNÍ TECHNOLOGIE

Ing. Zuzana Sýkorová, Ph.D. [1]; Ing. Petr Sýkora, Ph.D. [1]; Ing. Robert Kvaček [1]; Ing. Kateřina Kohoutová [2]; Ing. Jindřich Šesták [2]

[1] Pražské vodovody a kanalizace, a.s.
[2] Pražská vodohospodářská společnost a.s.

ÚVOD

Úpravna vody (ÚV) Podolí byla postavena v letech 1925–1929. Mezi lety 2002 a 2021 fungovala pouze jako dlouhodobě odstavený záložní zdroj a od roku 2021 je opět v trvalém provozu. Od spuštění vodárny do trvalého provozu označujeme její funkci termínem aktivní záložní zdroj. ÚV Podolí totiž standardně vyrábí 400 l/s pitné vody, přestože její maximální výrobní kapacita je čtyřikrát vyšší. Podolská vodárna je díky tomu připravena pružně reagovat na plánovanou odstávku vodohospodářské infrastruktury či nečekanou havárii v distribuční síti okamžitým navýšením svého výkonu tak, aby bylo v Praze a okolí dostatek kvalitní pitné vody pro všechny spotřebitele.

Aktivním záložním zdrojem není ÚV Podolí jen dočasně, nebo na zkoušku. Dlouhodobá koncepce provozování pražské vodohospodářské infrastruktury počítá s tím, že vlivem propojení vodárenských soustav dojde k vyšší potřebě pitné vody v Praze a blízkém okolí. Tato skutečnost umocní význam Podolské vodárny jako zdroje umožňujícího dodávku pitné vody o variabilním průtoku dle aktuální poptávky. Aby byla vodárna na tuto nelehkou výzvu plně připravena, potřebuje několik významných zásahů do její technologie. V první řadě rekonstrukci některých celků, které jsou po letech odstávky vodárny, ve špatném stavu. Zadruhé doplnění technologické linky ÚV tak, aby byla schopna vyrábět více pitné vody o vysoké kvalitě. Z tohoto důvodu byla před čtyřmi lety sepsána studie, na kterou navázalo dvouleté poloprovozní testování vybraných technologií, mikrofiltrace (MF), nanofiltrace (NF), pokročilého oxidačního procesu H_2O_2/ultrafialové záření (UV) a filtrace přes granulované aktivní uhlí (GAU), mezi lety 2021 a 2023.

Tento příspěvek shrnuje nejvýznamnější výsledky poloprovozních testů a diskutuje uvažované varianty doplnění technologické linky.

TECHNOLOGICKÁ LINKA ÚPRAVNY VODY

Zdrojem surové vody je pro ÚV Podolí řeka Vltava spadající dle hodnotící škály vyhlášky MZe č. 428/2001 Sb. v platném znění do kategorie > A3 [1]. Tomu je uzpůsobena skladba jednotlivých celků na úpravně vody, která využívá technologii dvoustupňové separace. Do surové vody je dávkován koagulant PIX-313 ($Fe_2(SO_4)_3$), dále je voda vedena do prvního separačního stupně, čiřičů typu Binar-Bělský s nedokonalým vznosem vločkového mraku. Vyčiřená voda odtéká potrubím, ve kterém dochází k dávkování vápenné a chlorové vody, do filtrační haly. V hale následuje písková filtrace na rychlofiltrech s drenážním systémem AQUAFILTER. Upravovaná voda po ní natéká do filtrů s GAU (Chemviron Carbon Filtrasorb TL830). Při výkonu vyšším než 800 l/s je část upravované vody vedena po čiření pouze přes pískovou filtraci. Odtékající voda z filtrační haly je následně hygienicky zabezpečena UV zářením a chlorovou vodou. Upravená voda je z ÚV Podolí čerpána do pěti vodojemů v tlakových pásmech 70 m a 100 m.

USPOŘÁDÁNÍ POLOPROVOZNÍ JEDNOTKY

Poloprovozní jednotka byla na ÚV Podolí umístěna z několika důvodů. Mezi ty hlavní lze zařadit testování účinnosti odstraňování mikropolutantů, zjištění dlouhodobého vlivu kolísání kvality surové vody na provoz technologických celků, či odhalení nevýhod jednotlivých technologií a aplikace opatření pro snížení či eliminaci negativních dopadů. K testování byly vybrány membránové technologie mikrofiltrace a nanofiltrace spolu s kombinací pokročilého oxidačního procesu (AOP) H_2O_2/UV se sorpcí na GAU. Mikrofiltrace byla testována jako druhý separační stupeň, alternativa k pískové filtraci. Ostatní technologie byly zkoušeny pro jejich schopnost odstranit z upravované vody mikropolutanty. Základní uspořádání pilotního provozu uvažovalo dvě paralelně pracující linky:

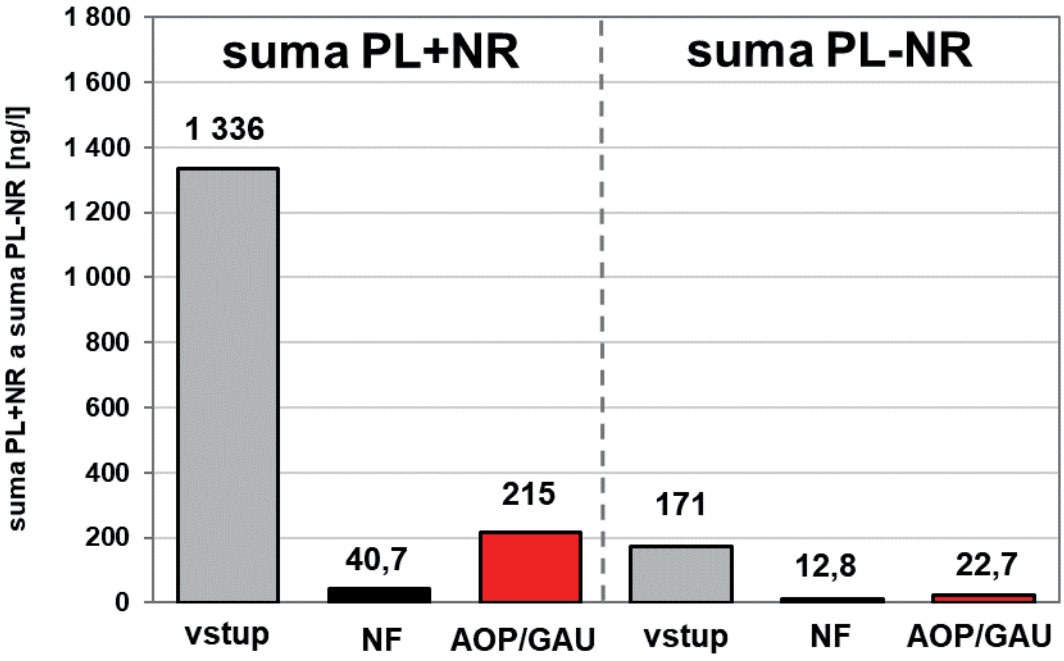
První linka se skládala z MF a NF. Vstupem na keramickou MF (AMAYA M 5; pórovitost 0,1 µm; flux 200 LMH; chemické čištění NaClO a kyselinou citronovou) byla vyčiřená voda po dávkování vápenné a chlorové vody. Filtrát z MF byl následně veden na NF (membrána MICRODYN NF; Molecular Weight Cut-Off 200–400 Da; pórovitost 1 nm; rejekce NaCl 45–55 %; rejekce $MgSO_4$ >97 %). NF se skládala ze 14 membránových modulů, z nichž bylo nejprve osm uspořádáno ve dvou paralelních čtveřicích a dalších šest bylo protékáno sériově. Směs permeátů z jednotlivých stupňů byla následně vedena na poloprovozní hygienické zabezpečení (UV záření a NaClO), kde se smíchala s vodou z druhé poloprovozní linky.

Druhá linka využívala jako vstupní vodu filtrát z pískové filtrace (provozní měřítko). Ten byl veden do akumulační nádrže, ze které natékal na stupeň AOP složený z dávkování H_2O_2 (dávka 5 mg/l) a čtyř sériově řazených UV lamp (dávka 16–19 kJ/m^2). Upravovaná voda byla následně směřována do tlakového filtru s GAU (Filtrasorb TL830, Empty Bed Contact Time: 10 minut) a společného poloprovozního hygienického zabezpečení. V rámci pilotních testů bylo možné vést upravovanou vodu alternativně z pískové filtrace na NF, příp. vodu z MF na AOP/GAU.

ODSTRAŇOVÁNÍ PESTICIDNÍCH LÁTEK

U technologií nás mimo aspekty uvedené v další kapitole zajímala účinnost odstraňování mikropolutantů, z nichž jsou v pitné vodě limitovány platnou legislativou pesticidní látky (PL) a relevantní metabolity pesticidních látek [2]. V období od 12. 12. 2022 do 22. 5. 2023 bylo provedeno 12 sad rozborů na nátoku a odtoku z linek NF a AOP/GAU. Nátokem byla vždy stejná upravovaná voda buď z MF či provozní pískové filtrace. V celém testovacím období byly dodrženy výše uvedené provozní parametry linky AOP/GAU. Monitorovány byly jednotlivé PL a metabolity PL, suma PL včetně nerelevantních metabolitů PL (suma PL+NR) a suma PL bez nerelevantních metabolitů PL (suma PL-NR). Pro výpočet sumárních ukazatelů byly koncentrace látek pod mezí stanovitelnosti nahrazeny nulovou hodnotou.

Nátok na technologický stupeň odstraňující mikropolutanty měl ve sledovaném období průměrnou koncentrace ukazatele suma PL+NR 1 336 ± 234 ng/l. Sledováno bylo 118 ukazatelů. Na odtoku z nanofiltrace bylo stanoveno průměrně pouze 40,7 ± 12,6 ng/l ukazatele, čímž nanofiltrace dosáhla výborné 97,0% účinnosti odstranění parametru suma PL+NR. Vysoké účinnosti odstranění (83,9 %) bylo dosaženo i na lince AOP/GAU, kde průměrná koncentrace ukazatele suma PL+NR dosahovala 215 ± 119 ng/l. Průměrné koncentrace jsou znázorněny na Obr. 1.



Obr. 1: *Průměrné hodnoty ukazatelů suma PL+NR a suma PL-NR ve vstupu a výstupu z technologií NF a AOP/GAU*

Výrazně nižší průměrná vstupní koncentrace byla registrována u ukazatele suma PL-NR. Dosahovala 171 ± 44 ng/l, součástí sumárního ukazatele bylo 107 analytů. Nanofiltrace úspěšně odstranila 92,5 % z původní hodnoty, průměrná koncentrace v profilu byla 12,8 ± 6,3 ng/l. Výrazného odstranění sumy PL bez nerelevantních metabolitů PL dosáhla i linka AOP/GAU (86,7 %). Průměrná koncentrace ukazatele byla v daném profilu 22,7 ± 31,5 ng/l. Průměrné koncentrace jsou znázorněny na Obr. 1.

Ve vstupním proudu bylo alespoň jednou nad mezí stanovitelnosti identifikováno 22 látek. Za NF se ze skupiny PL a relevantních metabolitů PL podařilo proniknout pouze jediné z nich, herbicidu chlorotoluronu. Ve všech případech se jednalo o koncentrace nižší než 20 ng/l. V permeátu z NF byly taktéž ojediněle v malé koncentraci detekovány dva nerelevantní metabolity PL: chloridazon-desphenyl; chloridazon-desphenyl-methyl. Za linkou AOP/GAU bylo detekováno pestřejší portfolio chemických individuí. Z PL a relevantních metabolitů PL se jednalo o občasné nálezy látek flufenacet ESA, DEET, clopyralid a terbuthylazin-2-hydro, vždy v koncentraci nižší než 100 ng/l. Detekována byla v odtoku z linky AOP/GAU i řada nerelevantních metabolitů PL: alachlor ESA; metolachlir ESA; metolachlor OA; metazachlor OA; metazachlor ESA. Koncentrací vyšších než 100 ng/l dosáhl pouze metazachlor ESA s maximální detekovanou koncentrací 218 ng/l. Látky terbuthylazin, pethoxamid, pethoxamid ESA, quinoxyfen, flufenacet, dimethachlor ESA, atrazine-2-hydroxy, acetochlor ESA, 2,6-dichloro-benzamid a AMPA kompletně odstranily obě technologické linky. Při testování byly ve všech případech dodrženy platné hygienické limity dle vyhlášky MZ č. 252/2004 Sb. v platném znění (500 ng/l pro sumu PL-NR a 100 ng/l pro jednotlivé PL a relevantní metabolity PL) [2].

DALŠÍ SLEDOVANÉ CHARAKTERISTIKY POLOPROVOZU

Kromě účinností odstraňování mikropolutantů byly na poloprovozní jednotce hodnoceny dvě různé nanofiltrační membrány a testovaly se dva odlišné nátokové proudy na mikrofiltraci. Dále byly zjišťovány optimální kombinace dávky H_2O_2 a UV záření a doba zdržení upravované vody

na GAU pro dosažení účinného odstraňování mikropolutantů. U nanofiltrace byla testována možnost míchání různých poměrů permeátu z MF s permeátem z NF pro získání upravené vody s nízkým obsahem mikropolutantů, ale dostatečným obsahem vícemocných iontů. NF totiž z upravované vody mimo jiné odstraňuje vápník a hořčík, které by do vody musely být v reálném provozu dodávány. Při poloprovozních testech byla úspěšně odzkoušena remineralizace vody síranem hořečnatým.

VARIANTY DOPLNĚNÍ TECHNOLOGIE

Z předchozího odstavce vyplývá, že každá technologie má své výhody i nevýhody. Výhodou AOP/GAU je při úpravě sladké vody nepochybně to, že negativně nemění iontové složení upravované vody. Oproti NF je ale prostorově náročnější, NF navíc během poloprovozních testů prokázala excelentní míru odstranění mikrobiologických či biologických ukazatelů v permeátu. Z provozního a investičního pohledu obě technologie spojuje jak vysoká energetická náročnost (dosažení potřebné dávky UV záření / tlakové požadavky vstupu na NF), tak pravidelné náklady na obnovu klíčových částí technologií (sorpční náplň GAU / NF membrány). Všechny tyto postřehy byly pečlivě analyzovány a využity při plánování variant doplnění technologie.

Cílem bylo navrhnout možné varianty doplnění technologické linky s maximálním požadovaným výkonem úpravny vody 2 850 l pitné vody za vteřinu. Zachovány měly být v maximálním možném množství stávající již modernizované celky (čiření, filtrace přes GAU). Nové technologie by měly v co největší míře odstraňovat mikropolutanty. Mezi uvažované technologie byly řazeny ty vybrané předchozí studií, následně ověřené poloprovozními zkouškami (MF, NF, AOP/GAU). Okrajovou podmínkou bylo i umožnění odstavitelnosti jednotlivých technologických celků.

Při volbě jednotlivých technologických celků do variant nebyl zásadní jen princip jejich fungování a očekávaná kvalita vyrobené vody. Specifiky Podolské vodárny jsou totiž její atypické geografické umístění a vysoká architektonická hodnota, díky které je areál kulturní památkou. Atypickým geografickým umístěním je myšlena nemožnost jakéhokoliv rozšíření areálu mimo současnou podobu. Ten je totiž obklopen bytovou zástavbou, základní školou, tramvajovou tratí, rušnou pozemní komunikací a parkem. Status kulturní památky naopak zakazuje jakoukoliv dostavbu uvnitř areálu včetně přísných požadavků na vnější vzhled budovy i rozložení některých vnitřních částí.

K řešení tohoto úkolu bylo přistoupeno tak, že došlo k návrhu šest technologických linek, ze kterých byly následně poskládány výsledné varianty. Linky byly navrženy následovně:

<u>Linka 1 (PF – AOP – GAU)</u> by využívala stávající pískovou filtraci (PF) a stávající filtraci přes GAU. Pro její realizaci by bylo nutné doplnit AOP (H_2O_2/UV).

<u>Linka 2 (PF)</u> je umístěna v technologii na III. filtrační galerii. Linka nevyžaduje žádný zásah.

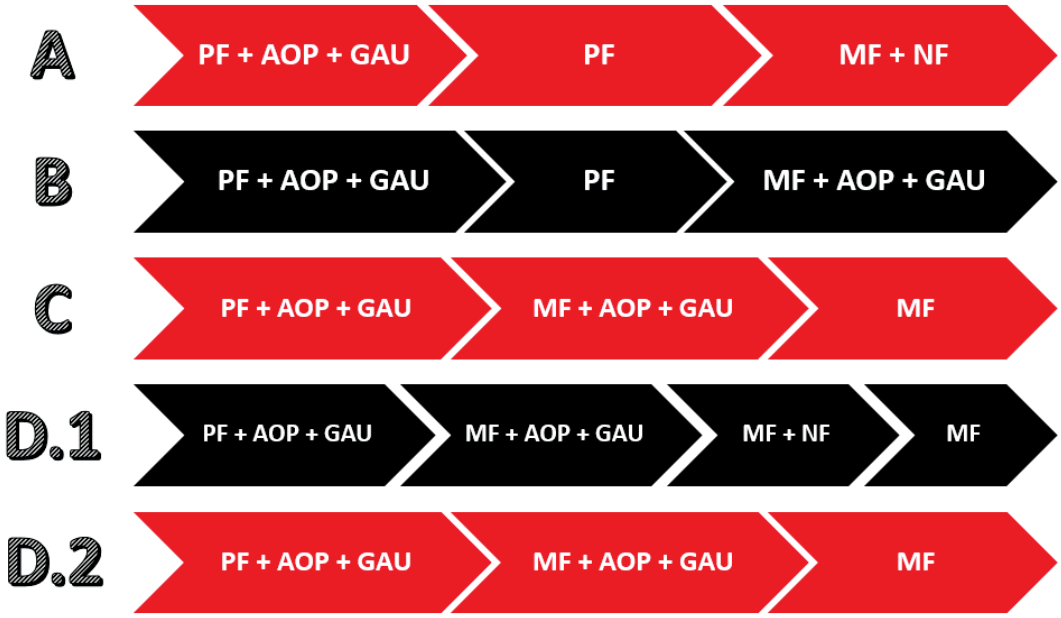
<u>Linka 3 (MF – NF)</u> uvažuje zavedení keramické MF a polymerní NF, kdy by část upravené vody z MF tekla obtokem přímo na hygienické zabezpečení a část upravované vody by z MF pokračovala na NF.

<u>Linka 4 (MF – AOP – GAU)</u> by využívala keramickou MF, AOP (H_2O_2/UV) a filtraci přes GAU, která by byla zřízena mimo filtrační galerie.

Linka 5 (MF – AOP – GAU) se od linky 4 liší umístěním GAU, které by v této lince nahradilo pískové lože na III. filtrační galerii.

Linka 6 (MF) uvažuje zavedení keramické MF do jiného objektu, než budou ostatní linky.

Těchto šest linek bylo poskládáno celkem do pěti variant značených A, B, C, D.1 a D.2 (Obr. 2):



Obr. 2: *Stručný přehled uvažovaných variant doplnění technologie ÚV Podolí*

Varianta A uvažuje linky 1, 2 a 3. Vzhledem k tomu, že linka 2 využívá pouze stávající technologii a linku 1 by bylo nutné doplnit pouze o AOP, jedná se o investičně méně náročnou variantu. Varianta A vyniká i nízkými provozními náklady a vysokou mírou odstavitelnosti technologie v porovnání s ostatními uvažovanými možnostmi. Její velkou nevýhodou je nízké procentuální zastoupení technologií schopných odstraňovat organické mikropolutanty (OMPs). V tomto ukazateli dosahuje pouhých 46,5 %, nejméně ze všech 5 variant.

Varianta B zahrnuje linky 1, 2 a 4. Z obdobného důvodu jako u varianty A jsou investiční i provozní náklady nižší, jelikož část technologie ÚV Podolí by zůstalo beze změny. Varianta B dále přináší průměrnou míru odstavitelnosti, jelikož filtrace přes GAU musí být alespoň v malé míře neustále v provozu. Spíše nižší je pak zastoupení technologií odstraňujících OMPs (61,4 %).

Varianta C nepočítá se zachováním linky 2, protože uvažuje linky 1, 4, 5 a 6. Ze všech variant má nejvyšší podíl vody protékající přes technologické celky odstraňující OMPs (92,7 %). Na druhou stranu je tato varianta finančně nejnáročnější jak z investičního, tak provozního pohledu. Dosahuje též nižší odstavitelnosti ve srovnání s jinými variantami a vzhledem k prostorovým možnostem ÚV Podolí ji není možné bilancovat na 2 850 l/s.

Varianta D.1 zahrnuje linky 1, 3, 5 a 6. Původně uvažovaná varianta D byla rozdělena na dvě podobné varianty. Varianta D.1 je navržena s vysokým procentuální podílem technologií odstraňujících OMPs (80,2 %) za cenu vyšších provozních i investičních nákladů, průměrné odstavitelnosti a nemožnosti dosažení průtoku 2 850 l/s z důvodu prostorových (ne)možností na ÚV Podolí. Oproti výše zmíněným variantám disponuje rychlejším najetím technologie pro výrobu maximálního možného množství pitné vody.

Varianta D.2 uvažuje pouze linky 1, 5 a 6. Představuje mix technologií s rychlým najetím produkce pitné vody na maximální průtok, spíše nižší mírou odstavitelnosti a vyšších provozních a investičních nákladů se slušným zastoupením technologických celků odstraňujících OMPs (77,2 %).

ZÁVĚR

Studie i poloprovozní zkoušky doplnění technologické linky ÚV Podolí byly úspěšně ukončeny. Jasně z nich vyplývá, že všechny testované technologie (keramická mikrofiltrace, polymerní nanofiltrace, pokročilý oxidační proces H_2O_2/UV, filtrace přes granulované aktivní uhlí) jsou vhodné pro provozní aplikaci. Z prezentovaných výsledků odstraňování pesticidních látek a metabolitů pesticidních látek vyplývá, že jak NF, tak linka AOP/GAU odstranily hodnotu ukazatele suma PL-NR na mez požadovanou platnou legislativou [2]. Hygienické limity byly dodrženy i pro jednotlivé pesticidní látky a relevantní metabolity pesticidních látek. Nanofiltrace nedokázala kompletně odstranit pouze jediné chemické individuum, chlorotoluron. Za linkou AOP/GAU byly alespoň jednou detekovány flufenacet ESA, DEET, clopyralid a terbuthylazin-2-hydro.

Na základě výsledků poloprovozních testů a bylo navrženo šest samostatných technologických linek, které jako vstup uvažovaly vyčiřenou vodu obohacenou o vápennou vodu. Jako výstup z každé linky byla požadována taková voda, která bude po smíšení s dalšími proudy a hygienickém zabezpečení klasifikovatelná jako pitná voda. Ze šesti linek byly pouze dvě, které jsou částečně či kompletně již nyní provozované na ÚV Podolí. Čtyři linky uvažovaly pouze zřízení nových technologických celků.

Ze šesti odlišných linek bylo postupně sestaveno pět variant, které měly zajistit celkovou špičkovou výrobu 2 850 l/s upravené vody, co nejvyšší odstavitelnost technologie, zároveň co nejvyšší podíl upravované vody jdoucí přes technologický stupeň odstraňující mikropolutanty. Pochopitelně bylo žádoucí zajistit výše uvedené s co nejnižšími provozními a investičními náklady tak, aby se nové technologie fyzicky vešly do stávajících objektů vodárny. Z navrhovaných variant doporučil řešitelský tým k dalšímu rozpracování zejména varianty D.1 a D.2. Varianta D.1 kombinuje vysokou odstavitelnost s druhým nejvyšším poměrem upravované vody vedené přes technologie odstraňující organické mikropolutanty (80,2 %). Její nevýhodou je maximální výrobní kapacita nižší než požadovaná dozorčím týmem. Pokud by bylo bezpodmínečně nutné dodržet požadovanou kapacitu, nabízí se využití varianty D.2 lišící se absencí nanofiltrace a vyšší výrobní kapacitou mikrofiltrace.

Modernizace technologie ÚV Podolí je během na dlouhou trať. Budoucí doplnění záleží na řadě faktorů, ale již nyní se Podolská vodárna po dlouhé postupně stává důležitým prvkem v pražském distribučním systému.

SEZNAM LITERATURY

[1] Vyhláška Ministerstva zemědělství České republiky č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů, v platném znění; Vyhlášeno ve Sbírce zákonů: 25. 8. 2023 v částce č. 117 pod číslem 256/2023 Sb. s účinností od 1. 9. 2023

[2] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví České republiky č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, v platném znění; Vyhlášeno ve Sbírce zákonů: 20. 12. 2023 v částce č. 176 pod číslem 371/2023 Sb. s účinností od 4. 1. 2024

REKONSTRUKCE ÚPRAVNY VODY MALEŠOV

Ing. Mach R., Bc. Bár T., Bc. Rybář V.

Severočeská servisní a.s., Přítkovská 1689/14, 415 50 Teplice
e-mail: robert.mach@scservisni.cz

1. ÚVOD

Tento příspěvek se zabývá rekonstrukcí úpravny vody Malešov, která slouží jako jeden z nezastupitelných zdrojů pitné vody k zajištění dostatečného zásobení Litoměřic, Terezína, Štětí a přilehlých obcí. Dále se podílí na zajištění dodávky pitné vody pro krajské město Ústí nad Labem. Rekonstrukce probíhala za provozu s omezením výkonu a krátkodobými odstávkami.

Areál úpravny vody Malešov je situován na severním kraji obce Hoštka – Malešov. Zdrojem surové vody pro úpravnu vody jsou tři prameniště s celkem 8 vrtanými studnami: prameniště Radouň (vrtané studny Rd-1a, RD-2a, Rd-3), prameniště Hubenov (vrtané studny O-2, O-3a, O-14a) a prameniště Hubenov/Pavličky (vrtané studny HV-13, O-4a). Vrtané studny nejsou v areálu úpravny vody a jsou rozmístěny po okolí. Úpravna vody Malešov byla uvedena do provozu v roce 1987 a její maximální projektovaný výkon byl Q_{max}=350 $l.s^{-1}$. V současné době je výkon úpravy vody limitován maximálními možnými odběry surové vody z jednotlivých vrtů.

Na základě studie z roku 2015, kterou vypracovala společnost SWECO Hydroprojekt byl vyhotoven investiční záměr společností Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. Dle investičního záměru byla v roce 2018 společností SWECO Hydroprojekt zpracována zadávací dokumentace.

Rekonstrukce jednotlivých technologických celků a stavební rekonstrukce budovy úpravny vody probíhala v letech 2019–2021 a zhotovitelem byla Společnost ÚV Malešov – SMP – HST. Stávající princip úpravy vody (odstraňování nadlimitních sloučenin železa) se rekonstrukcí nezměnil. I dále se využívá oxidace plynným chlorem, filtrace na otevřených pískových filtrech a chloraminace, jako hygienické zabezpečení vody. Navrhovaný výkon technologické linky úpravny vody po rekonstrukci činil pro surovou vodu z vrtaných studní:

Jednotka	Minimum	Dlouhodobý průměr	Maximum	Hydraulické maximum
$l.s^{-1}$	50	100	150	190

ZDROJE SUROVÝCH VOD:

Hodnoty přítoků surové vody z jednotlivých zdrojů:

- prameniště Radouň – vrty Rd-1a, Rd-2a, Rd-3 40 $l.s^{-1}$
- prameniště Hubenov – vrty O-2, O-3a, O-14a, 50 $l.s^{-1}$
- prameniště Hubenov/Pavličky – HV-13, O-4a 35 $l.s^{-1}$

TECHNOLOGICKÉ CELKY:

- přítoky surové vody do ÚV,
- dávkování chemikálií před nátokem na pískovou filtraci: chlor,
- písková filtrace,
- dávkování chemikálií: chlor, síran amonný,
- akumulace upravené vody,
- čerpací stanice,
- kalové hospodářství – kalové laguny.

KVALITA SUROVÉ VODY:

Kvalita surové vody je shrnuta v tabulce 1. Podzemní voda nevyhovuje ukazatelům pro pitnou vodu v parametru železo.

Tab. 1. *Přehled kvality surové vody – vybrané ukazatele, období 2014–2022*

Název	Jednotky	Průměr	Minimum	Maximum
teplota vody	°C	10,17	7,3	15,6
železo	mg/l	0,503	<0,02	19
mangan	mg/l	0,001929	<0,05	1
vápník	mg/l	121	88	165
hořčík	mg/l	8,976	<3	18,8
suma vápník+hořčík	mmol/l	3,39	2,57	4,49
CHSK-Mn	mg/l	0,1142	<0,3	2,1
pH		7,211	6,9	7,8

2. HLAVNÍ CÍLE REKONSTRUKCE ÚPRAVNY VODY MALEŠOV

Cílem byla rekonstrukce jednotlivých technologických celků a stavební rekonstrukce budovy úpravny vody. V rámci rekonstrukce úpravny vody bylo nahrazeno zastaralé strojní vybavení novým zařízením. Výjimkou byl filtrační materiál a polovina filtrace (tři původní otevřené filtry). Stávající princip úpravy vody (odstraňování nadlimitních sloučenin železa) se rekonstrukcí nezměnil. Hlavní změny jsou dvě. Rekonstrukce pouze poloviny filtrace a rozdělení stávající jednokomorové akumulace na dvě komory.

REKONSTRUKCE 2019–2021

Příprava rekonstrukce začala v roce 2015 studií a v roce 2019 byly zahájeny stavební práce. Na začátku rekonstrukce panovala pouze jedna obava, a to z odstavení stávající jednokomorové akumulace a provozu na provizorní akumulaci, která vznikla využitím ½ filtrace pro akumulaci upravené vody. Tato obava se ukázala nevýznamnou, protože navržené řešení fungovalo bezchybně.

Písková filtrace

Filtrace je tvořená šesti otevřenými pískovými filtry, každý o ploše 48,9 m^2. Filtry jsou naplněné filtračním křemičitým pískem s výškou náplně 1,6 m. Délka filtračního cyklu se pohybuje v závislosti na využívaných zdrojích mezi 120–168 hod, objem vody při jednom pracím cyklu je 226 m^3.

Písková filtrace, filtry 1 až 3 rekonstruovány

Filtry 1 až 3 jsou navrženy na max. výkon 95,0 $l.s^{-1}$ a jsou vybaveny drenážním systémem od společnosti Leopold, středovým žlabem a dvěma krajními žlaby. Středový žlab slouží pro přivedení nadávkované vody do filtru a současně pro odvedení odpadní prací vody z filtru. Krajní žlaby slouží pro odvedení odpadní prací vody a jako bezpečnostní přelivy. Filtrační náplň je tvořena 1,6 m vysokou vrstvou filtračního písku.
Filtry se provozují s konstantní filtrační rychlostí, s hladinovou odtokovou regulací – tj. s regulačním uzávěrem na odtokovém potrubí z každého filtru, který udržuje hladinu ve filtru v daných mezích, tzn., že při zanášení filtrační náplně dochází k postupnému otevírání regulačního uzávěru.

Písková filtrace, filtry 4 až 6 záloha

U filtrů 4 až 6 nebyla provedená rekonstrukce, ale pouze dílčí úprava přítokového potrubí filtrované vody. Filtry 4 až 6 jsou vybaveny mezidnem, středovým žlabem a dvěma krajními žlaby. Středový žlab slouží pro přivedení surové vody do filtru a současně pro odvedení odpadní prací vody z filtru. Krajní žlaby slouží pro odvedení odpadní prací vody a jako bezpečnostní přelivy. Filtrační náplň je tvořena 1,6 m vysokou vrstvou filtračního písku.
Tato část filtrace je udržována v provozním stavu jako záloha pro filtry 1 až 3. V případě potřeby je v budoucnu možné, po nezbytných úpravách, využít tyto filtry jako druhý stupeň filtrace s náplní GAU.

Čerpací stanice prací vody

Pro čerpání prací vody jsou osazena dvě čerpadla (1 provozní + 1 rezervní) s regulací výkonu změnou otáček pomocí frekvenčního měniče. Sání čerpadel je napojené na odběrné potrubí DN 600. Na sání každého čerpadla je osazena ruční klapka a na výtlaku zpětná klapka a klapka s el. pohonem. Společné výtlačné potrubí je vedeno armaturním prostorem nad akumulací upravené vody do pískové filtrace. Pro měření průtoku prací vody je instalován na společném výtlačném potrubí indukční průtokoměr.

Dmychárna

Zdrojem pracího vzduchu rekonstruovaných a původních filtrů jsou dvě dmychadla (1 provozní + 1 rezervní) s regulací výkonu změnou otáček pomocí frekvenčního měniče. Dmychadla nasávají vzduch z prostoru strojovny. Na výtlaku dmychadla je osazena ruční klapka. Zpětný ventil je součástí dmychadla. Bezpečnostní smyčka na potrubí vzduchu je umístěna v hale pískové filtrace. Pro měření průtoku je na potrubí osazen termický průtokoměr.

Akumulace upravené vody

Původní jednokomorová akumulace upravené vody byla celkově zrekonstruována a rozdělena na dvě akumulační nádrže. Akumulační nádrž 1 má objem 1300 m^3, akumulační nádrž 2 má objem 1000 m^3. Toto řešení umožňuje periodické mytí komor bez odstávky úpravny vody, což je důležité ve vztahu k bezpečnosti provozu úpravny vody.
Filtrovaná voda ze žlabu filtrované vody natéká do nově vybudované nátokové komory, která je umístěna na kraji pravé akumulace upravené vody, v místě, kde ústí žlab filtrované vody.

Bezpečnostní přeliv šachty je řešen přelivnou hranou ve stěně šachty do komory akumulace. Z nátokové komory je vedeno potrubí DN 500 do prostoru strojovny, kde je dávkován chlor a následné rozdělení potrubí do jednotlivých nádrží akumulace upravené vody. Potrubí jsou ukončena v akumulačních nádržích na opačné straně, než jsou odběry z akumulace upravené vody.

Z každé nádrže akumulace upravené vody jsou vedena dvě společná odběrná/sací potrubí a jedno sací potrubí čerpadla do vodojemu Markus. Dva odběry (sání) jsou použity z důvodů výškového osazení strojovny a akumulace upravené vody. V případě, že bude v provozu pouze jedno společné sací potrubí, potom se výrazně omezí provozní využití nádrží akumulace upravené vody, protože se zvýší minimální provozní hladina. Na každém odběrném potrubí DN 600 je osazena ruční klapka. Obě potrubí DN 600 jsou propojena.

Ve strojovně jsou osazena čerpadla prací vody, dmychadla pracího vzduchu a čerpadla pro dopravu upravené vody do vodojemů:

- VDJ Zahořany,
- VDJ Malešov,
- VDJ Markus,
- VDJ Na Stráži.

Kalové hospodářství

Odpadní vody z technologické linky úpravny vody, především z praní pískových filtrů, jsou odváděny odpadním potrubím na dvě kalové laguny, umístěné mimo oplocený areál úpravny vody.

Odpadní potrubí z betonových trub DN 600 je pod podlahou suterénu armaturního prostoru filtrace napojeno na dvojici betonových kanálů. Na přítoku do kalových lagun je umístěna rozdělovací šachta. Šachta je vybavena vyjímatelnou hradící stěnou pro zahrazení přítoku do odstavené laguny.

Kalové laguny mají půdorysné rozměry 20x25 m. Celková hloubka lagun je 1,4 m, hloubka kalového prostoru 1,0 m s objemem 2x500 m^3. Kalové laguny jsou provozovány střídavě s jednoletým cyklem (jedna se provozuje, druhá vysouší). Odsazená voda je odváděna z odtokových objektů kanalizačním potrubím do Úštěckého potoka. Vysušený kal s obsahem železa je těžen a odvážen specializovanou společností (oprávněnou osobou pro nakládání s odpady). Vybavení šachet umožňuje přístup pro odběr vzorků kvality odpadních vod.

3. PRŮBĚH REKONSTRUKCE

Jak je uvedeno výše, rekonstrukce započala na jaře 2019 a problémovým faktorem se zdál provoz na provizorní akumulaci z ½ filtrace. Naštěstí navržené řešení Ing. Lukášem Pískem fungovalo bezchybně. O zpestření prací se postaraly dva faktory, jeden nelze ovlivnit, druhý ani předvídat. Prvním faktorem byly přívalové deště, které dorazily ihned po sejmutí střechy. Bylo zapotřebí vše ještě důkladněji a opakovaně ochránit před dešťovou vodou. Druhým faktorem pro zpestření, byl příchod nemoci Covid-19. Nouzový stav by v České republice vyhlášen 12. 3. 2020 a od této doby bylo nutné práce na úpravně vody provádět s přizpůsobením se novým nařízením a omezením, které do této doby neměly obdoby.

4. ZÁVĚR

Rekonstrukce úpravny vody Malešov i při ztížených podmínkách anticovidových nařízení proběhla úspěšně. Po rekonstrukci úpravna vody nepřechází na novou technologii, ale zůstává u osvědčené úpravy surové vody s tím, že došlo ke zlepšení procesu mytí akumulací bez odstávky z provozu. Pro případ nepříznivého vývoje kvality surové podzemní vody zůstala možnost přestavět ½ filtrace (filtry 4–6) na 2° úpravy s náplní GAU.

PODĚKOVÁNÍ

Ing. J. Ježek, Ing. K. Matunová, F. Foltýn, V. Šnobl, Ing. L. Písek, Ing. D. Kovalovský, provoz ÚV SčS

SEZNAM LITERATURY

1. Sweco Hydroprojekt a.s., Ing. Písek a kol., Úpravna vody Malešov rekonstrukce úpravny vody
2. Provozní evidence SEVEROČESKÝCH VODOVODŮ A KANALIZACÍ, a. s.

I CHYBAMI SE TECHNOLOG UČÍ …

Ing. Martina KLIMTOVÁ

VODÁRNA PLZEŇ a. s., Malostranská 143/2, 317 68 Plzeň
e-mail: martina.klimtova@vodarna.cz

1. ÚVOD

Pracovní pozice technologa pitných vod u společnosti VODÁRNA PLZEŇ (VP) nabízí široké spektrum provozních zkušeností. Vodohospodářská společnost zajišťuje výrobu a dodávku pitné vody pro téměř 230 tisíc obyvatel. Nejrozsáhlejší spotřebiště, město Plzeň, je zásobováno pitnou vodou, upravenou tekoucího povrchového zdroje. Stejně tak kvalita dodávané vody v dalších 43 lokalitách sousedních okresů, která je upravována výhradně z podzemních zdrojů, je v gesci technologa pitných vod.

V článku budou prezentovány převážně provozní zkušenosti z procesu úpravy povrchové vody na úpravně vody v Plzni. Kolísavá kvalita vody v řece v průběhu roku nebo epizodně v krátkých časových intervalech po vydatné lokální srážce vyžaduje rychlou reakci v řízení technologické linky. Technologická linka ÚV Plzeň nejčastěji čelila nestandardním situacím ve fázi druhého nebo třetího separačního stupně úpravy, v otevřených rychlofiltrech. Závěrečná část příspěvku bude věnována úpravě podzemní vody filtrací přes vrstvu granulovaného aktivního uhlí a následné nutnosti přijetí nápravného opatření kvůli zhoršené biologické kvalitě upravené vody.

2. ÚPRAVA POVRCHOVÉ VODY Z ŘEKY

Jediným zdrojem vody pro úpravnu vody (ÚV) Plzeň je dolní tok řeky Úhlavy. Kvalita tekoucí povrchové vody je v průběhu roku velmi kolísavá a přímo odráží hydrologické podmínky celého toku nebo jen úseku zasaženého lokální srážkou. V průběhu roku se přirozeně mění teplota vody (0,5 °C – 23 °C), alkalita a oživení vody počtem jedinců i výskytem zastoupených druhů organismů. Jímací objekt do ÚV Plzeň se nachází v dolním toku, do procesu úpravy tak vstupuje surová voda, která vykazuje kromě přirozených složek velmi pestré zastoupení specifických organických a anorganických produktů z různých odvětví průmyslu, pesticidních látek, farmak, látek osobní péče aj. V každém roce jsou proměnlivá srážkově odtoková období, proto nelze vysledovat charakteristické znaky určitých periodách roku a ani predikovat epizodní stavy výrazně zhoršené kvality surové vody.

Technologická linka ÚV Plzeň

S ohledem na charakter zdroje vody technologie ÚV čítá tři separační stupně. Do čerpané surové vody je po korekci pH dávkován koagulant, síran hlinitý. Po homogenizaci probíhá proces sedimentace v podélných usazovacích nádržích. Po separaci vloček voda gravitačně natéká do šesti otevřených rychlofiltrů s drenážním systémem Leopold a náplní Filtralite Mono-Multi [1]. Před vstupem upravované vody na filtry je zaústěné dávkování manganistanu draselného. Filtrát pokračuje do objektu ozonizace, kde v reakčních nádržích dochází ke kontaktu upravované vody s ozonem, vyráběném z dováženého kyslíku. Po ozonizaci je voda čerpána zpět do objektu filtrace. Třetí separační stupeň představují čtyři otevřené filtry s náplní granulovaného aktivního uhlí (GAU). Po separaci nežádoucích organických látek následuje dezinfekce upravované vody UV zářením pomocí dvojice UV reaktorů ve střídavém

režimu, stabilizace vody dávkováním oxidu uhličitého a vápenného hydrátu v podobě vápenné vody a hygienické zabezpečení nízkými dávkami chloru.
Dimenzovaný výkon ÚV Plzeň je 1000 l/s, reálný výkon se pohybuje na 50%. Přítomnost nežádoucích pesticidních látek v Úhlavě a nedostatečná technologie ÚV na jejich odstranění byly hybnou silou rozsáhlé rekonstrukce ÚV Plzeň v letech 2013–2015. Kompletní rekonstrukce se týkala technologické části filtrace a ozonizace. V rámci rekonstrukce byl do všech otevřených 10 filtrů instalován drenážní systém Leopold, místo původního betonového mezidna [2]. Objekt filtrace byl nově hydraulicky rozdělen na druhý separační stupeň s 6 otevřenými filtry s náplní Filtralite Mono-Multi, místo původního filtračního písku, a doplněný třetí separační stupeň s 4 otevřenými filtry s náplní GAU [3].

Úprava surové vody s nízkou teplotou

Proces koagulace je souborem velkého množství dílčích procesů a obecně pro úpravu povrchové vody je procesem stěžejním. Koagulaci ovlivňuje celá řada faktorů, obsah organického znečištění surové vody, teplota, alkalita, pH vody, použité koagulační činidlo [4].
V přechodném období podzimu a zimy teplota vody v řece Úhlavě zpravidla klesá pod 100 °C. V zimním období kvalita surové vody ve srovnání s ostatními ročními obdobími bává bez výrazného organického znečištění, bez výkyvů se zvýšeným zákalem a absorbancí, bez biologického znečištění. V důsledku méně častých vydatných srážek a okalových stavů v chladnějším období, nedochází k výrazným výkyvům v kvalitě surové vody v krátkých časových intervalech. V zimních měsících se zpravidla surová voda, s teplotou okolo 50 °C, upravuje nízkými dávkami koagulantu. Určujícím parametrem pro zvolenou dávku síranu hlinitého dispečerem ÚV je hodnota absorbance z kontinuálního analyzátoru.
V období vánočních svátků v roce 2022 nastala neobvyklá situace, která byla podnětem pro úvahu o alternativě koagulačního činidla v zimním období. Koncem prosince 2022 došlo bezprostředně po lokálním dešti v dolním toku Úhlavy k výraznému zhoršení kvality surové vody. Kvalitu surové vody z pohledu vybraných ukazatelů uvádí Tab. 1. Zvýšení dávky koagulantu do upravované vody s teplotou v intervalu 0,50 °C – 5,60 °C zkomplikovalo proces sedimentace a následně filtraci. Neseparovaný mrak drobných vloček značně zatížil druhý separační stupeň. Aby byla dosažena požadovaná kvalita filtrátu, musel být výrazně zkrácen filtrační cyklus všech šesti rychlofiltrů.

Tab. 1. *Vybrané ukazatele kvality surové vody ÚV Plzeň v prosinci 2022*

Datum odběru		**21.12.**	**22.12.**	**23.12.**	**24.12.**	**25.12.**	**26.12.**	**27.12.**	**28.12.**	**29.12.**	**30.12.**
Ukazatel	**Jednotka**										
Teplota		0,3	0,7	1,0	2,6	4,6	5,4	5,6	4,5	4,5	5,1
Zákal	**FNU**	5,7	11	**62**	**57**	**150**	**87**	**37**	**56**	**40**	**21**
Absorbance (254)		0,105	0,101	**0,195**	**0,252**	**0,315**	**0,480**	**0,274**	**0,311**	**0,382**	**0,241**
$KNK_{4.5}$	**mmol/l**	1,35	1,35	1,20	1,18	1,05	1,03	1,09	1,08	1,10	1,13
$CHSK_{Mn}$	**mg/l**	3,0	3,3	**9,1**	**9,6**	**17,5**	**15,7**	**8,8**	**8,6**	**7,5**	**6,1**
TOC	**mg/l**	3,5		11,5				10,8	10,3		6,1

Úprava surové vody s vysokou teplotou

Jedním z nejdůležitějších cílů výše zmíněné modernizace ÚV Plzeň bylo doplnění třetího separačního stupně, filtrace vrstvou GAU, pro odstranění pesticidních látek, přítomných ve vysokých koncentracích v povrchovém zdroji. Po GAU-filtraci byla v rámci rekonstrukce ÚV nově zařazena UV desinfekce. Mikrobiální bariéru zajišťuje dvojice UV reaktorů ve střídavém režimu, s kapacitou 650 l/s a s 36 nízkotlakými amalgámovými výbojkami v každé jednotce. Sorpční schopnost GAU Chemviron Carbon Filtrasorb TL-830 byla ověřena v rámci

předprojektové přípravy poloprovozním testováním. Během zkušebního provozu (v 2016) byl ověřen vysoký efekt odstranění rozpuštěných specifických organických látek.
V letních měsících vlivem vysoké teploty vzduchu se ohřívá i tekoucí voda v řece. V posledních několika letech v období letních měsíců dosahuje teplota vody v Úhlavě v maximech 230 °C. V průběhu prázdninového období v roce 2017, kdy měla průměrná teplota vody 19,90 °C, byla zjištěna ve vzorcích filtrátu na směsném odtoku z GAU-filtrace zhoršená mikrobiální kvalita v ukazateli koliformní bakterie. Cílenými analýzami mikrobiologických rozborů odtoků z jednotlivých GAU-filtrů vedlo k poznání, který z GAU-filtrů je zdrojem mikrobiální kontaminace. Zkrácení filtračního cyklu GAU-filtrů nemělo téměř žádný účinek na snížení počtu kolonií koliformních bakterií. Problém se podařilo vyřešit řízenou regenerací každého GAU-filtru upravenou vodou s vyšší koncentrací aktivního chloru a prodloužení doby kontaktu prací vody s GAU. Nutno vyzdvihnout důležitou funkci v rámci rekonstrukce technologické linky zařazené mikrobiální bariéry v podobě UV reaktorů za GAU-filtrací. V Tab. 2. jsou uvedeny výsledky počtu kolonií koliformních bakterií na směsném odtoku z GAU-filtrace a počtu kolonií koliformních bakterií po UV záření v kritickém období.

Tab. 2. *Počty kolonií koliformních bakterií na směsném odtoku z GAU-filtrace a na odtoku po UV záření na ÚV Plzeň v období července a srpna 2017*

Datum odběru		18.07.	19.07.	26.07.	28.07.	31.07.	02.08.	07.08.	08.08.	09.08.	11.08.	15.08.	18.08.	22.08.
Koliformní bakterie	Jednotka													
odtok z GAU-filtrace	KTJ/100 ml	326	214	132	461	111	187	**980**	**1300**	**>2420**	**>2420**	**>2420**	**1200**	387
po UV záření		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Úprava surové vody s bohatým oživením

V první polovině září 2023, v delším období bez významného zhoršení kvality surové vody a tím souvisejících změnách dávky koagulantu nebo délky filtračního cyklu v druhém separačním stupni úpravy, došlo během čtyř hodin k výraznému nárůstu zákalu na odtoku ze sedimentačních nádrží. Během následujících osmi hodin vlivem vysokého zákalu vody po sedimentaci vzrostla na šestici otevřených filtrů tlaková ztráta a filtrát vykazoval hodnoty zákalu >0,5 FNU. Na vině mimořádné situace byl epizodní výskyt fotosyntetizujících mikroorganismů v řece Úhlavě. Společenstvo jednobuněčných mikroorganismů se vznášelo na hladině filtračních nádrží a nebylo možné je separovat běžnou filtrací nebo praním filtrů. Po vzájemné domluvě na provozní úrovni a po konzultaci s kolegou-technologem z jiné společnosti byla zprovozněna (poprvé od rekonstrukce ÚV) předchlorace surové vody. Zároveň byly odebrány kontrolní vzorky surové vody na rozšířený biologický rozbor. Akreditovanou laboratoří Povodí Vltavy v Plzni bylo potvrzeno bohaté oživení surové vody. Dominantní složkou identifikovaných mikroorganismů byly centrické rozsivky, sinice, skrytěnky, zelené řasy a bezbarví bičíkovci. Po pěti hodinách od zahájení dávkování chloru do surové vody (před zaústěním dávky koagulantu) byl evidován pokles zákalu v sedimentaci a za všemi šesti rychlofiltry. V režimu předchlorace s nižšími dávkami chloru byla upravována surová voda z řeky 10 dnů.

Úprava podzemní vody

Společnost VP provozuje v rámci své podnikatelské činnosti mj. vodovod pro veřejnou potřebu Černíkovice. Vodovod s jedním tlakovým pásmem gravitačně zásobuje 72 obyvatel. Podzemní voda ze dvou jímacích zářezů je perforovanou kameninou přivedena do první předkomory zemního vodojemu. Podzemní voda vykazuje vodu v průměru mírně kyselé reakce, středně tvrdou, agresivní, s koncentrací dusičnanů oscilující kolem 40 mg/l, prostou ostatních forem dusíku a kromě nadlimitních hodnot Alachloru ESA jsou detekovány stopové koncentrace

Atrazinu a Metazachloru ESA. S ohledem na přítomnost pesticidních látek patří podzemní voda do kategorie upravitelnosti A3 (podle platného znění vyhlášky č. 428/2001 Sb.). S ohledem na zatížení podzemní vody pesticidními látkami bylo v prosinci 2018 orgánem ochrany veřejného zdraví uděleno rozhodnutí s časově omezenou platností o mírnějším hygienickém limitu pro metabolit pesticidní látky, Alachlor ESA.
Stavební dispozice objektu vodojemu se dvěma menšími předkomorami umožnila zrealizovat nápravné opatření v podobě instalované nádrže s mezidnem. Začátkem roku 2020 byla do první předkomory (pod nátok surové vody) zabudována nerezová nádoba s obdélníkovým půdorysem a na děrované mezidno byla nasypána vrstva GAU (Filtrasorb TL – 830) do výšky 30 cm. Podzemní voda protékající otevřeným filtrem vrstvou GAU natéká do akumulační komory vodojemu s kapacitou 30 m^3, kde je hygienicky zabezpečena příslušnou dávkou roztoku chlornanu sodného. Dávkování dezinfekčního roztoku zajišťuje bateriové dávkovací čerpadlo. Z vodojemu odtéká pitná voda do spotřebiště, která splňuje limitní hodnoty platné vyhlášky ve všech ukazatelích, včetně pesticidních látek.
V červenci 2020 v rámci pravidelné kontroly náplně po vypuštění vody z filtrační nádoby byli na povrchu GAU nelezeni malí jedinci bílé barvy, o velikosti cca 5 mm. Po takovém zjištění byla celá náplň GAU z nádoby vybrána a proprána v čisté vodě s vysokou koncentrací celkového chloru za účelem její dezinfekce. Během manuálního propírání GAU byl objeven k velkému překvapení další druh živého organismu, v podobě dlouhých (až 150 mm), velmi tenkých žížalek s mírně červeným zabarvením. Zhruba po dvou týdnech se invaze nezvaných hostů opakovala. V rámci odborného hydrobiologického rozboru vzorků s oběma druhy živých jedinců byli identifikováni blešivec studniční (Obr. 1) a pastrunovec potoční (Obr. 2) [5].

Obr. 1. *Blešivec studniční – Niphargus aquilex*

Obr. 2. *Pastrunovec potoční – Haplotaxis gordioides*

Abychom zabránili vstupu obou druhů jedinců do vrstvy GAU, umístili jsme na vstup do otevřeného filtru, resp. nad filtrační lože, planktonní síťku. Druhá bariéra v podobě planktonní sítě v plastovém rámu byla umístěna na přelivnou hranu předkomory vodojemu.

3. ZÁVĚR

Pracovní pozice technologa pitných vod ve vodohospodářských společnostech bezesporu patří k náročným a velmi zodpovědným profesím. Práce technologa vyžaduje vedle umění aplikovat teoretické základy v praxi také ještě dostatek trpělivosti a pokorného přístupu k přírodním zákonitostem, schopnosti připustit určitou míru únosného rizika při rozhodování a v neposlední řadě kvalitní komunikaci se svými kolegy, s odborníky s jiným zaměřením, s externími specialisty a spolupráci s vědci a výzkumníky.

Ve všech uvedených případech z praxe se na úspěšném vyřešení konkrétního problému vždycky kromě technoložky pitných vod VP podílel celý tým kolegů z provozu, kolegů z laboratoří (VP i externí) a nutno zdůraznit důležitou oporu a pomoc přátel-technologů „na telefonu"… Díky Vám všem!

SEZNAM LITERATURY

1. Dolejš P., Dobiáš P., Jarošová M., Kalousková N.: Světová premiéra nového složení filtračního materiálu Filtralite Mono-Multi-Fine v poloprovozních experimentech. Sborník konference Pitná voda 2014, W&ET Team, České Budějovice 2014.
2. Drda M., Klimtová M: Postupná rekonstrukce ÚV Plzeň a její provozní výsledky. Sborník příspěvků konference PITNÁ VODA, Trenčianske Teplice 2019, VodaTím s.r.o. 2019.
3. Dobiáš P., Dolejš P., Kolovrat J.: Poloprovozní ověřování separace manganu na náplni Filtralite
4. na Ú V Plzeň. Sborník konference Pitná Voda 2014, Tábor 2 014, ISBN 978-80-905238-1-4.
5. Pivokonský M.: Tvorba suspenze při úpravě vody: teorie a praxe. Líbeznice, Medim 2011, ISBN 978-80-87140-18-5.
6. Pařil P.: Biologie vodních bezobratlých, Vodní kroužkovci. Ústav botaniky a zoologie, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně, 2004.

SOUČASNOST A BUDOUCNOST HISTORICKÝCH PRAMENIŠŤ VELKÉHO ROZSAHU VČETNĚ SOUVISEJÍCÍ VHI V PŮSOBNOSTI SČVK, A.S.

Ing. Lukáš Pařízek, MBA, Ing. Monika Švarcová

Severočeské vodovody a kanalizace a.s., Přítkovská 1689, 415 50 Teplice
e-mail: lukas.parizek@scvk.cz

1. ÚVOD

Budování zdrojů pitné vody pro hromadné zásobování obytných a výrobních aglomerací pitnou vodou začalo v severních Čechách v druhé polovině devatenáctého století a úzce souviselo s výrazným nárůstem obyvatelstva po industrializaci měst. Od konce 19. století do začátku druhé světové války byla průběžně budována plošně rozsáhlá vodárenská infrastruktura, která se většinově opírá o gravitační zdroje a projektovaná kapacita surové vody ve své době záměrně převyšovala tehdejší spotřebu (odběr) s ohledem na očekávaný rozvoj. Po druhé světové válce, v důsledku radikálního snížení obyvatelstva v regionu, nebyl tento původně zamýšlený potenciál využit.

Současná podoba vodárenství, zaměřeného na hromadné zásobování obyvatel pitnou vodou, naráží na limity vydatnosti zdrojů, které souvisí s obdobím sucha v posledních letech. Historické gravitační zdroje, které provozovatel v minulosti z ekonomických důvodů opustil nebo zakonzervoval, mohou za současné situace představovat logickou alternativu ke zdrojům nově budovaným.

Skupina Severočeská voda, do které patří SčVK, a.s. zajišťuje hromadné zásobování pitnou vodou pro více než milion obyvatel v Ústeckém a Libereckém kraji. Většina těžené vody dodávané do spotřebiště je tvořena povrchovými nebo zdroji s nuceným čerpáním (vrty). Méně zastoupená je varianta vrtů v kombinací s gravitačními zdroji. Pouze necelých 7 % tvoří čistě gravitační zdroje, kde voda z prameniště odtéká do vodojemu, kde dochází k jednoduchému hygienickému zabezpečení (chlorace). Relativně nízké zastoupení čistě gravitačních zdrojů v portfoliu Severočeské vody je dáno charakterem krajinného reliéfu v severních Čechách, a to především v okresech Děčín a Liberec. Obtížně překonatelné terénní podmínky pro budování dálkových svodných (zásobovacích) řadů se ale nalézají i v dalších okresech (např. Litoměřice Ústí nad Labem apod.), kde hranice spotřebiště historicky kopíruje (může kopírovat) pouze část zastavěného území konkrétního sídla. I když se v současnosti tento problém snadno řeší instalací automatické tlakovací stanice, popřípadě sítě takových stanic, tak s ohledem na ekonomické důvody jsou „čisté" gravitace často jediným zdrojem v daném sídle nebo jeho části.

Samostatným problémem je pak kolísavost odběru vody ve spotřebišti v průběhu roku, a to ve vazbě na využívání rekreačních objektů a jejich zázemí (zálivka zahrady, bazény apod.). Nárazový odběr ve spotřebišti navíc přichází v souvislosti s letními měsíci (letní rekreace), kdy gravitační zdroje sbírající vodu z mělčích horizontů mohou trpět sníženou vydatností. Dochází tak k situaci, kdy je kapacita vodojemů (jako jediné akumulace pro dané sídlo) pravidelně dotována dováženou vodou z cisteren, což představuje další nezanedbatelný finanční náklad provozu.

Pro strategickém rozhodnutí, zdali historicky odstavené (zakonzervované) prameniště znovu zprovoznit, nebo ponechat ve stávajícím stavu, je nutné prověřit aktuální vydatnost, ale i technický stav prameniště a jímacích objektů. Rozhodující jsou také majetkové vztahy na přístupových cestách, ale i v bezprostředním okolí jímacích objektů. V podmínkách skupiny Severočeská voda je toto prověření prováděno formou auditů (auditních zpráv). Při prověřování sledovaných zájmů na prameništi je nutné postupovat individuálně a zaměřit se na místní souvislosti v konkrétním místě. Audity vodních zdrojů jsou spojené s vytvořením auditní zprávy. Plošný rozsah prováděného auditu je omezen tzv. „zdrojovou oblastí povolení" (dále též „ZOP"), což je, dle interní firemní terminologie, základní územně-organizační jednotka, která zahrnuje zpravidla vodní zdroj a související VHI, na které je navázáno povolení k nakládání s vodami, dle vodního zákona.

2. AUDIT VODNÍHO ZDROJE

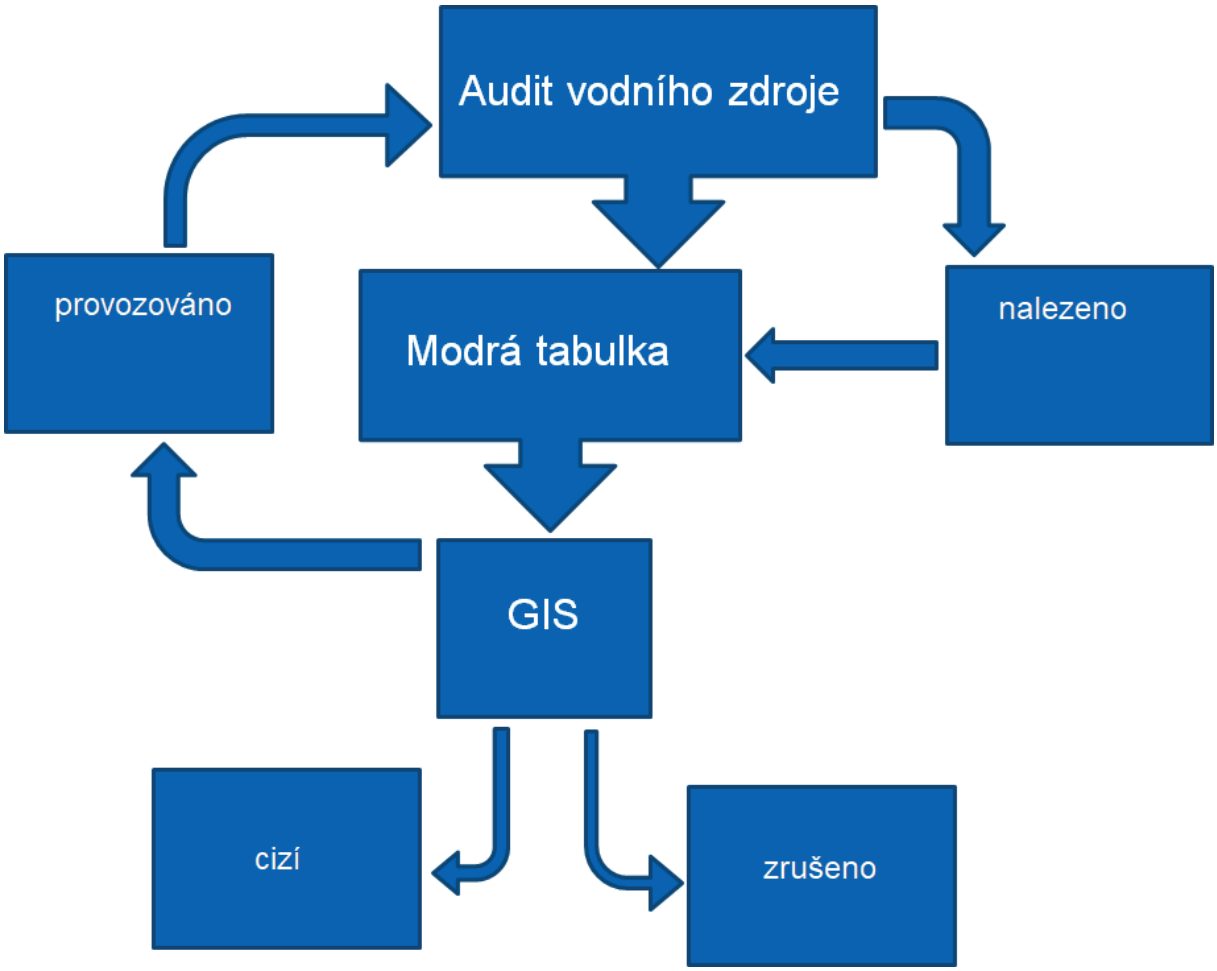
Současná podoba auditní zprávy obsahuje rešerši vyhlašovacího předpisu pro OPVZ, aktualizovaný popis stavebně-technického stavu jímacích objektů (včetně fotodokumentace) a související VHI, a to včetně konkrétních úkolů pro opravy apod. Pokud je to vhodné a účelné je auditní zprava doplněna o výsledky kontrolních měření vydatnosti a laboratorní výsledky odebraných bodových vzorků.

Plánované kontroly (audity) se provádějí v podmínkách SčVK, a.s. posledních cca. 8 let, za tu dobu doznal jejich obsah několika zásadních změn, cíl však zůstal stejný. A to vedle kontroly bezpečné výstroje a stavebního stavu jímacích objektů také zaměření (doplnění) povrchových znaků (například šachet, odkalovacích vyústí apod.) pomocí GNSS přístrojů do existujícího liniového zákresu ZOP. GNSS přístroje při sběru nových poznatků o prameništi vhodně doplňují různé druhy lokátorů, tlačných sond a inspekčních kamer.
Přitom prvotní liniový zákres svodných řadů v GIS vychází z vrstvy tvořené digitizérem na základě snímání stavebních dokumentací a mapových podkladů, které probíhalo ve společnosti SčVK, a.s. v letech 1995–1998. Pro potřeby snímání digitizérem byl každý mapový list transformován a vlícován do systému S-JTSK na pracovní ploše o formátu A0. Tento způsob tvorby liniového zákresu vytvořil problém zkreslení, který vznikal (mohl vznikat) v místě styku mapových listů, resp. v jejich krajích, kde na sebe snímaný svodný řad navazoval. Tyto nesrovnalosti byly po dokončení digitalizace manuálně verifikovány tak, aby byl zachován spojitý průběh řadu. Data získaná z GNSS přístrojů v rámci auditů toto zkreslení dodatečně minimalizují.
Zpráva o kontrole, resp. auditní zpráva, obsahuje aktualizovaný popis prameniště, resp. zdroje těžené vody, kontrolu stavu OPVZ (pokud je vyhlášeno) a současně je podkladem pro cílenou úpravu (aktualizaci) zákresu v GIS, ve vazbě na zaměřené povrchové znaky. Auditní zpráva, díky zvolené struktuře a obsahu, může být dále využívána provozovatelem jako podklad pro rozhodování o budoucnosti zdroje.

Postup pří tvorbě auditní zprávy

Prvním krokem při zjišťování stavu prameniště je dohledání povrchových znaků v terénu. Tím je stanoven základní rámec pro zpřesnění zákresu v GISu ve vazbě na katastr nemovitostí a současně vytvořena základní kostra pro zpracování dalších poznatků. K povrchovým znakům řadíme například vstupní poklopy šachet, zakončení odkalovacích výustí, trasovací kameny apod. Každému povrchovému znaku je přiřazeno samostatné evidenční číslo. Všechny šachty, jímací objekty a výustě jsou v prameništi očíslované a pojmenované, podle jednotného předem stanoveného vzoru.
S ohledem na navazující kroky je v této fázi kladen důraz na přesnost zákresu ve třetí třídě přesnosti a výše (mxy=0,14 m). Takto vysoká přesnost je dána metodickým využíváním funkcí

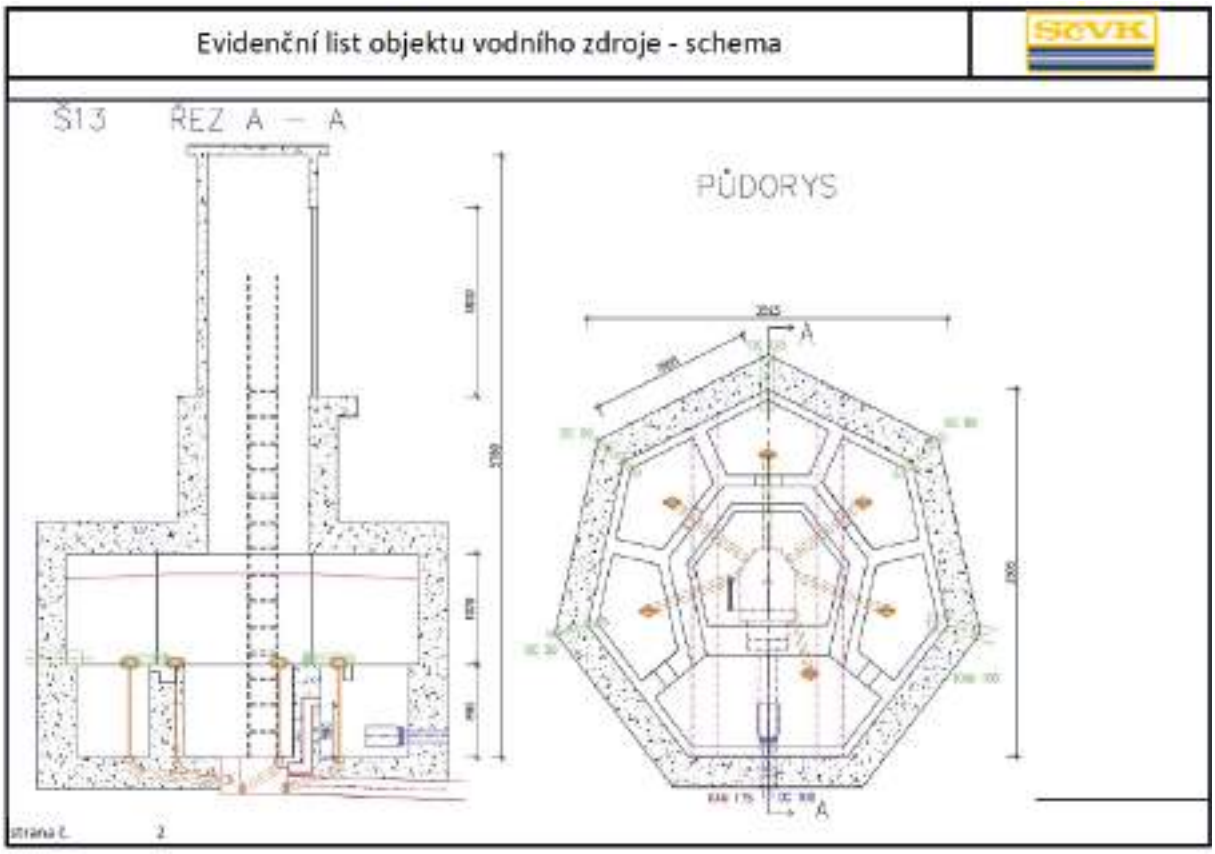
jako je post-processing nebo připojení a korekce od CZEPOS. Pro úpravu, resp. doplnění, zákresu v GIS o povrchové znaky je v podmínkách Severočeské vody sestavena interní závazná metodika pracující s několika stavy zákresů (provozováno, nalezeno, odstaveno, cizí, zrušeno). Přitom změnu stavu lze provádět pouze na základě interního změnového formuláře (tzv. „modré tabulky"), což je tabulkový podklad popisující konkrétní změnu v existující databázi a je schvalovaný samostatným procesem.



Obr. 1. *Schéma zapojení interního změnového formuláře (tzv. „modré tabulky") do procesu změny zákresu v databázích a firemního zákresu v GIS*

Požadovaný výstup z auditní zprávy

V návaznosti na zpracování auditní zprávy z prameniště dochází ke sjednocení názvosloví dohledaných jímacích objektů. Základní dělení gravitačních zdrojů je na zářezy, pramenní jímky, štoly a jímací galerie. Základní dělení vychází z ČSN 755115 pro jímání podzemní vody. O konečném zařazení jímacího objektu rozhoduje firemní hydrogeolog na základě místní znalosti. V případě štol a jímacích galerií je při volbě kategorizace zohledňována povinnost pravidelné kontrolní činnosti na důlním díle, a tak zvolená kategorizace podzemního objektu vychází ze zákona České národní rady o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě č. 61/1988 Sb. Za odvodňovací a vodovodní štoly se tak považují pouze podzemní objekty o světlém průřezu větším, než 2 m^2, za předpokladu jejich délka přesáhne 50 m. Pokud podzemní objekt nesplňuje tuto charakteristiku, je považován za jímací galerii, popřípadě galerii se zářezem.



Obr. 2. *Evidenční list šachty historického gravitačního prameniště, kde byl proveden audit*

Další oblastí, která je auditní zprávou z pramenišť řešena, je detailní popis vzhledu interiéru šachet, resp. šachtic. Popis je doplněn fotodokumentací, popřípadě provozním schématem nebo přímo stavebním pasportem u vybraných šachet. U gravitačních pramenišť se můžeme v trase svodného řadu setkat se sběrnými, akumulačními, revizními nebo čistě armaturními šachticemi. U štol nebo galerií se pak setkáváme ještě s variantou vstupní nebo přerušovací šachtice.

Dno většiny šachtic (jímek) se nalézá v hloubce 3 – 4 m (měřeno od hrany vstupního otvoru s poklopem). V případě akumulačních jímek zděnou betonovou konstrukci v pravoúhlém půdorysu, kde je dno zpravidla členěno na suchou část pro obsluhu a soustavu vzájemně propojených nádrží, do kterých je zaústěn přítok z jímacích objektů. Soustava nádrží je zpravidla vystrojena samostatným přepadem do odkalovacího potrubí. Ze soustavy nádrží je pak těžená voda odváděna přes odběrový koš dále do svodného řadu. Samostatnou kategorii jsou šachty vystrojené tzv. „násoskou" mezi nádrží za přítokem a navazujícím svodným řadem.

Naopak sběrné jímky zpravidla nejsou vystrojené odkalovacím potrubím nebo havarijním přepadem. Jejich interiér je tvořen typovými skružemi o průměru 1 m. Obsluha může vstupovat do vlastní jímací části s volnou vodní hladinou nebo na betonovou podestu, do které je vetknuta ještě další menší skruž, kam jsou zaústěné zářezy nebo závrty do jímacího prostoru. Také u těchto jímacích objektů se nalézá dno v hloubce 3–4 m (měřeno od hrany vstupního otvoru s poklopem).

3. ZPROVOZNĚNÍ PRAMENIŠTĚ A JEHO LIMITY

Vydatnost pramenišť přímo souvisí s jejich technickým stavem. V rámci auditní zprávy je věnována pozornost jímacímu objektu, ale také svodnému řadu (včetně šachtic), který na něj navazuje. Vedle mechanického poškození (například pojezd těžké lesnické techniky) je vydatnost vodního zdroje (prameniště) přímo ohrožena omezením průřezu svodného řadu. Vedle prorůstání kořenů ze zóny jímání může být snížení světlého průřezu spojeno se zanedbáním údržby nebo jako následek kolmatace v důsledku užívání bodové chlorace jako hygienického zabezpečení vod (s vyšším obsahem železa a manganu) v trase původního svodného řadu před vodojemem, který odděluje svodný řad a spotřebiště.

Omezená průchodnost potrubí u gravitačních zdrojů v trase „svodný řad – vodojem – spotřebiště" je obecně zásadním limitem pro zprovoznění většiny dlouhodobě odstavených pramenišť. Jedná se o problém finanční ale také technický. Svodné řady jsou v podmínkách Severočeské vody budovány v různých materiálech a průřezech (dimenzích). Historicky zde byla využívána materiálová kombinace měkké litiny, kameniny, skla, ale také oceli v dimenzích od DN 50 – DN 80. Takto nízké dimenze se proto po snížení průřezů musí vyměnit v celém úseku svodného řadu. S ohledem na terénní podmínky a ekonomické limity jsou při obnově svodných řadu upřednostňovány bezvýkopové metody. Plánované náhradě vybraného úseku svodného řadu předcházejí detailní diagnostické práce, které se opírají o poznatky z auditních zpráv.

Obr. 3. *Prorůstání kořenů do svodného řadu (DN LT80) a s tím spojené mechanické poškození je častým problémem u plošně rozsáhlých gravitačních pramenišť.*

4. ZÁVĚREČNÝ SOUHRN

V podmínkách skupiny Severočeská voda na území Ústeckého a Libereckého kraje je v plošně rozsáhlých (dočasně ostavených) čistě gravitačních zdrojích v současné době alokována rezerva cca. 65 l/s. Jedná se o zdroje s platným povolením. Do tohoto objemu nejsou zahrnuty ZOP podzemních zdrojů, kde se vedle gravitačních zdrojů vyskytují ještě zdroje s nuceným čerpáním, popřípadě, kde je mezi svodným řadem a spotřebištěm umístěna úpravna vody. Skupina Severočeská voda v současné době prověřuje technické a provozní možnosti navýšení rezervy dočasně odstavených čistě gravitačních zdrojů v portfoliu firmy.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě si dovolujeme poděkovat za spolupráci všem kolegům ze společnosti Severočeská Servisní, a.s., kteří se aktivně zapojují do přípravy a realizace auditu vodních zdrojů. Naše poděkování patří také kolegům z našeho útvaru, kteří se zapojili do přípravy tohoto příspěvku, konkrétně se jedná o Bc. Jana Hencla a Ing. Lukáše Weisse.

PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI S KOAGULAČNÍM PROCESEM V ÚV MEZIBOŘÍ

Ing. Radka Pečená, Ing. František Fedor, Jan Kraus

Severočeská servisní a.s., Přítkovská 1689/14, Trnovany, 415 01 Teplice
e-mail: radka.pecena@scservisni.cz

1. ÚVOD

Úpravna vody Meziboří je jednou z významných úpraven vody, které zajišťují výrobu pitné vody pro potřeby Severočeské vodárenské soustavy v Ústeckém kraji. Díky svému umístění je určena především pro zásobení měst Meziboří, Duchcov, Teplice a Bílina a přilehlých obcí, částečně také pro Most, Litvínov a Ústí nad Labem. Pro zásobení části uvedených spotřebišť Severočeské vodárenské soustavy je úpravna vody Meziboří nenahraditelná.

Úpravna vody Meziboří byla vystavěna v letech 1954–1963 jako součást rozsáhlého vodního díla Fláje. Vodní dílo Fláje zahrnovalo výstavbu přehrady na Flájském potoce, přivaděče do vyrovnávací nádrže, špičkové elektrárny na konci přivaděče, úpravny vody Meziboří a řadů zásobujících uvedená města. V období od osmdesátých proběhly v úpravně vody Meziboří rozsáhlé rekonstrukcím, rozděleným do několika etap. Poslední rekonstrukce byla ukončená v r. 2015 [1].

2. PŮVOD ORGANICKÝCH LÁTEK VE VODNÍ NÁDRŽI FLÁJE

V povodí VN Fláje se za dobu existence nádrže odehrála řada změn, které výrazně ovlivňovaly kvalitu přitékající vody (odlesnění a opětovné zalesňování, odvodnění rašelinišť, nárůst a ústup exhalací, vápnění, změny půdního profilu, klimatické změny ap.).
Predikce předpokládá další pozvolný růst koncentrace organických látek v přítocích a s nimi zřejmě i některých kovů. Z hlediska obsahu huminových látek je klíčový podíl rašelinišť v povodí jednotlivých přítoků. Jejich odvodnění umožňuje určitý časově limitovaný pokles koncentrace odtékajících huminových látek. Tento pokles je však pravděpodobně méně významný při zvýšených odtocích z povodí v chladném ročním období, které je pro bilanci nádrže nejvýznamnější [2].

3. FLOTAČNÍ LINKY ÚV MEZIBOŘÍ

K nádržím flokulace je voda přiváděna z reakční nádrže. V nádržích DAF (Dissolved Air Flotation) probíhá vlastní proces úpravy vody, tj. flokulace a flotace. Jedná se o obdélníkovou betonovou nádrž osazenou technologickým zařízením a prvky měření a regulace. Nádrž je rozdělena na sekci flokulace a flotace. Jednotka obsahuje dvě shodné vedle sebe umístěné nádrže [3].

Obr. 1. *Nádrž flotace ÚV Meziboří*

4. DEFINICE PROBLÉMU

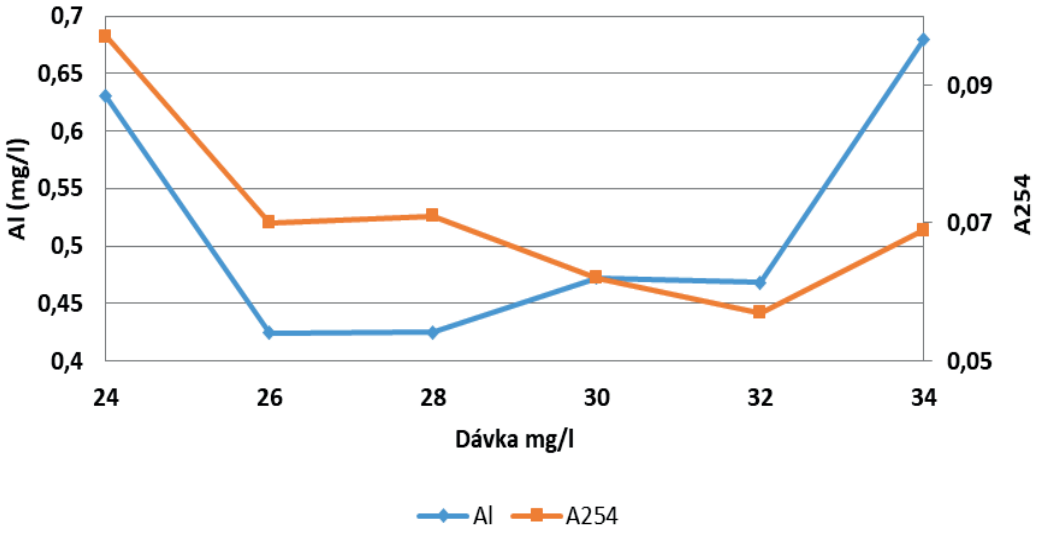
Základní technologií pro úpravu vody, zejména z povrchových zdrojů, je koagulace (flokulace). Do surové vody obsahující nečistoty (obvykle v rozpuštěném nebo koloidním stavu) je dávkováno koagulační činidlo, které interaguje s částicemi nečistot, čímž dochází k potlačení, překonání nebo odstranění odpudivých sil působících mezi částicemi, k tzv. destabilizaci. Vlivem míchání se pak mohou destabilizované částice setkávat a spojovat do větších celků, tzv. vloček. Vytvořené vločky je následně možné z vody separovat běžnými fyzikálními procesy, jako jsou sedimentace, flotace a filtrace [4].

Problémem na ÚV Meziboří je zimní období. Nízká teplota surové vody a skoková zhoršení kvality surové vody v kombinaci s případným požadavkem na vysokou výrobu se ukázaly jako zásadní příčina problémů při optimalizaci procesu koagulace. Tedy jak nastavit koagulační dávku, koagulační pH a provozní parametry flotačních jednotek.

V obdobích leden – březen 2023 a 2024 byly provedeny sady koagulačních pokusů, které měly za cíl ověřit a stanovit provozní parametry v zimním období.

5. KOAGULAČNÍ POKUSY 2023

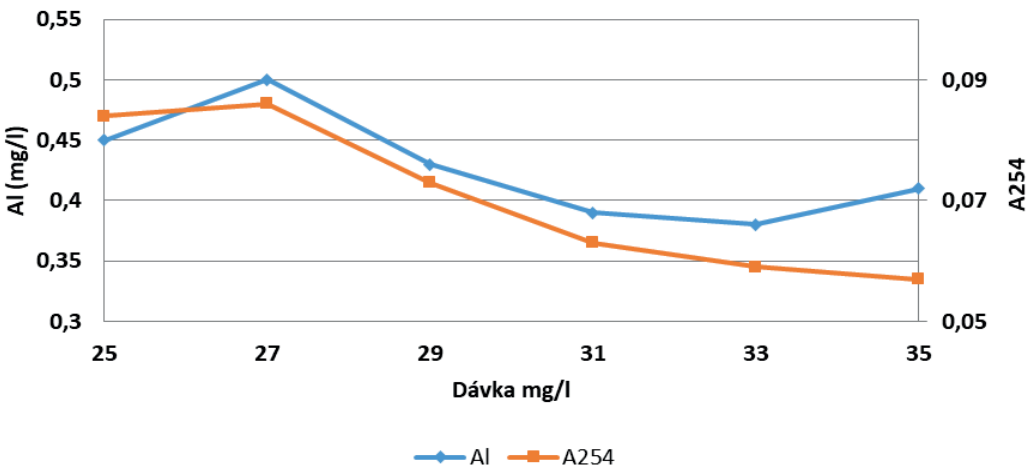
Při pokusu **15. 2. 2023** byla CHSK surové vody 5,2 mg/l, obsah Al 0,06 mg/l, teplota surové vody 3,4 °C. Důvodem provedení pokusu bylo zvýšení hodnoty Al v upravené vodě na 0,3 mg/l. Dávka koagulantu síranu hlinitého byla 34 mg/l a pH koagulační bylo 6,1. Pro pokus byl vybrán rozsah dávek 24, 26, 28, 30 ,32 a 34 mg/l.



Obr. 2. Graf vyhodnocení koagulačního pokusu 15. 2. 2023

Na základě koagulačního pokusu byla doporučena dávka 30 mg/l a koagulační pH udržovat na hodnotě 6,1. Obsah hliníku v upravené vodě se snížil na 0,07 mg/l.

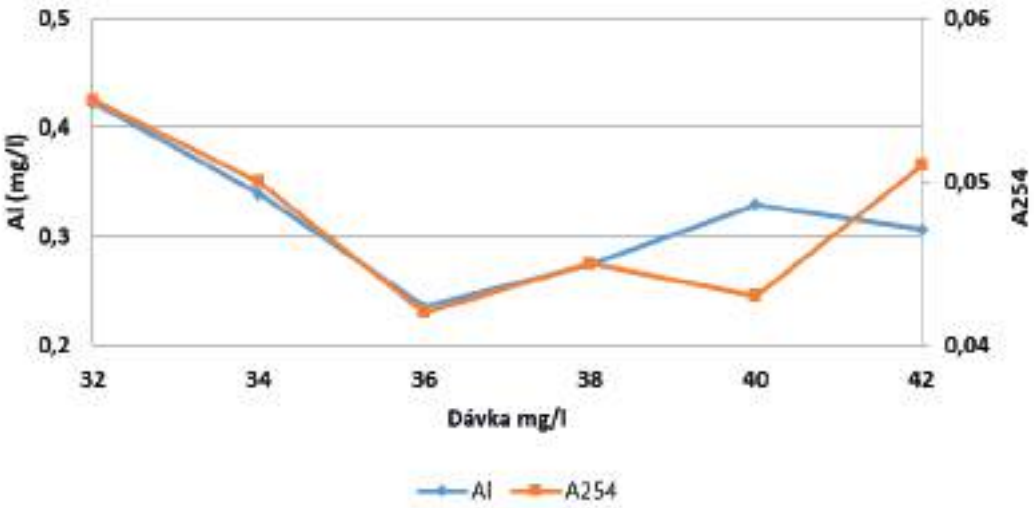
Při pokusu **3. 3. 2023** byla CHSK Mn surové vody 6,0 mg/l, obsah Al 0,08 mg/l, teplota surové vody 2,8 °C. Důvodem provedení pokusu bylo zhoršení kvality surové vody.
Dávka koagulantu síranu hlinitého byla 30 mg/l a pH koagulační bylo 6,1. Pro pokus byl vybrán rozsah dávek 25, 27, 29, 31 ,33 a 35 mg/l.



Obr. 3. Graf vyhodnocení koagulačního pokusu 3. 3. 2023

Na základě koagulačního pokusu byla doporučena dávka 33 mg/l a koagulační pH udržovat na hodnotě 6,2.
Byla sledována účinnost flotace, která i po nastavení dávky koagulantu byla nízká, navíc docházelo ke zvýšení výroby a dalšímu zhoršení kvality surové vody (CHSK 6,4 mg/l, Al až 0,12 mg/l). Bylo nutné provést úpravu režimu praní filtrů a mimořádné praní filtrů.

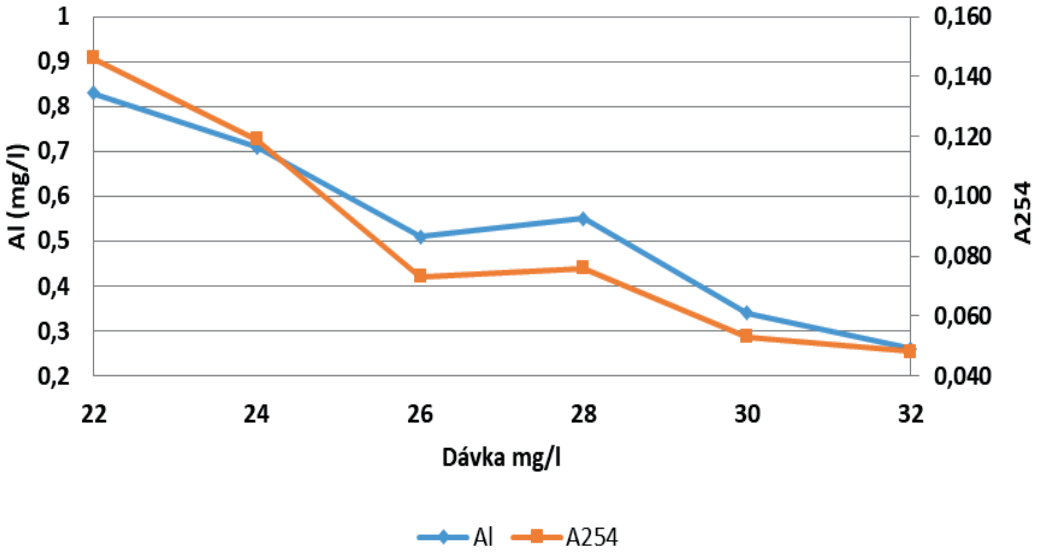
Další pokus byl proveden **13. 3. 2023.** Dávka koagulantu síranu hlinitého byla 35 mg/l a pH koagulační bylo 6,2. Pro pokus byl vybrán rozsah dávek 32, 34, 36, 38 ,40 a 42 mg/l.



Obr. 4. Graf vyhodnocení koagulačního pokusu 13. 3. 2023

Na základě koagulačního pokusu byla doporučena dávka 36 mg/l a koagulační pH udržovat na hodnotě 6,2.

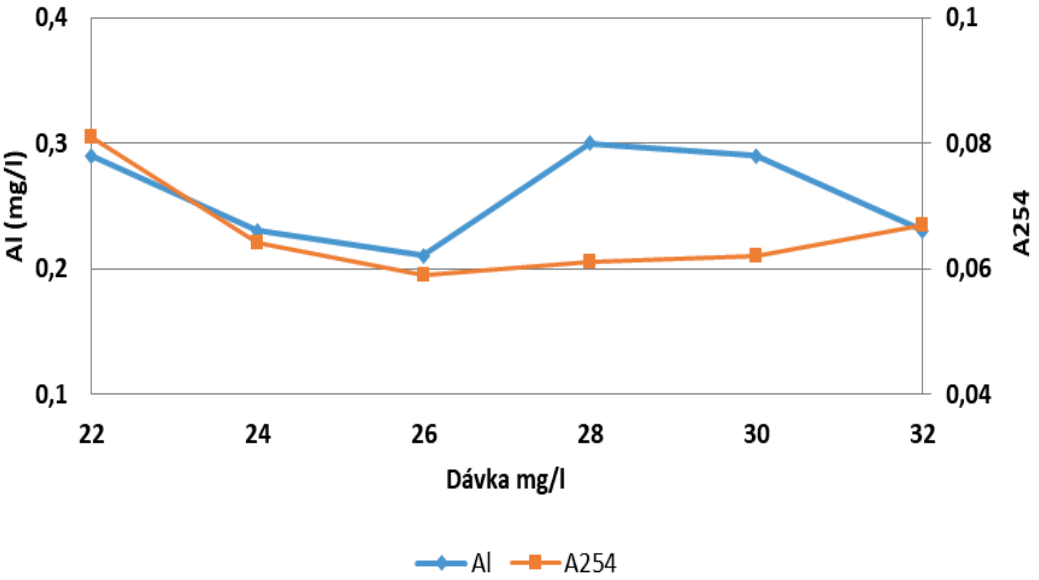
Vzhledem i k nadále zhoršující se kvalitě surové vody, došlo opět ke zvýšení Al v upravené vodě **18. 3.** na 0,3 mg/l. CHSK surové vody byla již 6,9 mg/l a Al 0,10 mg/l. Opět byla provedena úprava režimu praní filtrů. **19. 3. 2023** byl proveden další koagulační pokus. Vzhledem k obsahu Al v surové vodě a vysoké koagulační dávce bylo uvažováno, zda není potřeba spíše dávku snížit a pro pokus byl vybrán rozsah dávek 22, 24, 26, 28 ,30 a 32 mg/l.



Obr. 5. Graf vyhodnocení koagulačního pokusu 19. 3. 2023

Na základě koagulačního pokusu byla doporučena dávka 32 mg/l a koagulační pH udržovat na hodnotě 6,2.

Nedošlo k očekávanému zlepšení účinnosti flotačních linek. Navíc se zvýšil obsah Al v surové vodě až na 0,14 mg/l, CHSK se stále pohybovala kolem 6,0–6,4 mg/l a teplota kolem 3 °C, výroba 320–350 l/s.
A proto byl pokus opakován **20. 3. 2023** s tím, že nejprve bylo změněno nastavení flotačních linek ze standardně nastaveného stupně 2 na stupeň 1 a nakonec musela být i snížena účinnost saturátoru, velmi brzy se změna projevila ve vizuálně viditelném zlepšení fungování flotace.

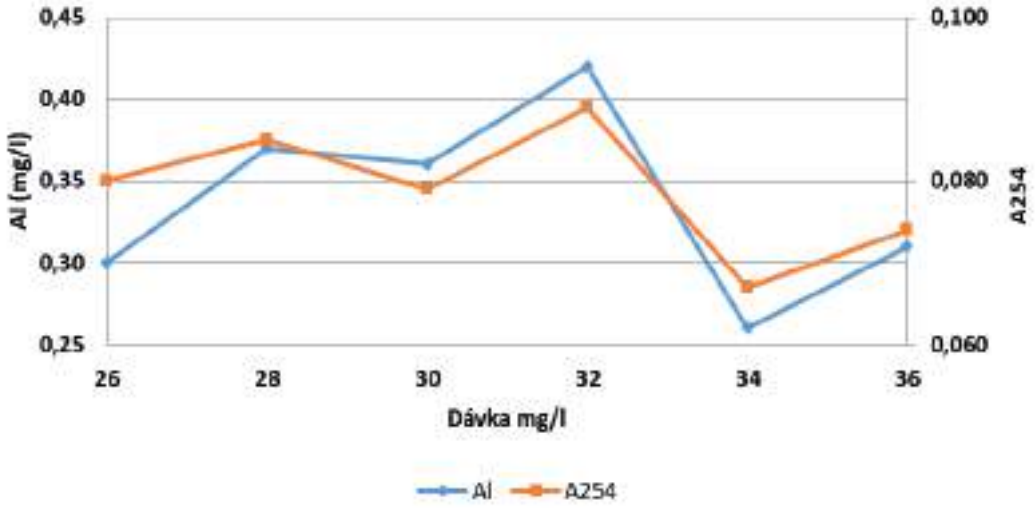


Obr. 6. Graf vyhodnocení koagulačního pokusu 20. 3. 2023

Na základě koagulačního pokusu byla doporučena dávka 26 mg/l a koagulační pH udržovat na hodnotě 6,2.
Došlo ke snížení Al v upravené vodě postupně na 0,09 mg/l. Postupně mohlo být filtrační cyklus vrácen z 16 hodin až na 24 hodin.

6. KOAGULAČNÍ POKUSY 2024

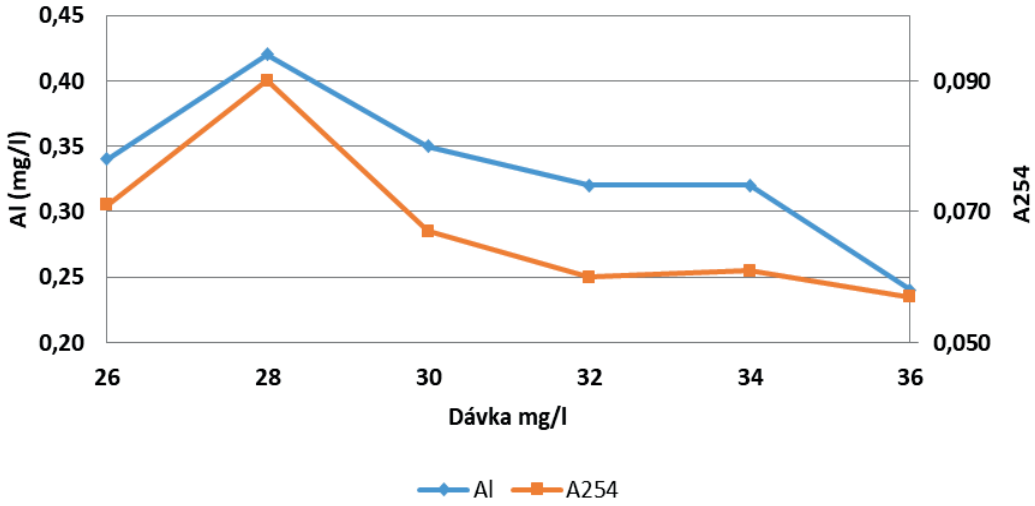
Při pokusu **3. 1. 2024** byla CHSK Mn surové vody 7,2 mg/l, obsah Al 0,06 mg/l, teplota surové vody 3,3 °C. Důvodem provedení pokusu bylo skokové zhoršení kvality surové vody a zvýšení hodnoty Al v upravené vodě na 0,3 mg/l, k tomu výroba 340 l/s. Bylo nutné zkrátit filtrační cyklus na 20 hodin.
Dávka koagulantu síranu hlinitého byla 26 mg/l a pH koagulační bylo 6,2. Pro pokus byl vybrán rozsah dávek 26, 28, 30, 32, 34 a 36 mg/l.



Obr. 7. Graf vyhodnocení koagulačního pokusu 3. 1. 2024

Na základě koagulačního pokusu byla doporučena dávka 34 mg/l a koagulační pH udržovat na hodnotě 6,2. Dávka koagulantu byla nakonec nastavena na 36 mg/l.
Došlo ke snížení obsahu Al v upravené vodě na 0,1 mg/l.

Další pokus musel být proveden **23. 2. 2024**, kdy CHSK surové byla až 7,3 mg/l, navíc došlo ke zvýšení obsahu hliníku v surové vodě na 0, 14 mg/l, teplota 3,5 °C, výroba až 350 l/s. Opět se velmi zhoršila účinnost flotačních linek.



Obr. 8. Graf vyhodnocení koagulačního pokusu 23. 2. 2024

Na základě koagulačního pokusu byla doporučena dávka 36 mg/l a koagulační pH udržovat na hodnotě 6,2.
Přestože dávka z tohoto pokusu v podstatě potvrdila předchozí nastavení, účinnost flotačních linek se zhoršovala a muselo být přistoupeno ke zkrácení filtračního cyklu na 16 hodin. Bylo tedy provedeno nastavení flotačních linek zpět na původní hodnoty z roku 2023 a to stupeň 2 a zvýšení účinnosti saturátoru. I když CHSK surové vody byla stále kolem 7,0 mg/l, obsah hliníku v surové vodě 0,12–0,14 mg/l, teplota kolem 3,5 °C. Došlo ke zlepšení účinnosti flotačních linek, což bylo patrné opět i vizuálně, filtrační cykly postupně upraveny na 20–24 hodin. Obsah hliníku v upravené vodě klesl až na 0,07 mg/l.

7. ZÁVĚR

Shrnutí výsledků ve sledovaných obdobích 2023 a 2024:

2023 – CHSK-Mn surové vody **5,2 – 6,9 mg/l**, teplota 2,8–3,4 °C, Al v surové vodě 0,06–0,14 mg/l, výroba 310–350 l/s (bez výroby pro praní filtrů cca 50 l/s), délka filtračního cyklu 16–20 hodin (8 filtrů). Bylo nakonec nutné nastavení flotačních linek ze stupně 2 na stupeň 1 a zároveň snížení výkonu saturátoru. Snížení dávky koagulantu na 26 mg/l.

2024 – CHSK-Mn surové vody **6,8 – 7,2 mg/l**, teplota surové vody 3,0–3,5 °C, Al v surové vodě 0,06–0,14 mg/l, výroba 310–350 l/s (bez výroby pro praní filtrů cca 50 l/s), délka filtračního cyklu 16–20 hodin (8 filtrů). Bylo nakonec nutné nastavení flotačních linek ze stupně 1 na stupeň 2 a zároveň zvýšení výkonu saturátoru. Zvýšení dávky koagulantu na 36 mg/l.

Z uvedeného vyplývá, že při srovnatelné teplotě vody, obsahu Al v surové vodě a výrobě vody jsme při větší koncentraci CHSK-Mn dosáhli lepších výsledků při vyšším výkonu flotační linky. V roce 2023 tomu bylo naopak.

SEZNAM LITERATURY

1. Fedor F., Říha J., Středa P., Poznatky ze zkušebního provozu ÚV Meziboří, sborník konference Pitná voda 2016, Tábor
2. Přikryl I., Benedová Z., Hruška J., Kröpfelová L., Kosík M., Pechar L., Pokorný J., Šulcová J., Studie Hodnocení trendu v dlouhodobém vývoji jakosti vody v nádrži Fláje v ukazatelích CHSK a huminové látky, studie zpracovaná pro Ústecký kraj, ENKI, o.p.s., Třeboň 2004
3. Herzogová L., Fedor F., Beyblová S., Nováková B., Provozní řád ÚV Meziboří, SčVK a.s. Teplice, 2016
4. Pivokonský M., Pivokonská L., Vašatová P., Načeradská J., Sklenicová zkouška pro optimalizaci úpravy vody, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, v.v.i., Praha 6, 2019, 1. elektronické vydání, ISBN:978-80-87117-20-0(PDF)

VÝROBA PITNÉ VODY Z MENŠÍCH A STŘEDNÍCH PODZEMNÍCH ZDROJŮ

Ing. Petra Hrušková [1], **Ing. Karel Drábek** [2]

[1] ENVI-PUR, s.r.o., Na Vlčovce 13/4, 160 00 Praha 6 – Dejvice
[2] HYDRO-PUR, s.r.o., K Vodojemu 140, 252 19 Chrášťany
e-mail: hruskova@envi-pur.cz

1. ÚVOD

I když se to na první pohled nemusí zdát, tak menší a střední zdroje surové vody potřebují stejnou péči jako velké zdroje a technologické linky na výrobu pitné vody. Hlavními nevýhodami při návrhu technologie pro menší úpravny vody jsou nejčastěji omezené finanční zdroje či ne příliš podrobný monitoring kvality surové vody. Při návrhu technologie je důležitá předprojektová příprava, která zajistí dostatek vstupních dat (kvalita surové vody, vydatnost zdrojů, spotřeba vody, vývoj obce a průmyslu v dané oblasti apod.). V příspěvku jsou podrobněji popsány 3 zdroje podzemní vody s výrazně odlišnou kvalitou a jejich technologické řešení a postup při rekonstrukci či tvorbě projektu.

2. ÚPRAVNA VODY OTĚVĚK

Úpravna vody Otěvěk se nachází v Jihočeském kraji v okrese České Budějovice. Zdrojem surové vody je podzemní voda z vrtů HV-3 a HV-1. ÚV je provozována na výkon 16,5 až 27,5 l/s. Problematické ukazatele jsou železo (do 3 mg/l) a mangan (do 0,5 mg/l) v surové vodě. Zdroj je prostý pesticidů a jejich metabolitů.

Technologie byla na hranici své životnosti, a proto byl zpracovaný projekt (Sweco a.s.), který řešil celkovou rekonstrukci. V rámci rekonstrukce došlo k obnově všech zařízení včetně chemického hospodářství a čerpání do spotřebiště.

Popis původní technologie

Původní technologii tvořila dvojice paralelně provozovaných tlakových filtrů o průměru 3 000 mm, které byly možné prát vzduchem i vodou. Před filtry byl dávkován roztok NaClO a vápenné mléko. Upravená voda byla akumulována ve vodojemu o objemu 2 x 700 m^3 a dále dle potřeby čerpána ATS do spotřeby.

Popis rekonstrukce a nové technologie

V rámci rekonstrukce došlo k obnově rozpuštění a dávkování chemikálií, trubních rozvodů, filtrace včetně pracích čerpadel, čerpání do spotřebiště, stavebního a technologického elektra včetně systému řízení a došlo i na stavební úpravy a potřebné sanace. Rekonstrukce probíhala za provozu ÚV a musel být kladen důraz na postup rekonstrukce a zachování výroby pitné vody.

Prvním krokem úpravy vody nové technologické linky je dávkování chemikálií. Do surové vody je možnost dávkovat roztok $KMnO_4$, NaClO a vápenné mléko.

Roztok manganistanu draselného je připravován ve dvojici rozpouštěcích nádrží s el. Míchadlem o objemu 2 x 1 000 l a dále dávkován dle potřeby a kvality do surové vody. Roztok chlornanu sodného je dodáván a dávkován přímo v komerčně dostupné koncentraci bez ředění. Je možnost jej dávkovat do surové vody a do upravené vody za filtraci pro její finální hygienizaci. Vápenné mléko (1%) je připravováno ručně v jedné rozpouštěcí nádrži o objemu 4 000 l z vápenného hydrátu. Oproti původní technologii je tedy doplněno dávkování roztoku $KMnO_4$, které sníží spotřebu NaClO a eliminuje riziko vzniku nežádoucích chloritanů a chlorečnanů i případně THM. Dále bude proces výroby pitné vody více rozpustní a spolehlivější na odstranění manganu ze surové vody včetně udržování funkce katalytické filtrační náplně v tlakových filtrech.

K dosažení dostatečné doby zdržení a rozpuštění vápenného mléka je v nové technologické lince umístěna tlaková reakční nádrž (Obr. 1.), která je tvořena DN 2000 o délce 4 m se dvěma přepážkami.

Obr. 1. *Tlaková reakční nádrž ÚV Otěvěk*

Dále je nadávkovaná voda stále v tlaku vedena na trojici tlakových filtrů (Obr. 2.), které jsou provozovány paralelně (HI-FLO 9). Filtrační rychlost se pohybuje v rozmezí 6–10 m/h. Chod filtrů je automatický a délku filtračního cyklu lze ovlivnit z nadřazeného řídícího systému dle přefiltrovaného objemu, času či kvality upravené vody. Filtrační náplň je vícevrstvá. Horní vrstvu tvoří hydroantracit (CULLCITE), dále je zde katalytická zrnitá náplň (CUllSORB M) a podložní vrstva filtračního písku (CULLSAN). Praní filtrů zajišťují odstředivá čerpadla v sestavě 1+1 upravenou vodou.

Obr. 2. Tlakové filtry ÚV Otěvěk

Upravená voda je po filtraci a měření průtoku přivedena do společného potrubí a následně do akumulačních nádrží. Před akumulacemi je proporcionálně dávkován roztok NaClO pro finální hygienizaci.

Na ÚV Otěvěk proběhla úspěšná kompletní rekonstrukce technologické linky za provozu, která měla za úkol obnovu technologického zařízení, automatický provoz a plnění vyhlášky č. 252/2004 Sb.

3. ÚPRAVNA VODY V BESKYDECH

Zdrojem surové vody na této ÚV jsou vrty BV-1 a BV-2, které jsou problematické díky zvýšenému obsahu železa (cca 2 mg/l), manganu (cca 0,2 mg/l), zákalu (až 11 NTU) a amonných iontů (až 1,0 mg/l). Hodnota pH surové vody je 7–7,5 a suma Ca+Mg je 0,72 mmol/l. Požadovaný výkon ÚV je dle vydatnosti zdrojů, počtu obyvatel a s přihlédnutím k budoucímu předpokládanému rozvoji obce stanoven na rozmezí 0,5–1,3 l/s.

Stávající technologie potřebuje kompletní výměnu. Tato akce je v projektové fázi. Při tvorbě návrhu technologie a projektu byl kladen důraz na místní podmínky, kvalitu surové vody a požadavky provozovatele.

Popis navržené technologie

Dle kvality surové vody (převážně obsah amonných iontů) a možnosti umístit technologii do patra nad akumulační nádrž, a tím nestavět nový objekt, byla navržena otevřená technologie s předřazeným provzdušněním. Při návrhu byl kladen důraz na robustnost technologie, automatický provoz, minimalizaci dávkování chemikálií a minimální prostorové nároky technologie (Obr. 3.).

Prvním technologickým krokem je provzdušnění pomocí podtlakových injektorů (Mazzei). Jsou navrženy dva injektory paralelně vedle sebe a budou v provozu dle výkonu ÚV.
Před i alternativně za injektory bude umístěno dávkovací místo pro roztok manganistanu draselného. Roztok manganistanu draselného se bude připravovat o koncentraci 0,5–1,0 % ze sypkého $KMnO_4$ v zásobní nádrži o objemu 300 l s elektrickým míchadlem a záchytnou vanou. Roztok $KMnO_4$ bude dávkován pomocí membránového dávkovacího čerpadla (Q=6 l/h, p=10 bar), které bude řízeno proporcionálně s průtokem surové vody.

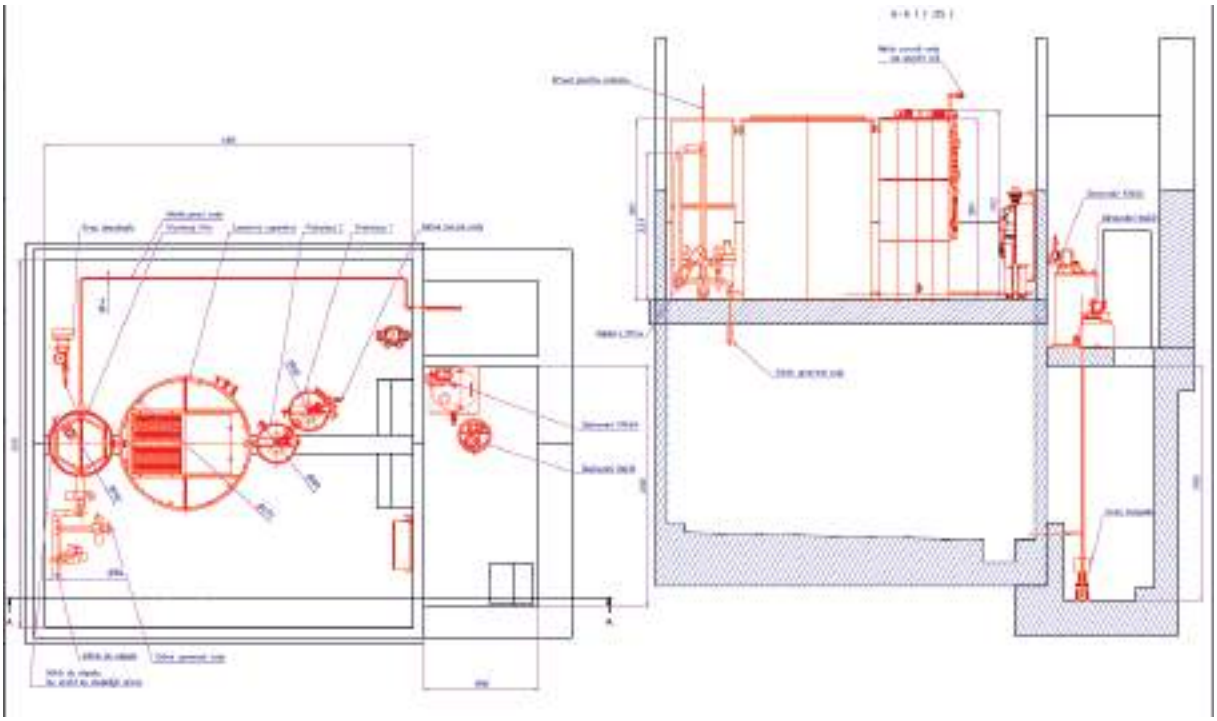
Provzdušněná voda s nadávkovaným roztokem $KMnO_4$ bude vstupovat do dvou sériově řazených, kruhových, otevřených, flokulačních komor. V obou komorách budou umístěna pomaloběžná vrtulová míchadla. Průměr jedné nádrže je 0,6 m. Celkový objem obou flokulací je 1,5 m^3 a teoretická doba zdržení při Q_{max} je 18 min. Doba zdržení je dostatečná pro oxidaci železa a manganu v surové vodě a tvorbu suspenze (vloček), která půjde snadno separovat na jednotlivých stupních technologie (sedimentace a filtrace). Amonné ionty budou odstraňovány biologicky na filtrační náplni (biochemická oxidace amonných iontů – nitrifikace).

Voda z flokulačních komor bude gravitačně přivedena do kruhové usazovací nádrže s kónickým dnem a lamelovou vestavbou. Usazovací nádrž bude osazena automatickým odkalením/vypuštěním. Odpadní vody budou gravitačně přivedeny do jímky na odpadní vody. Usazovací nádrž bude sloužit k separaci železa a zákalu ze surové vody a bude odlehčovat dalšímu stupni technologie.

Posledním krokem technologie je otevřená filtrace. Filtr je kruhový z PP a je vybaven drenážním systémem Leopold a dvouvrstvou filtrační náplní Filtralite. Plocha filtru je 0,79 m^2. Filtrační rychlost při Q_{max} je 6 m/h. Výška filtrační náplně je 1,2 m. Filtr bude vybaven 3 ks automatických elektroarmatur, které budou umožňovat automatický provoz filtru včetně zafiltrování a praní filtru. Minimální hladina na filtru bude držena pomocí odtokové smyčky na potrubí filtrátu, která bude otevřená do atmosféry.

Praní filtru bude umožněno vzduchem i vodou. Praní vzduchu bude zajišťovat prací dmychadlo (Q=40 m^3/h, přetlak=30 kPa) a praní vodou bude zajišťovat prací čerpadlo s regulací otáček pomocí FM (Q=20 m^3/h, H= 5 m). Praní bude prováděno upravenou vodou z akumulačních nádrží pitné vody. Zafiltrování již proběhne surovou vodou. Odpadní vody z praní filtru budou přivedeny gravitačně do jímky na odpadní vody. V rámci jednoho pracího cyklu vznikne cca 4 m^3 odpadní vody. Filtrát bude přiveden přes regulační odtokovou smyčku a potrubí filtrátu gravitačně do akumulace.

Do potrubí filtrátu bude zaústěn a dávkován ředěný roztok chlornanu sodného (NaClO, 20–30 g/l Cl_2). NaClO bude dávkován pomocí membránového dávkovacího čerpadla (Q=6 l/h, p=10 bar) ze zásobní nádrže o objemu 50 l se záchytnou vanou.



Obr. 3. Půdorys a řez technologické linky v Beskydech

4. ÚPRAVNA VODY POCHVALOV

Zdrojem surové vody pro ÚV Pochvalov je vrt PO-2. Vydatnost zdroje a výkon ÚV je 1,0 l/s. Problematickými ukazateli v surové vodě jsou železo (až 2,5 mg/l), mangan (až 1,1 mg/l), sírany (360 mg/l) a suma Ca+Mg (6,24 mmol/l). Hodnota pH surové vody je 6,9–7,0.

Vzhledem ke kvalitě surové vody s přihlédnutím k BAT technologiím, produkci a likvidaci OV byla navržena technologie tlakové filtrace s katalytickou náplní na odstranění železa, manganu a nanofiltrace na odstranění síranů a snížení tvrdosti vody.

Popis nové technologické linky

Prvním krokem technologické linky je dávkování roztoků NaClO, NaOH a $KMnO_4$ proporcionálně dle průtoku surové vody ze zásobních nádrží se záchytnými vanami pomocí membránových dávkovacích čerpadel.

Odstranění železa a manganu je zajišťováno pomocí tlakového filtru (HI-FLO 9) s katalytickou filtrační náplní CULLSORB M (obdobně jako u ÚV Otěvěk). Provoz filtru je automatický a praní je zajištěno upravenou vodou z akumulace. Filtrační rychlost je v rozmezí 6–9 m/h (Obr. 4.).

Obr. 4. *Technologická linka ÚV Pochvalov*

Dalším stupněm je membránová technologie. V tomto případě tlaková (in-out), cross-flow nanofiltrace (NF, Culligan MFP), která je schopna odstranit sírany a snížit sumu Ca+Mg. Nanofiltrace dokáže pracovat s výrazně nižším vstupním tlakem a zároveň funguje s vyšší výtěžností než reverzní osmóza. Proto byl zvolen tento typ technologie. NF zpracuje 2 000 l/h vstupní předupravené surové vody a produkce perméatu je 1 600 l/h (Recovery 80 %). Před technologií je ochranný tlakový filtr s granulovaným aktivním uhlím, dávkování antiscalantu a jemný mechanický filtr, které chrání a prodlužují životnost NF membrán. Při odstávce NF je technologie napuštěna změkčenou a dechlorovanou upravenou vodou, aby byly NF membrány chráněny před poškozením.

V technologii je dále regulovatelný obtok NF. Permeát z NF a obtok je míchán v poměru 1:1. Koncentrace síranů a tvrdosti vody je tedy snížena cca na polovinu oproti koncentraci v surové vodě. Vzhledem k vysoké koncentraci Ca a Mg v surové vodě nedochází v upravené vodě k poklesu zmiňovaných ukazatelů pod doporučenou hodnotu ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. A není nutné vápník a hořčík do upravené vody doplňovat.

5. ZÁVĚR

Každý zdroj surové vody je odlišný a pro kompletní návrh technologické linky je potřeba dostatek vstupních informací. Je nutné k jednotlivým návrhům technologie přistupovat individuálně a s dostatečnou pokorou.

Dnes je možné opravdu na míru pro daného zákazníka navrhnout technologické řešení, které je schopno vyrábět pitnou vodu dle platné legislativy s vysokou mírou automatizace a nízkými provozními náklady.

VÝSLEDKY POLOPROVOZNÍCH TESTŮ ODSTRAŇOVÁNÍ MIKROPOLUTANTŮ NA AKTIVNÍM UHLÍ V PODMÍNKÁCH UMĚLÉ INFILTRACE VODÁRNY KÁRANÝ.

doc. Ing. Marek Šváb, Ph.D. [1], Ing. Barbora Štěpánová [1], doc. Ing. Michael Pohořelý, Ph.D. [2], Mgr. Marek Skalický [3], prof. Ing. Václav Janda, CSc. [2]

[1)] 1 DEKONTA, a.s., Dřetovice 109, Stehelčeves

[2)] Vysoká škola chemicko-technologická, Technická 5, Praha 6

[3)] Vodárna Káraný, a.s., Podolská 15/17, Praha 4

e-mail: marek.svab@dekonta.cz

1. ÚVOD

Vodárna v Káraném je nejstarší ze tří současných zdrojů pitné vody, zásobující hlavní město Prahu a okolí. Součástí vodního zdroje je umělá infiltrace, rozsahem největší ve střední Evropě. Surová voda z řeky Jizera dopravená do úpravny vody je přefiltrována na rychlofiltrech přes filtrační písek. Následně pak přečerpána do vsakovacích nádrží s přirozeným pískovým dnem ve štěrkopískových náplavech. Vsakovaná voda, procházející přes tento přirozený filtr, intenzivně obohacuje přirozené zásoby podzemní vody. Kontaktem s geologickými vrstvami získává vlastnosti vody podzemní. Po vyčerpání a hygienickém zabezpečení je vyrobená pitná voda distribuována spotřebitelům.

Povrchové i podzemní vodní zdroje jsou v současné době bohužel zatíženy desítkami různých chemických látek obsažených ve velmi malých koncentracích [1, 2, 3]. Jedná se zejména o pesticidní látky, zbytky farmak (analgetika, antikoncepce či psychofarmaka) i další látky, pro které se vžil souhrnný název „mikropolutanty". Jelikož tradiční způsoby úpravy vody nejsou pro eliminaci mikropolutantů dostatečně účinné, masivně se rozšiřuje nasazení dalšího stupně úpravy založeného na oxidačních procesech a nakonec na filtraci přes zrnité (granulované) aktivní uhlí (GAU). V těchto vodárnách je sorpční filtr použit vždy v konečné fázi čištění vody a můžeme říci, že přes něj protéká téměř čistá voda.

Zcela jiná je ale situace na úpravě vody Káraný, kde čištění vody v konečné fázi její úpravy (po odběru z podzemí) není z praktických důvodů dost dobře možné. Jedinou technologií je zde filtrace říční vody z Jizery na pískových filtrech. Právě jejich částečná konverze na filtry s GAU je zde prakticky jediným možným opatřením. Aplikace sorpčního stupně by zde proto byla velmi specifická a není možné přenést zkušenost z jiných typů úpraven pitných vod, ani rozhodnout o tom, zda by vůbec byla proveditelná za přijatelných parametrů. Teoretické i laboratorní poznatky o sorpčních procesech navíc již ve fázi těchto prvotních úvah spíše vedou ke značné skepsi nad diskutovaným řešením. Přesto, s vědomím určité pokory k lidskému poznání i přírodě, bylo přistoupeno k praktickému ověření využitelnosti sorpce na GAU přímo v podmínkách vodárny, a to v maximálním možném přiblížení reálným provozním podmínkám. Provoz, velmi pečlivě monitorovaný, probíhal po dobu 2 let (6/2021 – 7/2023). Následovalo ověření proveditelnosti reaktivace GAU a celkové vyhodnocení.

2. PARAMETRY A REALIZACE DLOUHODOBÉHO TESTOVÁNÍ

Testy byly realizovány přímo vedle stávajících pískových filtrů. Jednalo se o 3 plastové kolony, které byly osazeny vždy 5 ti tlakovými čidly, průtokoměry, elektromagnetickými regulačními ventily a trvalým sběrem elektrochemických dat na vstupu i výstupu (pH, ORP, konduktivita

a teplota). Kolony byly naplněny různým aktivním uhlím (určeným pro výrobu pitné vody) a byly na sobě navzájem zcela nezávislé, vyjma společného přívodu vody.
Zařízení bylo vybaveno řídícím PLC a počítačem pro vzdálený přístup a sběr/záznam dat. Průtok každou kolonou byl udržován konstantní automaticky PID regulací. Trasy vody za kolonami až po odběr vzorků na rozbory byly vyvedeny v nerezové oceli pro minimalizaci vlivu materiálů na výsledek analýz stopových koncentrací mikropolutantů. Zařízení bylo vybaveno pro provádění praní náplní aktivního uhlí vzduchem a/nebo vodou. Trasy prací vody byly rovněž nezávislé, každá se svým čerpadlem pro zamezení případného ovlivnění vrstvy aktivního uhlí vodou pocházející z jiné kolony. Při odstavení provozu, čili zastavení průtoku nátokové vody, došlo k automatickému uzavření ventilů pod kolonami, čili aktivní uhlí zůstávalo vždy závodněno pod maximální hladinou vody v kolonách.
Poloprovozní testování probíhalo po dobu 757 dní v režimu 24/7 s trvalou vzdálenou kontrolou cca 2 – 3 x denně. Základní parametry jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tab. 1. *Základní parametry realizovaného testu*

Výška kolon	300 cm
Výška náplně GAU	~190 cm
Průměr kolon	14 cm
Surovina pro GAU v koloně A (1) / hmotnost / hustota vrstvy	kokosové skořápky / 13,3 kg / 0,46 kg/l
Surovina pro GAU v koloně B (1) / hmotnost / hustota vrstvy	černé uhlí / 14,2 kg / 0,50 kg/l
Surovina pro GAU v koloně C (1) / hmotnost / hustota vrstvy	lignit / 10,2 kg / 0,35 kg/l
Zdroj vody	filtrovaná voda z kanálu FV (1–6)
Doba provozu zařízení celková	27. 6. 2021 – 25. 7. 2023 (757 dní)
Doba provozu mimo odstávky*	~500 dní (cca 66 % celkové doby)
Celkový proteklý objem vody kolonami	A: 750,3 m^3; B: 759,5 m^3; C: 757,5 m^3;
Celkový proteklý počet objemů lože kolonami	A: 25 578; B: 25 892; C: 25 824
Průtok vody kolonou A, B, C (PID regulace)**	1,03 l/min ± 10 %
Filtrační rychlost v koloně (A, B, C)	4 m/h (vztaženo na lože bez náplně)
Doba zdržení vody v koloně (A, B, C)	12,9 min
EBCT v koloně (A, B, C)	28,7 min
Počet provedení praní kolon (A, B, C)***	10–11 (celkem za celou dobu provozu)
Hydraulické parametry přibližně odpovídají situaci, kdy by vodárna nahradila 25 % pískových filtrů zrnitým aktivním uhlím (GAU) a celkovému výkonu 400 l/s při 100% nátoku vody na filtry s GAU.	

**) Od září 2021 (čili po 2 měsících zkušebního provozu) bylo testovací zařízení provozováno tak, že při delším odstavení vodárny Káraný byl vždy po cca 2–3 dnech přerušen také provoz kolon (ponechány zavodněny), čili provoz kolon s GAU odpovídal případnému budoucímu režimu provozu GAU v provozním měřítku. Cca 2–3 dny provozu kolon navíc po odstavení vodárny sloužily pro vyšší vytěžení projektového času k testům (zdrojem byla filtrovaná voda v kanále FV, kde je jí dostatečná zásoba a během 2–3 dní se nepředpokládají její změny); z provozních a technických důvodů není hodnota pro všechny kolony zcela totožná, je však velmi podobná;*

***) Vyjma tří dvoudenních testů při různých průtocích (6/2021; 9/2021 a 10/2022);*

****) Praní bylo provedeno pouze v případě poklesu průtoku vody kolonou pod požadovanou hodnotu při již plně otevřeném regulačním ventilu, případně po neplánovaném vytečení kolony z důvodu nahodilé události – ve většině případů tyto situace nastaly současně či podobně u všech kolon; Praní proto bylo provedeno většinou pro všechny kolony v daný den. Největší odolnost proti kolmataci vrstvy byla pozorována v koloně B, kdy ve dvou případech praní nebylo nutné, nicméně bylo spolu s dalšími kolonami provedeno.*

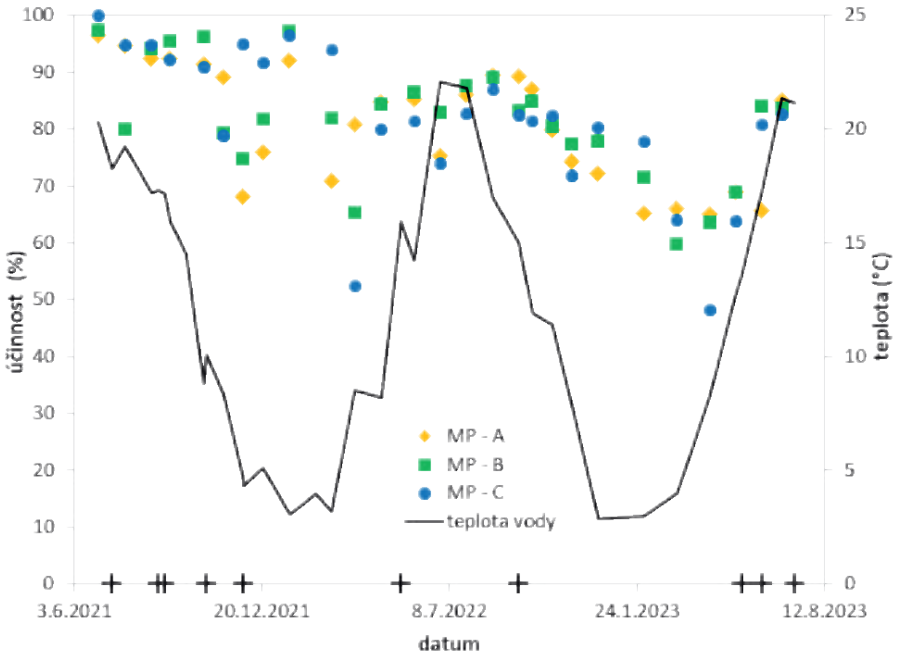
3. OVĚŘENÍ REAKTIVACE NÁPLNÍ KOLON

Po dokončení sorpčních testů byly všechny 3 typy GAU zkušebně reaktivovány. Použito bylo zařízení na principu vsádkové rotační pece umožňující testy do teplot 900 °C, definovaný přídavek páry, monitoring složení odplynů a kvantitativní určení úbytku GAU. Reaktivace všech

GAU byla provedena při teplotě 700 °C po dobu 20 minut. Nejedná se o parametry optimalizované pro každé GAU a obecně platné, ale o parametry, které již vedou k dobré reaktivaci za malých ztrát GAU (toto je známo z vlastních testů a výzkumů v minulosti na řadě různých GAU). Hledání optimálních parametrů nebylo možné vzhledem k omezenému množství GAU z kolon, čili byly použity uvedené parametry, které byly v minulosti v řadě případů shledány výhodnými.

4. VÝSLEDKY

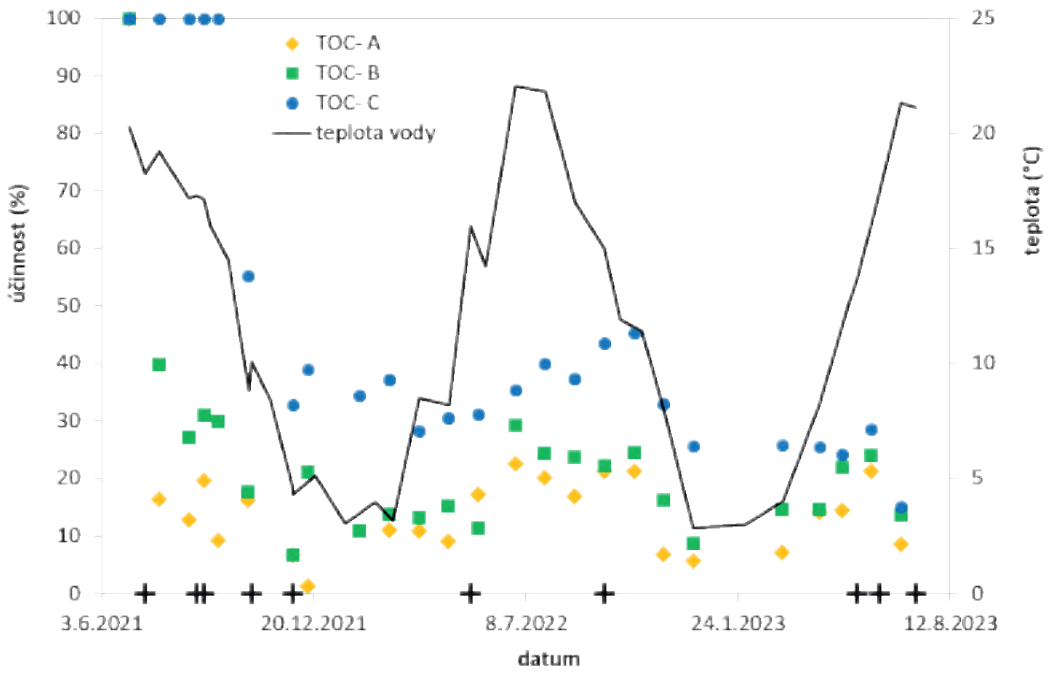
Analyticky bylo sledováno celkem 234 mikropolutantů. Ve vodním zdroji, resp. vodě po pískové filtraci, však bylo během dvou let testování potvrzeno „jen" celkem 31 mikropolutantů, jejichž výskyt lze označit jako běžný, resp. nikoli občasný nebo nahodilý. Jedná se o látky ze skupiny pesticidů (vč. jejich relevantních a nerelevantních metabolitů dle Metodického doporučení SZÚ pro hodnocení relevantnosti metabolitů pesticidů v pitné vodě ze dne 27. 6. 2023) a ostatní mikropolutanty. Výsledky testování jsou znázorněny na Obr. 1.



Obr. 1. *Účinnost odstranění sumy všech prokázaných mikropolutantů (po vyloučení náhodných či odlehlých hodnot); značky na ose x označují provedené praní GAU.*

Z hlediska veškerých mikropolutantů bylo zjištěno, že jejich suma v nátokové vodě na vstupu do testovacích kolon s GAU byla mezi 2 a 7 µg/l s patrným sezónním trendem čili vyšší koncentrací v letních obdobích. Podstatné je uvést, že drtivou část sumy všech mikropolutantů (více než 80 %) představují jiné látky, než pesticidy a jejich metabolity. Výsledky naznačují, že sezónní vliv se projevuje i co do účinnosti adsorpce na GAU, kdy účinnost v letních obdobích byla nejvyšší, a to i po dvou letech provozu. Díky tomu se obsah sumy veškerých mikropolutantů po adsorpci vždy pohyboval do cca 1 µg/l, a to právě i v letních obdobích čili při vyšší vstupní koncentraci. Příčiny tohoto (z praktického pohledu pozitivního) jevu mohou zřejmě souviset s teplotou vody, resp. s kinetikou dílčích procesů při adsorpci na GAU, kdy v ledové vodě (až blízko 0 °C) probíhá např. difúze podstatně pomaleji než v letním období s teplotou vody nad 20 °C. I po dvou letech provozu se tak účinnost z hlediska sumy všech mikropolutantů v letních měsících pohybovala nad 80 %. Po prvotních očekáváních velmi rychlého nasycení sorpční kapacity GAU (při zahájení projektu) se jedná o překvapivě pozitivní výsledek.

Suma pesticidů a jejich relevantních metabolitů se v průběhu dvou let v nátokové vodě pohybovala vyjma letních měsíců pod 500 ng/l. Účinnost jejich odstranění sorpcí na GAU byla po celou dobu testů jen omezená a pohybovala se max. do 50 %. Zejména v nátoku běžně obsažená látka AMPA byla díky své povaze (malá, velmi polární molekula) na GAU adsorbována, vyjma počátečních několika měsíců, zcela minimálně.
Ostatní individuální mikropolutanty se při adsorpci na GAU chovaly různě, přičemž většinou byly velmi účinně odstraňovány (jak plyne z účinnosti odstranění sumy všech mikropolutantů). Příkladem výjimky může být léčivo Metformin, jehož účinnost odstranění v čase setrvale klesala až k nízkým hodnotám při blížícím se konci testů.
Vhodné je zmínit se o chování GAU vůči přirozeným organickým látkám obsaženým v nátokové vodě ve zhruba 1000 x vyšší koncentraci nežli mikropolutanty (viz Obr. 2.).



Obr. 2. *Účinnost odstranění TOC; značky na ose x označují provedené praní GAU.*

Účinnost odstranění organického uhlíku (TOC) byla po celou dobu menší než 30–40 %. Výjimkou bylo prvních několik měsíců provozu GAU v koloně C, kdy byl TOC odstraňován s výstupními koncentracemi pod mezí stanovitelnosti. Při hodnocení celého dvouletého provozu je však patrné, že GAU se vůči mikropolutantům chovala v podstatě selektivně, kdy drtivou většinu z nich odstraňovala podstatně účinněji než TOC, ačkoli jeho obsah byl o 3 řády vyšší. Jde do značné míry o rozpor s teoretickými poznatky o sorpčních procesech, ze kterých plyne spíše zcela opačné očekávání, totiž že sorpční kapacita GAU se přirozenými organickými látkami v nátokové vodě rychle vyčerpá a sorpční proces bude za krátko zcela neúčinný. Důvod určité selektivity GAU vůči mikropolutantům by bylo možné hledat ve struktuře, pravděpodobně velmi polárních, přirozených organických látek v říční vodě (s nízkou afinitou k povrchu GAU), nicméně podrobnější komentář či vysvětlení poskytnout nelze. Mimo tyto úvahy se rovněž nabízelo riziko, že přirozené organické látky mohou mikropolutanty „maskovat" tvorbou komplexních sloučenin a bránit tak jejich adsorpci na povrchu GAU, ovšem ani toto se nepotvrdilo. Jedná se tedy o prakticky velmi pozitivní zjištění, které je i vědecky velmi zajímavé a zasloužilo by podrobné zkoumání. Mimo to výsledky prokazují omezenou možnost podchytit reálné chování technologií laboratorními testy a potvrzují často nezastupitelnou úlohu testování v reálných provozních podmínkách, které například ve zde popisovaném případě laboratorně

simulovat prakticky není možné (dlouhodobé změny teplot, proměnnost složení vody, její stabilita při případném skladování, provozní odstávky vodárny atd.).
Účelné je zhodnotit chování různých typů GAU. V oboru vodárenství se často pracuje s předpokladem, že mikroporézní GAU, typicky vyrobená z kokosových skořápek (zde A), jsou méně vhodná kvůli malému podílu mezopórů zajišťujících transportní funkci mezi okolní kapalinou a mikropóry, kde dochází k vlastní sorpci [4]. Uvedený rozdíl v distribuci pórů je patrný zejména u GAU A a B. V případě GAU C byla prokázána celkově rozvinutější porézní struktura, jak v oblasti mikro, tak i mezopórů, s vyšším specifickým povrchem dle BET (více než 1100 m^2/g). GAU C proto mělo teoreticky předpoklady k nejlepším výsledkům. Faktem však je, že jeho praktickou nevýhodou je menší sypná hmotnost (tj. 0,35 kg/l oproti běžným 0,45 – 0,5 kg/l u GAU A a B). Celkový specifický povrch vztažený na objem vrstvy GAU tak nakonec vychází pro GAU C menší než v případě GAU A a B. Srovnáme-li celkové výsledky z dvouletého poloprovozního testování všech tří GAU v reálných podmínkách na vodárně Káraný, jsou rozdíly oproti výše vysvětleným očekáváním jen málo významné. GAU C vykazovalo po celou dobu nejvyšší účinnost vůči TOC (v počáteční fázi byl odstraňován až pod mez stanovitelnosti), nicméně celkově rozdíl nebyl významný a toto zjištění je však nakonec spíše nevýhodou, protože naopak u GAU C byl po skončení testů zaznamenán nejvyšší pokles specifického povrchu čili vyčerpávání sorpční kapacity. Rovněž očekávaná horší účinnost mikroporézního GAU A se nepotvrdila. Naopak, například vůči Metforminu prokázalo dlouhodobě účinnost nejlepší. Celkově lze konstatovat, že čistě z hlediska snížení obsahu mikropolutantů ve vodě nebyl mezi testovanými GAU prokázán žádný natolik významný rozdíl, který by některý typ jednoznačně favorizoval.
Další zkušeností byla odolnost GAU vůči vzniku tlakové ztráty čili kolmataci, buď koloidními nerozpuštěnými látkami přítomnými v říční vodě i po pískové filtraci, bublinami plynu a/nebo narostlou biomasou. Všechna GAU kolmataci odolávala velmi dobře a nutnost praní z důvodu vůbec možného obnovení/udržení požadovaného průtoku vody byla nutná během celého testovacího období dvou let s následující četností: A 5x, B 3x a C 6x. Uvedené počty jsou však zjednodušením, i subjektivně hodnoceno, GAU C mělo odolnost vůči kolmataci nejmenší. Vizuálně i z loggerů tlaku bylo patrné, že se jedná o kolmataci v podstatě na prvních centimetrech vrstvy, kde se zakoncentroval vysoký podíl nejjemnější zrnitostní frakce GAU C z fáze plnění kolony, i během praní.

Ověření reaktivace náplní kolon

Při ověření reaktivace došlo obnovení sorpčního povrchu všech GAU až na hodnoty blízké běžným novým GAU pro dané účely, kdy povrch dle BET byl přibližně 940 m^2/g. Zrnitostní složení GAU i sypná hmotnost zůstaly i po reaktivaci téměř nezměněny, čili nedošlo ve větší míře k rozpadu a/nebo otěru.
Ztráty GAU reaktivací činily hmotnostně 11,5 % (A a B), resp. 14,5 % (C). Tato hodnota je ve srovnání s předchozími zkušenostmi s podobnými testy, při teplotě 700 °C, vcelku vysoká, avšak byla očekávána vzhledem k historii GAU (dva roky provozu v říční vodě). Ve srovnání s přibližně určeným nárůstem hmotnosti GAU během testů na vodárně adsorpcí organických látek a kovů z vody a případně nárůstem biomasy okolo 50–80 g/kg (čili 5–8 %), byl zjištěný úbytek hmotnosti reaktivací větší. Hodnoty však z různých důvodů nelze přímo porovnávat, protože každá odráží jiný typ příměsí v GAU, resp. způsob jejich kvantifikace, a obě jsou orientační. K úbytku reaktivací přispívá například i rozklad uhličitanů a zplynění pyrolýzních zbytků adsorbovaných organických látek i vlastní uhelné matrice. K posouzení ztráty vlastního GAU může být vhodnější úbytek jeho objemu, byť je určen hodnotou sypné hmotnosti GAU, jejíž stanovení může být zdrojem dalších nejistot. Úbytek objemu byl však zjištěn pouze mezi 1–3 %.
Z hlediska dalších vlastností GAU po reaktivaci lze zmínit zejména obsah popela a zinku. Oba tyto parametry jsou v GAU limitovány (Vyhláška č. 409/2005 Sb.), a to 15 %, resp. 20 mg/kg. Bez problému vyhovělo GAU A. GAU B vykázalo vyšší obsah zinku a GAU C překročilo limit v obou parametrech. Zejména do obsahu popela se podstatně propisuje jeho obsah již

v novém GAU, který byl u GAU C násobně vyšší oproti GAU A. Důvod limitace popela v GAU je zřejmě spíše jakostní, čili je předčasné vylučovat např. GAU C kvůli jeho mírnému překročení. Stran zinku je situace nejasná, protože ten je jako jediný prvek limitován přímo v reaktivovaném GAU. Ve světle faktu, že naopak není vůbec limitován v pitné vodě vyjma nápojových automatů, je jeho velmi přísný limit v sušině reaktivovaného GAU vcelku nepochopitelný. Jedná se zřejmě o nedopatřením převzatý a předepsaný parametr také pro reaktivované GAU. V novém GAU je limitován s cílem vyloučit z trhu GAU chemicky aktivovaná pomocí $ZnCl_2$ (jedná se však již o historickou záležitost), což je logické opodstatnění.

5. ZÁVĚRY

Všechna tři testovaná GAU byla srovnatelně účinně schopna snižovat obsah mikropolutantů ve vodě po dobu 2 let, a to až o 80 % v letním období, kdy byla účinnost nejlepší. Pozorován byl podstatný vliv teploty, kdy v zimním období účinnost klesala, nicméně bez dopadu na výstupní koncentrace díky menším koncentracím vstupním.
Všechna GAU se chovala vůči mikropolutantům ve srovnání s přirozenými organickými látkami částečně selektivně, kdy účinnost snížení TOC byla jen cca 30–40 %.
Nepotvrdil se v oboru vodárenství zmiňovaný předpoklad/poznatek, že mikroporézní GAU, vyrobená z kokosových skořápek, jsou méně vhodná.
GAU vykázaly dobrou odolnost vůči kolmataci s nutností praní pro obnovení průtoku méně než 10x za celé dva roky testů.
Všechna tři GAU po dvouletém cyklu bylo možné reaktivovat. Při teplotě procesu 700 °C / 20 minut byl obnoven sorpční povrch na hodnoty blízké novým GAU. Zachovány zůstaly zrnitostní složení i sypná hmotnost. Ztráta GAU činila cca 13 % hmotnostně (převážný podíl jde na vrub látek adsorbovaných z vody) a 2 % objemově.

V současné době jsou ve fázi zahájení navazující testy, kdy za identických podmínek vodárny Káraný bude testována sorpce na všechna tři GAU po provedené reaktivaci. Laboratorně budou testovány inovativní metody pro hodnocení jeho vlastností ve vztahu k různým typům mikropolutantů.

PODĚKOVÁNÍ

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Prostředí pro život (projekt SS01020063 a SS07020146)

SEZNAM LITERATURY

1. V. Kodeš a kol.: Podzemní voda: směs pesticidů a ostatních cizorodých látek nebo osvěžující tekutina?, Sborník konference Pitná voda 2018, Tábor, 28. 5. – 31. 5. 2018
2. M. Liška a kol.: Výskyt pesticidů v drenážních a povrchových vodách, Sborník konference Pitná voda 2018, Tábor, 28. 5. – 31. 5. 2018
3. M. K. Kim, K. D. Zoh: Occurrence and removals of micropollutants in water environment, Environ. Eng. Res. 2016; 21(4), 319–332
4. J. A. Menendez-Diaz, I. Martln-Gullonb: Types of carbon adsorbents and their production, chapter in Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation, Edited by Teresa J. Bandosz, Elsevier, 2006, ISBN: 9780123705365

PESTICIDNÍ LÁTKY VE VD VRCHLICE A JEJICH ODSTRAŇOVÁNÍ OZONIZACÍ A GAU FILTRACÍ NA ÚV U SVATÉ TROJICE V KUTNÉ HOŘE

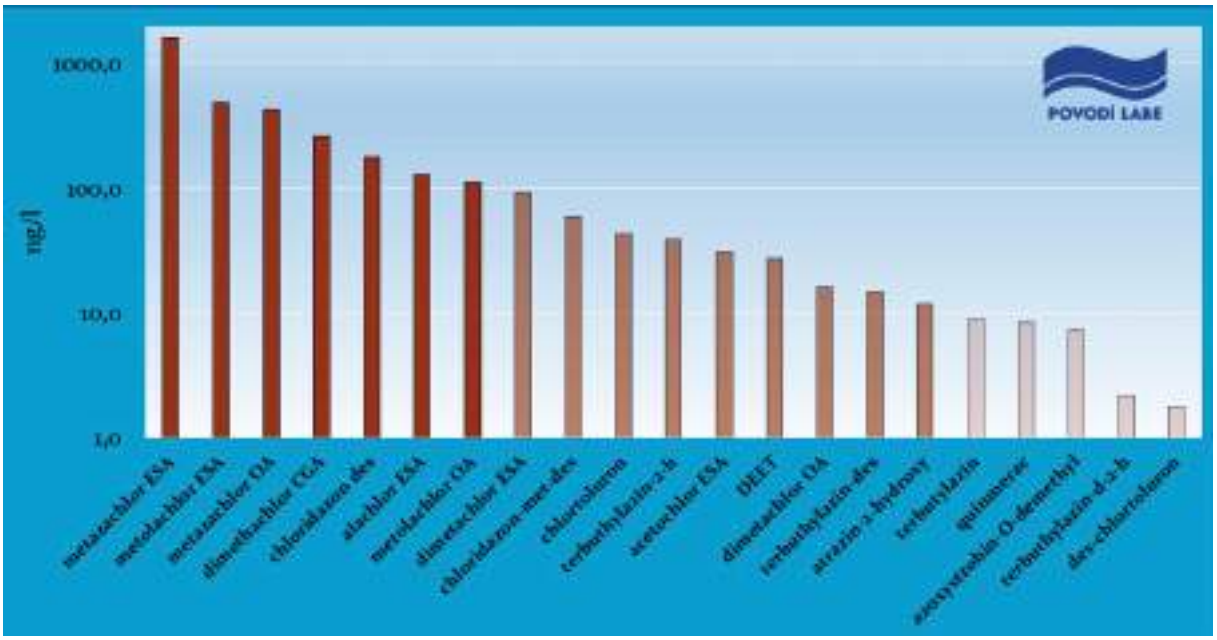
Ing. Ladislava Hatáková [1], **Ing. Jiří Beneš** [2]

[1] *Vodohospodářská společnost Vrchlice-Maleč, a.s.*
[2] *DISA s.r.o.*
e-mail: hatakova@vhskh.cz

1. NÁDRŽ VD VRCHLICE

Zdrojem vody pro Úpravnu vody (ÚV) U Svaté Trojice je povrchová voda z nádrže VD Vrchlice patřící pod Povodí Labe. Nádrž byla uvedena do provozu v roce 1975 a je unikátní svou klenbovou hrází, která je jediná v České republice. Celkový objem nádrže je 8 322 000 m^3, plocha nádrže je 1,028 km^2, průměrná hloubka je 31,6 m a teoretická doba zdržení je 210 dní. V okolí nádrže dochází k zemědělské činnosti (Obrázek 1), plocha zemědělské půdy v povodí nádrže je 59 km^2. Zemědělství je nejvýznamnějším zdrojem znečištění prostředí pesticidními látkami. I při dodržení správné zemědělské praxe se na rostlinu dostane pouze 65 % aplikovaného pesticidu [1]. Zbytek pesticidu se dostává na půdu a úletem do vzduchu, v prostředí pak dochází k jeho migraci, degradaci a přeměně na metabolity pesticidů. Z tohoto důvodu jsou ve vodě z nádrže VD Vrchlice ve významném množství nacházeny pesticidní látky. V nejvyšších koncentracích se v nádrži v průběhu let 2022–2023 vyskytovaly pesticidní látky *Metazachlor ESA*, *Metolachlor ESA*, *Metolachlor OA*, *Dimetachlor CGA*, *Chloridazon-desfenyl*, *Alachlor ESA* a *Metazachlor OA* (Obrázek 2). I přes vysokou samočistící schopnost nádrže se pro úpravu vody na ÚV U Svaté Trojice používá surová voda s významnými koncentracemi pesticidních látek.

Obrázek 1: *Letecký snímek nádrže VD Vrchlice.*



Obrázek 2: Průměrné koncentrace pesticidních látek v nádrži VD Vrchlice v průběhu let 2022–2023 v profilu u hráze.

2. OZONIZACE A FILTRACE NA GRANULOVANÉM AKTIVNÍM UHLÍ

Pro odstraňování organických mikropolutantů, mezi které patří i pesticidní látky, z upravované vody existuje několik nástrojů s různými mechanismy. Patří mezi ně ozonizace, filtrace na granulovaném aktivním uhlí nebo úprava využívající pokročilé oxidačními procesy (AOP). Při pokročilých oxidačních procesech je generován aktivní hydroxylový radikál, který účinně oxiduje mikropolutanty [2]. Pro úpravu vody jsou nejčastěji používány kombinace ozon a UV záření, ozon a peroxid vodíku, UV záření a peroxid vodíku.

Ozon je jedním z nejstarších dezinfekčních činidel používaných ve vodárenství. První kontinuální ozonizace pitné vody v Evropě byla zprovozněna již koncem 19. století, na území České republiky pak začátkem 20. století. V současnosti má ozon pro své oxidačně dezinfekční účinky široké využití, přičemž v České republice se využívá zejména při úpravě pitných vod, ale vzhledem k novým trendům v čistírenství, lze jeho budoucí potenciál spatřovat i při čištění odpadních vod, a to právě při likvidaci mikropolutantů.

Reakcí ozonu s mikropolutanty dochází k jejich oxidaci a tvorbě jednodušších organických sloučenin. Ty jsou již hůře odstranitelné ozonizací, ale mikroorganismy je mohou využívat jako zdroj uhlíku. Takto může docházet ke zvýšení ukazatele AOC (Assimilable Organic Carbon), což ve svém důsledku může ovlivnit biologickou stabilitu upravované vody. Nejen proto bývá zařazována za stupeň ozonizace filtrace na granulovaném aktivním uhlí [3].

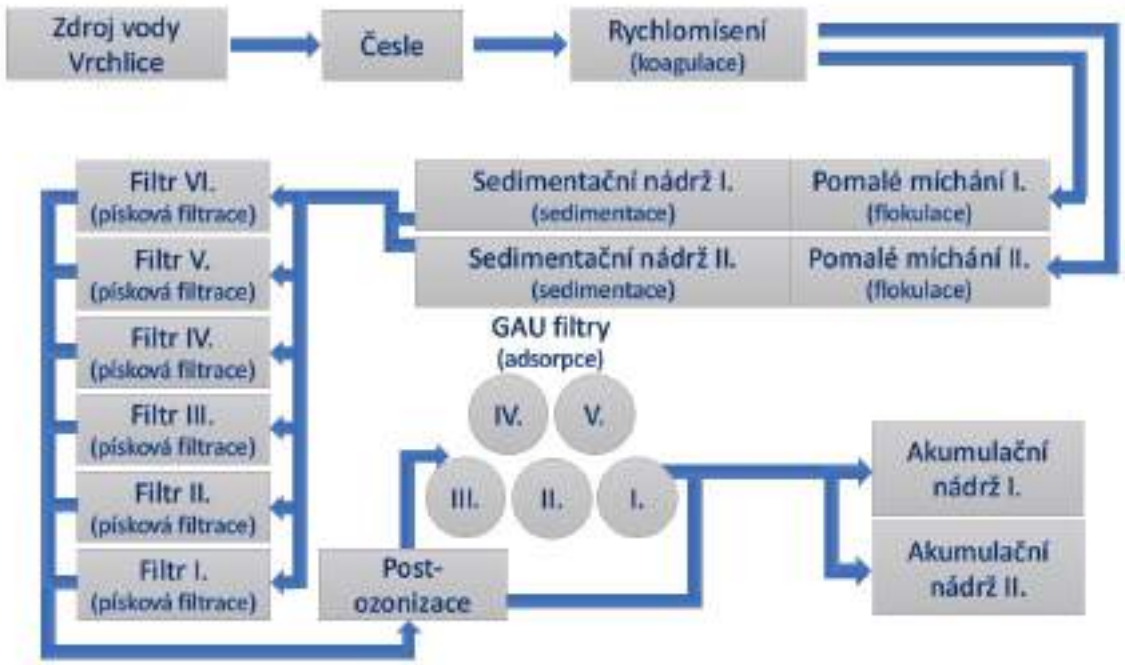
Granulované aktivní uhlí (GAU) je vysoce porézní materiál, který má obrovský vnitřní povrch. Díky tomu je schopné adsorbovat široké spektrum látek, včetně zbytků rozložených organických látek. Po filtraci na granulovaném aktivním uhlí získáváme vodu, která je nejen bezpečná z hlediska odstranění mikropolutantů, ale také biologicky stabilní, díky adsorpci nebo asimilaci/biodegradaci biologicky snadno rozložitelných organických sloučenin.

3. ÚPRAVNA VODY U SVATÉ TROJICE V KUTNÉ HOŘE–OZONIZACE A FILTRACE NA GRANULOVANÉM AKTIVNÍM UHLÍ

Na ÚV U Svaté Trojice v Kutné Hoře byl stupeň ozonizace poprvé zprovozněn v roce 1995. Dvě ozonizační jednotky OKM-1500 vyráběly ozon z vysušeného vzduchu. K postozonizaci upravené vody za stupněm pískové filtrace docházelo dávkováním ozonu přímo do reakční nádrže směšovacími hlavicemi ve směšovacích roštech. Nevýhodou tohoto systému byla nízká účinnost přeměny vzduchu na ozon (2–3 %) a s ní spojená vysoká energetická náročnost výroby ozonu (15–20 kWh/1 kg vyrobeného ozonu).

V roce 2014–2015 prošla ÚV U Svaté Trojice rekonstrukcí a intenzifikací technologie. Do technologie byly instalovány dva generátory ozonu řady WEDECO SMOevo 410 vyrábějící ozon z čistého kyslíku. K dávkování ozonu do vody nyní dochází s využitím statických mísičů technologie GDS Statiflo a upravovaná voda až poté putuje do reakční nádrže. Tím dochází k vyšší účinnosti rozpouštění ozonu ve vodě, a díky tomu lze dosáhnout lepších výsledků oxidačního procesu. Generátory mohou vyrábět ozon v rozsahu koncentrací 6–15 hm. %. Vhodným výběrem optimální koncentrace O_3/O_2 lze snížit spotřebu elektrické energie na výrobu ozonu (7–10 kWh/1 kg vyrobeného ozonu). Nový systém ozonizace, kromě zvýšení účinnosti ozonizace a snížení energetických nákladů, poskytuje i detailnější informace o vlastním procesu ozonizace. Kontinuálně se měří koncentrace ozonu v kyslíku, průtok kyslíku, automaticky se reguluje námi zadaná dávka ozonu vzhledem k výkonu úpravny vody a měří se koncentrace ozonu ve vodě. V roce 2016 byl za stupeň ozonizace zařazen i stupeň filtrace na granulovaném aktivním uhlí. Do provozu bylo instalováno 5 tlakových filtrů Culligan GAC 120 s granulovaným aktivním uhlím. Aktuálně používanou náplní filtrů je Filtrasorb TL830.

Systémem úpravy vody na ÚV U Svaté Trojice, kdy za stupeň ozonizace je zařazena GAU filtrace (Obrázek 3), je úpravna schopna z vody účinně odstranit mikropolutanty (pesticidní látky) a vyrábět kvalitní pitnou vodu, která je biologicky stabilní.



Obrázek 3: Technologické schéma ÚV U Svaté Trojice v Kutné Hoře.

4. LEGISLATIVA A PESTICIDNÍ LÁTKY

Současným trendem v úpravě vody a ve sledování její kvality jsou mikropolutanty. Dochází k zařazování nově sledovaných látek i ke zpřísňování limitů pro již sledované látky. To se týká i pesticidů a jejich metabolitů. Pro pesticidní látky a jejich relevantní metabolity, které mohou mít stejné negativní účinky na lidský organismus jako mateřská látka, platí limitní hodnota 0,1 µg/l. Pro nerelevantní metabolity, které by neměly mít škodlivé účinky jako mateřská látka, je limitní hodnota vyšší (jednotky µg/l).

V průběhu let 2022 a 2023 došlo k několika legislativním změnám u pesticidních látek, které se vyskytují v nádrži VD Vrchlice. V roce 2022 začal být nově sledován *Dimetachlor CGA* jako relevantní metabolit pesticidů a v roce 2023 byly *Metolachlor ESA* a *Metolachlor OA* přeřazeny ze skupiny nerelevantních metabolitů pesticidů do skupiny relevantních metabolitů. U těchto pesticidních látek byla limitní hodnota stanovena na 0,1 µg/l a tu voda upravená na ÚV U Svaté Trojice pro *Dimetachlor CGA* a *Metolachlor ESA* nesplňovala.

Dimetachlor CGA byl následně v březnu 2023 zařazen mezi nerelevantní metabolity pesticidů s limitní hodnotou 6,0 µg/l. *Metolachlor ESA* a *Metolachlor OA* byly v červnu 2023 vráceny mezi nerelevantní metabolity pesticidů s limitní hodnotou 5,0 µg/l, ta je stanovena pouze na přechodné období, ve kterém by se úpravny a vodohospodáři měli připravit na opětovné zpřísnění limitních hodnot.

5. VLIV OZONIZACE NA ODSTRANĚNÍ PESTICIDNÍCH LÁTEK NA ÚV U SVATÉ TROJICE

Pro splnění přísnějších limitních hodnot bylo nutné se zamyslet, jak zajistit vyšší míru odstranění pesticidů z upravované vody.
Jednou z možností je prodloužení doby filtrace na granulovaném aktivním uhlí. To na ÚV U Svaté Trojice není možné, protože kapacita GAU filtrů neumožňuje delší dobu zdržení než používanou, a to 11,7 minuty. Další možností je změna dávky ozonu. Z toho důvodu byl v říjnu 2023 a v lednu 2024 ve spolupráci s firmou Disa proveden ozonizační pokus.

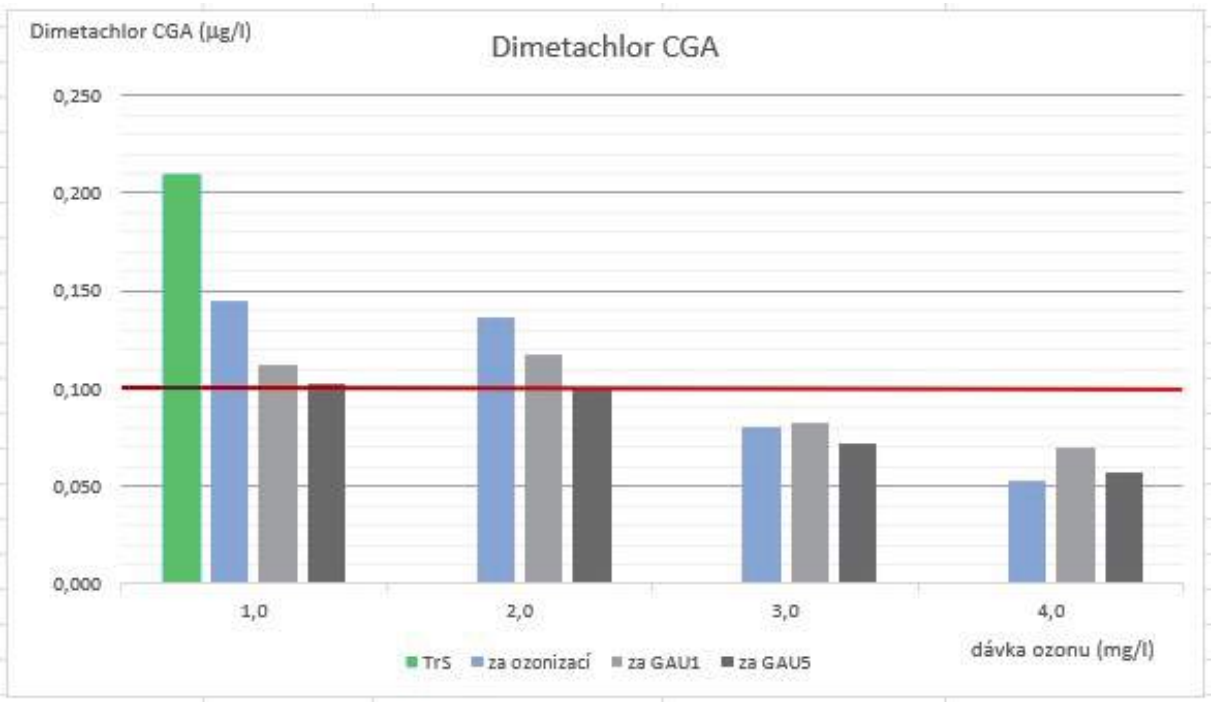
Na ÚV U Svaté Trojice je ozonizace zařazena za stupněm pískové filtrace (Obrázek 3). Dávkovaná koncentrace ozonu je 1,8 mg/l, doba zdržení v ozonizační nádrži je v průměru 90 minut. Dále je upravovaná voda filtrována na pěti tlakových filtrech s granulovaným aktivním uhlím Filtrasorb TL830. Doba zdržení na filtrech je 11,7 minut. Ve čtyřech GAU filtrech je náplň v provozu od března 2021. V GAU filtru číslo 5 je náplň v provozu od června 2022.
V rámci pokusu byla koncentrace pesticidů sledována na surové vodě (TrS), za ozonizační nádrží a po filtraci na filtru GAU 1 (starší náplň) a na filtru GAU 5 (novější náplň). Filtry GAU 1 a GAU 5 byly sledovány pro porovnání účinnosti odstranění pesticidů z upravované vody vzhledem ke stáří granulovaného aktivního uhlí.

Pro pokus byly vybrány čtyři dávky ozonu: 1, 2, 3 a 4 mg/l. Koncentrace ozonu 4 mg/l byla vybrána jako nejvyšší, jakou je možné vyrobit a nadávkovat stávajícím systémem ozonizace. Koncentrace pesticidů ve vodě byla analyzována laboratořemi ALS s uváděnou odchylkou měření ±30 %. Celkem bylo analyzováno 103 pesticidních látek, ze kterých bylo 18 nalezeno v surové vodě ve stanovitelné koncentraci.

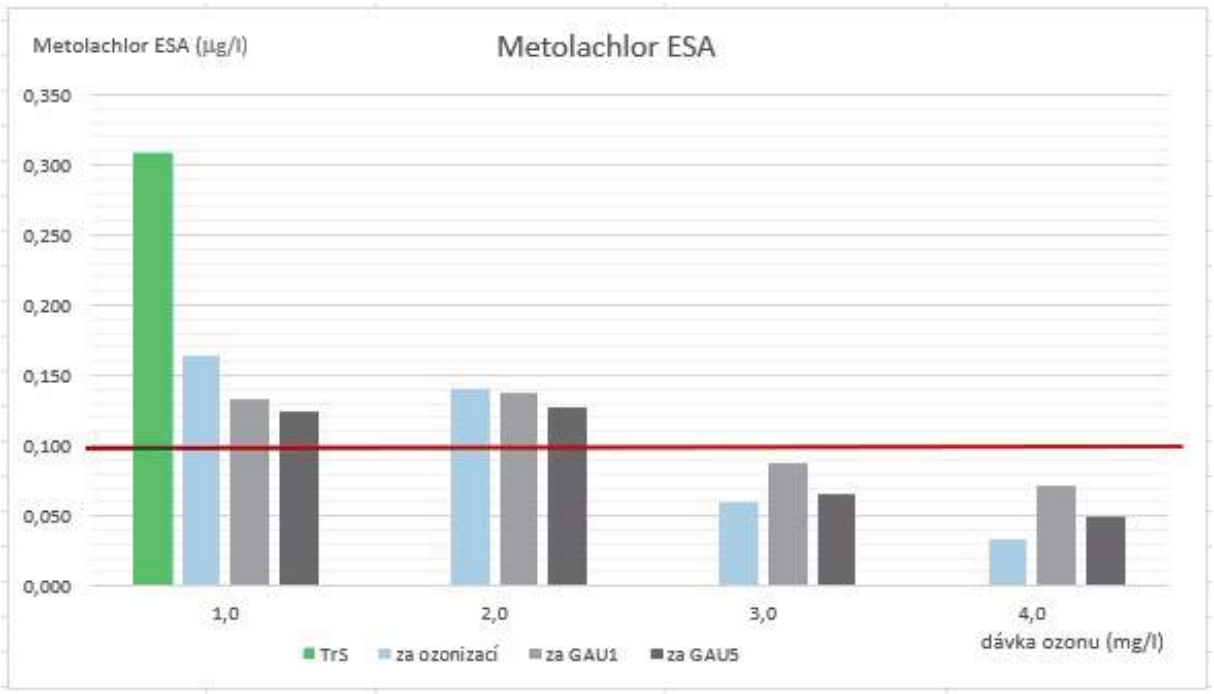
Tabulka 1: Zvýšení účinnosti odstranění pesticidů při zvýšení dávky ozonu.

	Účinnost odstranění pesticidů (%)					
dávka ozonu (mg/l)	Metazachlor ESA (%)	Metolachlor ESA (%)	Metolachlor OA (%)	Dimetachlor CGA (%)	Alachlor ESA (%)	Metazachlor OA(%)
2,0	61,3	58,8	65,2	51,7	58,3	60,6
3,0	82,6	78,6	77,1	65,6	79,2	82,3
zvýšení účinnosti	21,3	19,8	21,9	13,9	20,9	21,7

Získané výsledky ukázaly, že se zvyšující se dávkou ozónu se koncentrace pesticidů v upravované vodě snižuje. Koncentrace pesticidů byly porovnávány po ozonizaci a následné GAU filtraci na GAU 5. Nejvyšší pokles koncentrace pesticidů byl zaznamenán mezi dávkou ozonu 2 a 3 mg/l. Účinnost odstranění některých pesticidů z upravované vody se při zvýšení dávky ozonu z 2 na 3 mg/l zvýšila až o 21,9 % (Tabulka 1). Zatímco u zvýšení dávky ozonu z 1 mg/l na 2 mg/l došlo ke zvýšení účinnosti odstranění pesticidů o 1–2 % a při zvýšení dávky ozonu ze 3 mg/l na 4 mg/l došlo ke zvýšení účinnosti odstranění pesticidů o 5–7 %.



Graf 1: *Koncentrace pesticidu Dimetachlor CGA při různých dávkách ozonu za ozonizací a za GAU filtrem se starší náplní (GAU 1) a s novější náplní (GAU 5).*



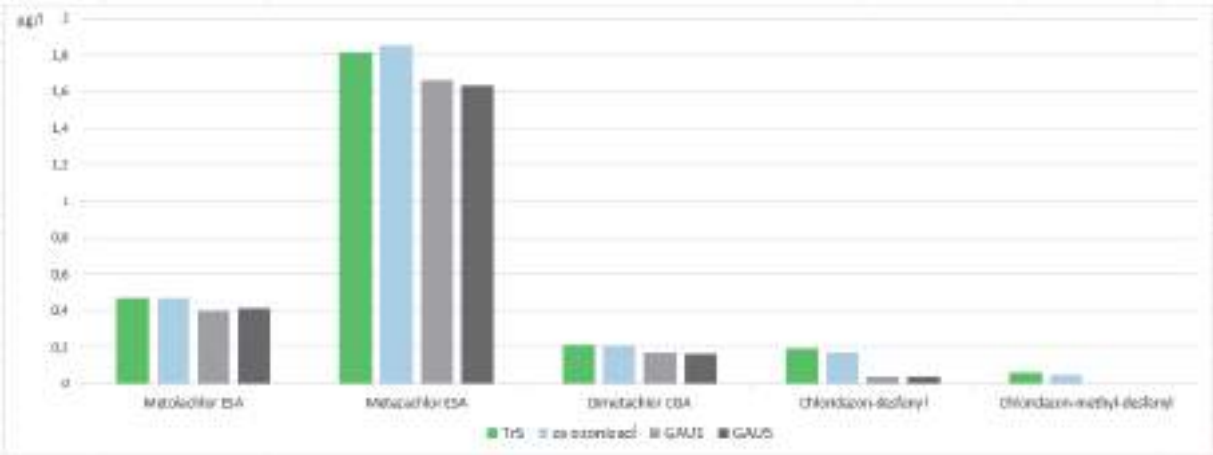
Graf 2: *Koncentrace pesticidu Metolachlor ESA při různých dávkách ozonu za ozonizací a za GAU filtrem se starší náplní (GAU 1) a s novější náplní (GAU 5).*

Dávka ozonu 2 mg/l s následnou filtrací na granulovaném aktivním uhlí nestačí pro splnění zpřísněného limitu 0,1 µg/l jak pro pesticid *Dimetachlor CGA* (Graf 1), tak v případě *Metolachloru ESA* (Graf 2). Po zvýšení dávky ozonu na 3 mg/l je úpravna schopna vyrábět vodu, která tento limit splňuje, a to dokonce už za procesem ozonizace, ještě před filtrací na GAU.

Přestože je rozdíl v účinnosti odstranění pesticidů u filtrů GAU 1 a GAU 5 v rámci jednotek procent, lze pozorovat jednoznačný trend snižování adsorpční účinnosti granulovaného aktivního uhlí v čase.

Pro zjištění vlivu samotné filtrace na granulovaném aktivním uhlí, bez příspěvku ozonizace, byl pokus v lednu 2024 doplněn o zkoušku s nulovou koncentrací ozonu. Pokus byl proveden ve stejném uspořádání jako v říjnu 2023.

Schopnost adsorpce granulovaným aktivním uhlím Filtrasorb TL830 se u jednotlivých pesticidních látek významně liší (Graf 3). U některých pesticidních látek (např. *Chloridazon-desfenyl*, *Chloridazon-methyl-desfenyl*) je účinnost odstranění na GAU filtrech vysoká (přes 80 %). Pro zajištění vyhovující kvality vody z pohledu těchto pesticidů by byla GAU filtrace dostačující. U dalších pesticidních látek (např. *Dimetachlor CGA*, *Metolachlor ESA*, *Metazachlor ESA*) dochází k adsorpci na GAU filtrech s nízkou účinností (10–20 %).



Graf 3: *Koncentrace pesticidů (Metolachlor ESA, Metazachlor ESA, Dimetachlor CGA, Chloridazon-desfenyl, Chloridazon-methyl-desfenyl,) při dávce ozonu 0 mg/l v surové vodě (TrS), za ozonizací a za GAU filtrem se starší náplní (GAU 1) a s novější náplní (GAU 5).*

6. ZÁVĚR

Existuje mnoho odborných publikací, které se věnují kombinaci ozonizace a filtrace na granulovaném aktivním uhlí, nicméně jejich drtivá většina pracuje s uměle připravenou vodou a s přidanými konkrétními mikropolutanty obvykle ve vyšších koncentracích, než je běžné v reálné pitné vodě. Účinnost ozonizace a adsorpce i jejich kombinace významně závisí na celkové kvalitě vody, vstupních koncentracích mikropolutantů a množství konkurenčních sloučenin. Například rozpuštěný organický uhlík (DOC – Dissolved Organic Carbon) konkuruje odstraňování mikropolutantů, jak během ozonizace, tak během filtrace na granulovaném aktivním uhlí. Proto tyto práce neposkytují zcela spolehlivé informace o kombinaci ozonizace a GAU filtrace v reálných podmínkách. Z tohoto důvodu je tato práce reálnou ukázkou fungování kombinace ozonizace a GAU filtrace na konkrétní úpravně se skutečným koktejlem mikropolutantů v environmentálních koncentracích a s reálným pozadím (DOC).

Z našich výsledků plyne, že schopnost adsorpce granulovaného aktivního uhlí Filtrasorb TL830 se významně liší u jednotlivých pesticidních látek. Pesticidní látky se složitější strukturou (*Dimetachlor*, *Metolachlor*, *Metazachlor*) je nutné nejprve odstranit ozonizací a na GAU filtraci snižovat zbytkové koncentrace, případně vzniklé produkty oxidace ozonem. Vzhledem k tomu, že ve vodě z nádrže VD Vrchlice se tyto pesticidní látky vyskytují ve vysokých koncentracích, je pro úpravu vody na ÚV U Svaté Trojice stupeň ozonizace klíčový.

Výrazný nárůst účinnosti odstranění pesticidů z upravované vody při zvýšení dávky ozonu pomůže ÚV U Svaté Trojice připravit se na zpřísňování limitních hodnot pro pesticidy. Výkonový potenciál ozonizačního stupně může navíc v budoucnu ÚV U Svaté Trojice pomoci při zvýšení účinnosti odstranění dalších sledovaných, zatím neregulovaných mikropolutantů jako jsou léčiva, produkty osobní péče, nebo látky narušující endokrinní systém.
Kombinace ozonizace a filtrace na granulovaném aktivním uhlí představuje robustní a flexibilní nástroj pro účinné odstranění mikropolutantů z upravované vody. Ozonizace snižuje zatížení náplně GAU filtrů a tím může prodloužit jejich životnost.

Úpravna vody U Svaté Trojice provozující ozonizaci s následnou filtrací na granulovaném aktivním uhlí má v rukou nejlepší dostupnou technologii pro odstranění organických mikropolutantů a je schopná vyrábět biologicky stabilní pitnou vodu nejvyšší kvality.

SEZNAM LITERATURY

1. VIEIRA, D. et. al. Pesticides residues in European agricultural soils. 2023. DOI 10.2760/86566
2. MEHMED, A. Oturan, AARON, Jean-Jacques. Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: principles and applications. 2014. Vol. 44, no. 23. DOI 10.1080/10643389.2013.829765
3. WANG, J. et. al. Production of micro-pollutants free and bio-stable drinking water,full paper from pilot testing, Singapore´s national water agency, 2016

HYDRAULICKÉ PROVZDUŠŇOVACÍ REAKTORY

Doc. Ing. M. Látal, CSc.

Mezicestí 2532/28, 628 00 Brno
e-mail: latal54@seznam.cz

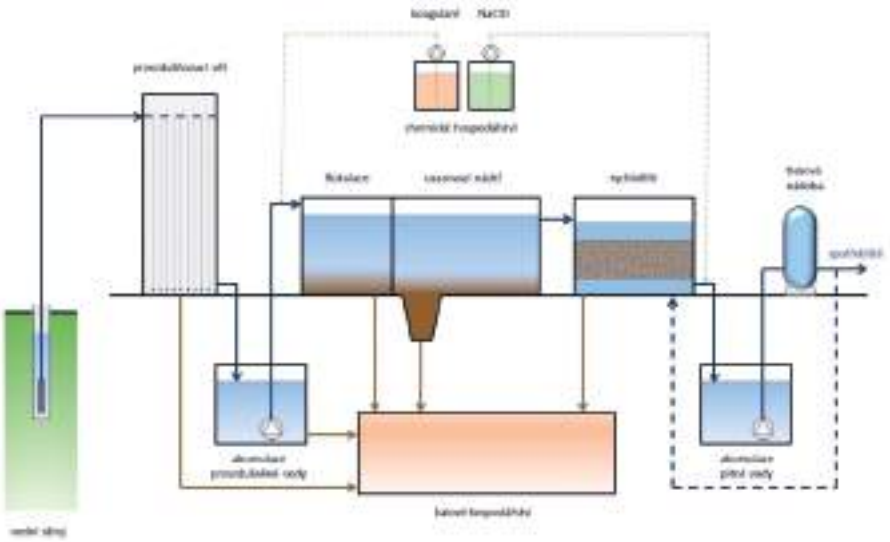
1. ÚVOD

Začátkem devadesátých let minulého století jsem začal projektovat hlavně rekonstrukce úpraven pitných vod. Zejména malé a středně velké úpravny z hlediska architektonicky stavebního řešení ve mně vyvolávaly zvláštní pocity a to proto, že z budovy každé úpravny vyčnívala vysoká (komínovitá) věž. Tyto stavební vysoké věže byly stavěny z důvodu v této době technologicky hojně používaných aeračních věží, vysokých kolem 5–6 metrů a vybavených převážně vlnovcovitými vestavbami k technologické aeraci surové vody v rámci realizované technologické linky celé úpravy na vodu pitnou.

V této době mě hned napadla myšlenka, že ke stejnému kvalitativnímu efektu provzdušnění surové vody může dojít nejen ve vertikálním, ale i v horizontálním směru, což může přinést velké úspory ve stavební části úpraven vod. A tak vznikly horizontální provzdušňovací reaktory, které jsem v průběhu dalších let v přímé vazbě na získané zkušenosti z již realizovaných reaktorů stále technicky a technologicky zdokonaloval k jejich stále vyšší aerační účinnosti.

2. VÝVOJ PROVZDUŠŇOVACÍCH REAKTORŮ

Jak bylo řečeno v úvodu tohoto příspěvku, dřívější technologie úpraven malých a středních úpraven pitných vod v technologickém (výškovém) schématu je graficky znázorněno na obr. 1, kde surová voda, většinou z podzemního zdroje byla čerpána do dominantní vysoké aerační věže, ze které provzdušněná voda natékala do podzemní meziakumulační nádrže, odkud byla znovu čerpána do flokulační nádrže, kam bylo zaústěno dávkování chemikálií podle charakteru surové vody. Z flokulační nádrže voda dále přetékala do usazovací nádrže a dále gravitačně na evropský rychlofiltr Za filtrací byla voda zdravotně zabezpečena převážně dávkováním chlornanu sodného. Takto upravená a zdravotně zabezpečená pitná voda byla akumulována v akumulaci a z ní v ideálním případě čerpána do vodojemu, situovaným nad spotřebištěm pro možnost gravitačního zásobování, v případě horších výškových poměrů bylo zásobování obyvatel prováděno pomocí AT stanice.

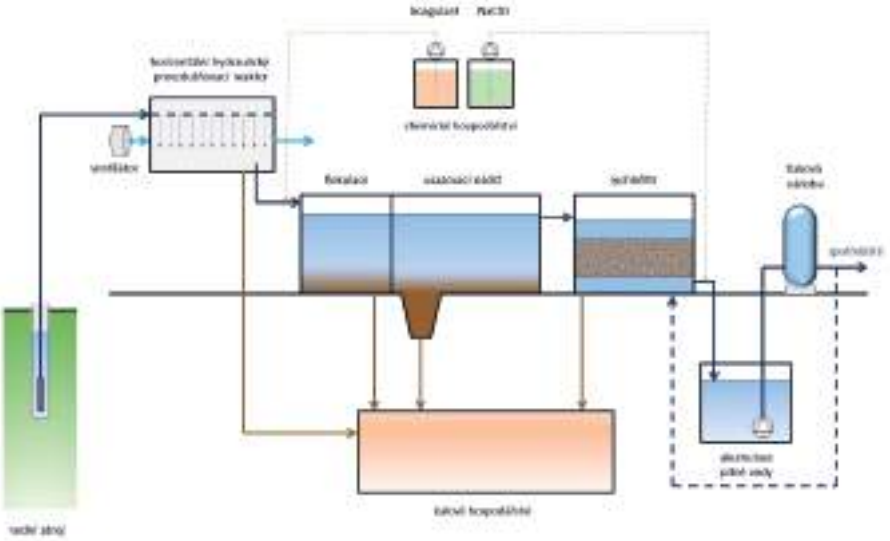


Obr. 1. Technologické schéma dřívějšího typického řešení úpraven pitné vody

Jak již bylo uvedeno, nasazením technologického řešení s využitím horizontálních provzdušňovacích reaktorů jednak umožnilo zjednodušit objekty úpraven vod po stránce stavební (snížení výšky o cca 3 m), jednak umožnilo vynechat z technologie jednu akumulaci a následné čerpání z ní.

Surová voda z vodního zdroje (viz obr. 2) je při tomto řešení čerpána na horizontální provzdušňovací reaktor výškově situovaný nad zbývající technologické stupně. To umožňuje po nadávkování chemikálií gravitační přetékání do flokulační nádrže, usazovací nádrže a evropského rychlofiltru. Po zdravotním zabezpečení za rychlofiltrem dále natéká do akumulační nádrže a dále pomocí čerpání do vodojemu nebo přímo AT stanicí do spotřebiště.

V obou popisovaných případech je regenerace (praní) pískového rychlofiltru prováděna vyrobenou pitnou vodou z akumulace buď samostatnými pracími čerpadly, nebo v případě vyhovujících technických parametrů prostřednictvím distribuční AT stanice.
Dále jsou oba typy úpraven vody vybaveny chemickým hospodářstvím a kalovým hospodářstvím, nejčastěji ve formě kalových polí.



Obr. 2. Technologické schéma úpraven pitné vody s využitím horizontálních aeračních reaktorů

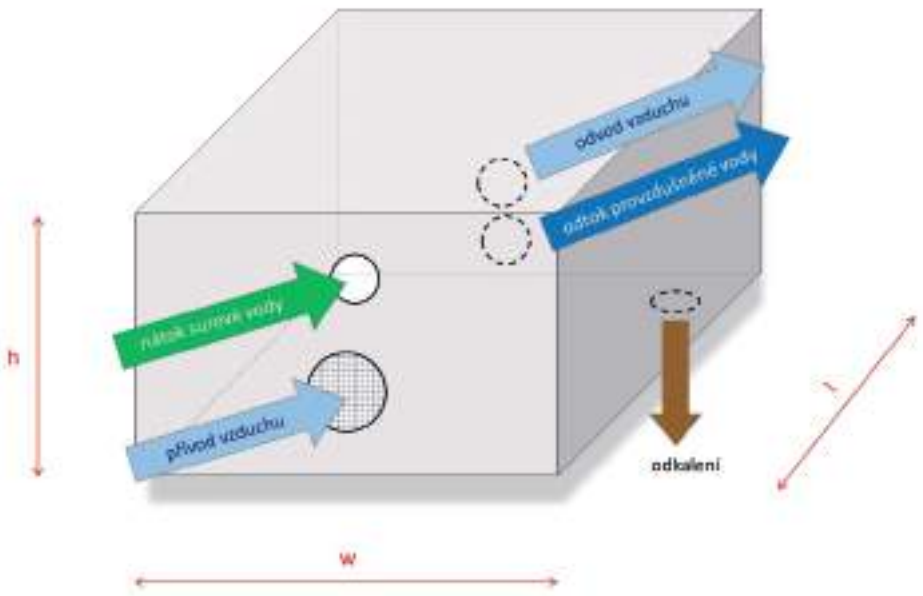
3. KONSTRUKCE HYDRAULICKÝCH HORIZONTÁLNÍCH PROVZDUŠŇOVACÍCH REAKTORŮ

Hydraulické horizontální provzdušňovací reaktory se v technické praxi používají jako ostatní provzdušňovací zařízení pro odvětrání nežádoucích plynů z vody, pro oxidaci znečištění jako např. železa a manganu. Dále také slouží s velmi vysokou účinností k odstraňování radonu z vody. Předností těchto provzdušňovacích reaktorů je malá konstrukční výška a nízká energetická náročnost.

Na obr. 3 je znázorněno funkční schéma horizontálního hydraulického provzdušňovacího reaktoru. Tvarově se jedná o ležatý hranol s rozměry odvislými od výkonu provzdušňovaného množství surové vody. Ve schématu je označen vstup surové vody do reaktoru, kde je systémem rozvodných žlabů rozveden po celé horní ploše. Z tohoto rozvodného systému voda gravitačně přepadá na speciální deskové deflektory, které zajišťují tvorbu vodní tříště potřebných parametrů, která je provzdušňována proudem vzduchu od potrubního ventilátoru pouze ve vodorovném směru v tzv. reakčním prostoru reaktoru. Odvod vzduchu je ve stejné výšce na protější straně reaktoru mimo objekt úpravny vody. Provzdušněná voda odtéká z reaktoru potrubím u dna na další technologická zařízení. Reaktory jsou vybaveny rovněž odkalovacím potrubím.

Tvorba provětrávané vodní tříště je z důvodu zajištění maximální účinnosti dána pro každý výkon provzdušňované vody speciálními podmínkami skladby deflektorů, které jsou charakterizovány:

- délkou jednotlivých deskových deflektorů,
- sklonem těchto deflektorů,
- vzdáleností deflektorů od sebe,
- speciálními lomy deflektorů pro určitý typ znečištění surové vody.



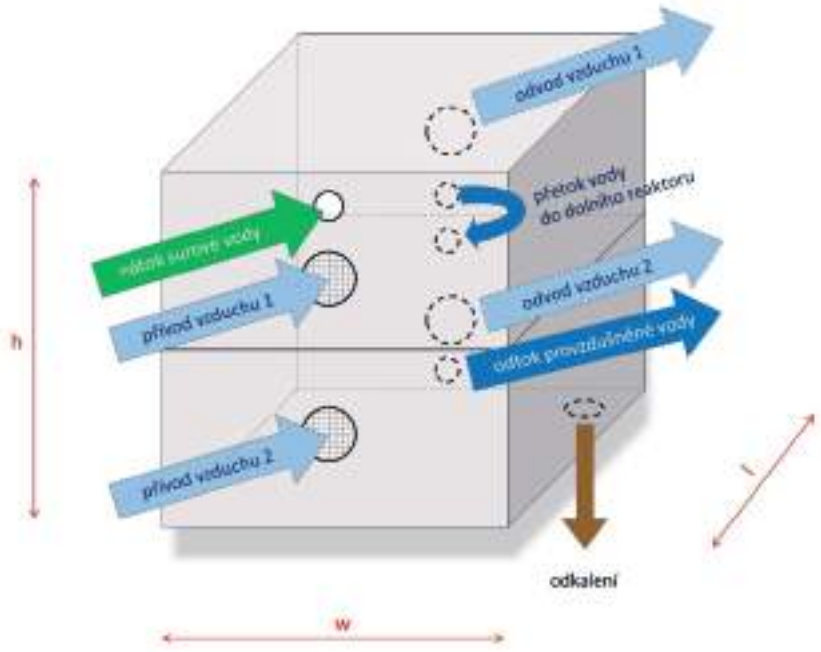
Obr. 3. *Technické schéma horizontálního provzdušňovacího reaktoru*

Rozměry horizontálních hydraulických provzdušňovacích reaktorů jsou stanovovány individuálně v závislosti na množství a kvalitě vstupní surové vody. Pro představu lze řádově uvést parametry pro různé výkony:

Tab. 1. Příklad technických parametrů horizontálních provzdušňovacích reaktorů pro různé výkony množství upravované surové vody.

výkon (l/s)	**šířka** (m)	**délka** (m)	**výška** (m)	**příkon trubního ventilátoru** (W)
3,0	1,00	1,50	1,20	50
10,0	1,50	2,50	2,00	120

V případě odradonovacích provzdušňovacích reaktorů se tyto provádí buď jako jednopatrové, nebo jako dvoupatrové – viz obr. 4. V případě velmi vysokého obsahu radonu v surové vodě tyto vykazují vyšší účinnost odvětrání radonu



Obr. 4. Technické schéma dvoupatrového horizontálního provzdušňovacího reaktoru

4. ZÁVĚR

Jak jsem již uvedl v úvodu, konstrukci hydraulických horizontálních provzdušňovacích reaktorů neustále zdokonaluji na základě zpětné vazby získané z provozních výsledků realizovaných reaktorů. Výsledkem je stále vyšší účinnost při odstraňování jednotlivých typů znečištění v surové vodě. U současných nejnověji realizovaných provzdušňovacích reaktorů se účinnost odstranění různých typů znečištění pohybuje mezi 85–96 %. Za 30 let nasazení těchto reaktorů do výroby a provozu spolehlivě pracují tyto reaktory různých výkonů i kvality vstupní vody na 65 úpravnách vody. Největší realizované horizontální hydraulické provzdušňovací reaktory byly instalovány na ÚV Lednice na celkový výkon úpravny 140 l/s (4 reaktory á 35 l/s).

Kromě velmi nízké energetické náročnosti a samočistícího režimu zařízení jsou další jejich velkou výhodou nízké investiční náklady, protože se jedná o lehké výrobky z plastů bez náročného statického vyztužení a celkově jednoduché výrobní náročnosti.

Domnívám se, že i uvedené provzdušňovací reaktory mají své místo na trhu v celkové škále dostupných provzdušňovacích zařízení od dalších výrobců a umožňují projektantům navrhovat úpravny vody s optimálními parametry po stránce stavební i spolehlivou technologii pro dané technologické parametry úpravy surové vody.

Obr. 5. *Pohled na celkovou sestavu realizované úpravny vody s horizontálním hydraulickým provzdušňovacím reaktorem (ÚV Žabčice)*

Obr. 6. *Pohled do technologické chodby s instalovanými provzdušňovacími reaktory na ÚV Lednice*

SEZNAM LITERATURY

1. TESAŘÍK, I. a kol. Vodárenství, Praha, SNTL. 1987, s. 436.

MONITORING OLOVA V PITNÉ VODĚ VE ŠKOLÁCH V ROCE 2023 JAKO PODNĚT PRO RIZIKOVOU ANALÝZU VNITŘNÍCH VODOVODŮ

MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.

Státní zdravotní ústav, Šrobárova 48/49, 100 00 Praha 10
e-mail: voda@szu.cz

1. ÚVOD

Cílem výrobců a distributorů pitné vody je dodat vodu svým odběratelům v dostatečném množství a v co nejlepší kvalitě. Jejich zájmem by však mělo být nejen kvalitní vodu dodat (na předávací místo), ale aby ji odběratel/spotřebitel ve stejné kvalitě – doma „na kohoutku" – také spotřebovával. Ač se to jeví jako banální poznámka či přání, samozřejmost to není. Důvod je prostý: voda může po průchodu vnitřním vodovodem na své kvalitě utrpět či může svou kvalitu (nezávadnost) dokonce pozbýt. To může mít několik příčin, nejčastěji pak:

a) vyluhování nežádoucích látek z materiálů vnitřního vodovodu (velmi častým problémem bývá v současné době např. nepřijatelný pach vody z některých druhů nového plastového potrubí, který je výsledkem působení směsi chemických látek, které se jednak z potrubí přímo vyluhují, jednak je vyprodukují bakterie, jejichž růst nové plastové potrubí podporuje),
b) stagnace a ohřev vody v domovním rozvodu vody, které mohou vést k rizikovému pomnožení podmíněně patogenních mikroorganismů (např. legionel, atypických mykobakterií či pseudomonád) nebo problémům s pachem a chutí vody;
c) propojení rozvodu pitné a nepitné vody, pokud se v objektu dvojí rozvody vody nacházejí.

Na tuto skutečnost reagovala i nová EU směrnice 2020/2184, která požaduje, aby se posouzení a řízení rizik neprovádělo jen u veřejných vodovodů, ale také u vnitřních vodovodů. Konkrétně ve svém článku 10 po členských zemích požaduje, aby propagovaly zpracování posouzení a řízení rizik u všech vnitřních vodovodů a jako minimum zajistily jejich zpracování aspoň u tzv. prioritních prostor a alespoň z hlediska rizika olova a bakterií rodu legionela.

Tu druhou část požadavku plní ČR tak, že v zákoně č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví ve znění pozdějších předpisů, definovala v novém § 3d prioritní prostory z hlediska přítomnosti olova v pitné vodě a přítomnosti legionel v teplé vodě a uložila osobám provozujícím tyto prostory zpracovat posouzení a řízení rizik vnitřního vodovodu a přípojky a jeho výsledky zapracovat do provozního řádu [1].

2. JE OLOVO V PITNÉ VODĚ V ČESKÉ REPUBLICE PROBLÉM?

Položíme-li tuto otázku zástupcům vodárenských společností, např. technologům nebo vedoucím laboratoří, pravděpodobně odpoví, že podle jejich zkušeností nikoliv. Ze svého pohledu budou mít téměř pravdu: v dodávané pitné vodě se obsah olova pohybuje buď pod mezí stanovitelnosti (z více než 80 %) nebo na úrovni cca 1/10 současného limitu (10 µg/l – nejpozději do roku 2036 však bude muset být dosaženo limitu polovičního, 5 µg/l). To dokládají data z IS PiVo za posledních 10 let uvedená v tabulce 1.

Tab. 1. Výsledky rutinního monitorování olova v pitné vodě provozovateli vodovodů za období let 2014 až 2023. Ročně je monitorováno cca 3700 zásobovaných oblastí (nejmenší vodovody provádějí úplný rozbor, jehož je olovo součástí, jen jednou za dva roky; celkem je v ČR mírně nad 4 tisíce zásobovaných oblastí).

Rok	Jedn.	Maximální nalezená hodnota	Aritm. průměr	Geomet. průměr	Kvantil 90 %	Počet stanovení pod MS	Počet překročení limitu	Počet všech stanovení
2023	µg/l	87,0	1,52	1,20	4,00	4 852	14	6 228
2022	µg/l	91,0	1,48	1,15	4,00	4 918	15	6 143
2021	µg/l	192,0	1,68	1,23	5,00	4 924	26	6 238
2020	µg/l	42,2	1,04	0,60	2,50	4 821	3	6 101
2019	µg/l	33,3	0,92	0,60	2,50	5 233	1	6 291
2018	µg/l	100,0	1,02	0,65	2,50	5 134	1	6 073
2017	µg/l	24,0	1,11	0,72	2,50	5 049	0	5 868
2016	µg/l	99,0	1,16	0,71	2,50	5 058	6	5 926
2015	µg/l	102,0	1,18	0,74	2,50	5 130	4	6 049
2014	µg/l	335,0	1,37	0,75	2,50	5 033	5	6 008

MS = mez stanovitelnosti

Překročení limitu se zdají být extrémně vzácná, donedávna v řádu jednotek případů ročně (při celkovém množství vzorků okolo 6 tisíc/rok). Nicméně z tabulky je patrný mírný posun, když od roku 2021 registrujeme o řád větší počet překročení, v řádu nižších desítek, mírně se zvýšily i nalézané průměrné hodnoty, naopak se o necelých 10 % snížil počet nálezů pod mezí stanovitelnosti. Tyto změny lze velmi pravděpodobně vysvětlit změnou postupu při odběru vzorků, ke které mnoho laboratoří přistoupilo na základě novely vyhlášky č. 252/2004 Sb. v roce 2018 a doporučení Státního zdravotního ústavu (SZÚ) [2].

I přes mírný nárůst však nejsou uvedená čísla nijak dramatická, protože překročení limitní hodnoty 10 µg/l bylo zaznamenáno jen v 0,2 – 0,4 %. Přesto, při vědomí, jaký je převážný zdroj olova v pitné vodě – z materiálů vnitřního vodovodu – se nabízí otázka, nakolik věrně tyto údaje reflektují obsah olova v pitné vodě na kohoutku u spotřebitele a jeho skutečnou expozici olovu? Předepsaný způsob sledování kvality vody, a to i ze strany provozovatelů vodovodů, sice žádá odebírat vzorky vody přímo u spotřebitele, tedy po průchodu vnitřním vodovodem, za který provozovatel veřejného vodovodu neodpovídá (a zákon č. 258/2000 Sb. pak v § 4 odst. 4 řeší odpovědnost, je-li zjištěná nevyhovující kvalita vody způsobena vnitřním vodovodem), nicméně samotná metoda odběru vzorku není specificky zaměřená na odhalení rizika olova, natožpak všech problematických míst odběru vody v budově.

Proto nelze z výsledků IS PiVo, pocházejících z rutinní kontroly kvality pitné vody, spolehlivě dedukovat, že expozice olovu z pitné vody je v ČR zcela marginální. To byl i důvod, proč se do nové evropské i české legislativy dostal požadavek na provedení rizikové analýzy na přítomnost olova v pitné vodě, a to alespoň ve vybraných budovách, kde se koncentrují nejvíc zranitelné osoby z hlediska zdravotního dopadu olova.

3. ZDROJE KONTAMINACE A ZDRAVOTNÍ RIZIKA OLOVA V PITNÉ VODĚ

V minulosti byly hlavním zdrojem expozice olova jeho sloučeniny přidávané do benzínu, ale postupně již všechny státy od této praxe upustily. V současnosti může patřit pitná voda v budovách, kde jsou vnitřní vodovody či přípojky částečně či zcela z olova, k nejvýznamnějším zdrojům expozice olovu. Zdrojem olova v pitné vodě jsou téměř výhradně materiály, se kterými voda přichází do styku během distribuce, především pak materiály domovního rozvodu vody, protože výsledky dlouhodobého monitorování pitné vody dodávané veřejnými vodovody ukazují, že v této vodě je v naprosté většině případů obsah olova pod mezí stanovitelnosti. Zdrojem olova jsou především olověné domovní rozvody nebo olověné přípojky, ale menšinově i olověné pájky (spojující kovové potrubí, např. měděné) a některé starší typy PVC potrubí (v nichž se olovo používalo jako stabilizátor) a dosud běžně používané drobné prvky z mosazi nebo červeného bronzu (armatury, vodoměry, spojky, vodovodní baterie apod.), které obsahují určitou příměs olova kvůli lepší obrobitelnosti. Vyluhování olova z materiálů se dále potencuje, pokud jsou vedle sebe umístěny dva různé kovové materiály, které spolu tvoří galvanický článek.

Obsah olova ve vodě je určován kvalitou vody (stupněm agresivity vůči olověným materiálům), dále plochou, materiálem a stářím potrubí, ze kterého byla vyrobena vodovodní přípojka a domovní instalace, rozsahem a uspořádáním domovní instalace, ale především chováním odběratele při spotřebě vody (průměrnou dobou stagnace vody v potrubí domovního rozvodu). Obsah olova ve vodě může být proto velmi proměnlivý nejen mezi jednotlivými objekty v jedné zásobované oblasti, ale i v rámci jednoho objektu, a dokonce i jednoho odběrového místa (kohoutku)!

WHO zařadila olovo mezi deset chemických látek, které vzbuzují největší obavy z hlediska veřejného zdraví [3]. Olovo se kumuluje v organismu a poškozuje různé orgány a systémy (centrální i periferní nervový systém, krvetvorbu, ledviny, hormonální a enzymatický systém, reprodukční funkce, způsobuje hypertenzi atd.). Nejzranitelnějšími populačními skupinami jsou děti a těhotné ženy (resp. plod v těle ženy), a to kvůli poškození vyvíjejícího se nervového systému, které se projeví snížením intelektuálních schopností a poruchami chování. Vše nasvědčuje tomu, že tento neurotoxický účinek nemá žádný práh, takže i relativně nízká expozice se negativně projeví na lidském zdraví.

S přibýváním poznatků o škodlivosti olova se postupně zpřísňuje jeho přijatelný limit v pitné vodě: od hodnoty 100 µg/l (1958) po současných 10 µg/l, které nová směrnice EU 2020/2184 dále zpřísňuje na 5 µg/l (této hodnoty bude muset být dosaženo nejpozději do roku 2036, což bez výměny starého olověného potrubí nebude prakticky možné).

4. ÚKOL HLAVNÍ HYGIENIČKY ČR

Metodika

Transpozice směrnice 2020/2184, resp. související novela zákona č. 258/2000 Sb. se začala na úrovni vedení ministerstva zdravotnictví projednávat v létě 2022, pár měsíců po zahájení ruského útoku na Ukrajinu, kdy začaly růst ceny energií i zboží a společnost žila ve značné nejistotě ohledně dalšího vývoje. Vedení MZ se tehdy domnívalo a obávalo, že nový úkol pro školy a školská zařízení (provést posouzení a řízení rizik vnitřního vodovodu a přípojky z hlediska přítomnosti olova v pitné vodě) by mohlo tyto subjekty nadměrně finančně zatížit, a tak jim sice tuto povinnost do zákona uložilo, ale zároveň přislíbilo, že s úkolem školám pomůže hygienická služba nebo dokonce že ho za ně udělá. Jako první krok pak MZ požádalo SZÚ, aby připravil pro sledování olova ve školách metodiku (novela vyhlášky 252/2004 Sb. byla

v té době ještě „v nedohlednu". Na základě metodiky SZÚ [4] vydala hlavní hygienička ČR Pavla Svrčinová dne 27. 3. 2023 úkol „Stanovení obsahu olova v pitné vodě ve vybraných školách a školských zařízení", uložený krajských hygienickým stanicím (KHS), SZÚ a zdravotním ústavům se sídlem v Ústí nad Labem a Ostravě (ZÚÚL, ZÚOVA). KHS měly za úkol provést výběr vhodných škol, navštívit je a zjistit požadované informace o budově, vyplnit o budově pasport s údaji a vybrat místa k odběru vzorků. ZÚÚL a ZÚOVA měly za úkol provést odběr vzorků a jejich analýzu a zhodnotit výsledky podle metodiky (zařazení do kategorií A až D). SZÚ měl zajišťovat všem institucím odbornou pomoc, zejména při hodnocení sporných výsledků. Počet vybraných škol na jeden okres či obvod Prahy měl být nejméně pět a mělo se jednat přednostně o budovy postavené do roku 1945, u kterých nebylo známo, zda byla provedena kompletní rekonstrukce vnitřního vodovodu.

Výběr vzorkovacích míst měl být na jednu stranu reprezentativní pro celou budovu, na druhou stranu měl ale přednostně podchytit místa, kde se pitná voda nejčastěji využívá k přímému pití nebo se z ní připravuje strava a nápoje (kuchyně, výdejna stravy). Protože nás zajímal i nejhorší možný případ, mělo být nějaké odběrové místo či místa vybráno i na nejvzdálenějším místě od vodoměru, tedy v nejvyšším patře nebo v nejvzdálenějším křídle budovy. Vedle toho se naopak jedno odběrové místo, kterým se monitoroval vliv vodovodní přípojky, mělo vybrat co nejblíže vodoměru; mělo to být však místo, které se k odběru běžně používá, aby nedošlo k uvolnění částic z inkrustací či sedimentů s olovem, což by mohlo podstatně zkreslit výsledek. Celkový počet míst pro složitější a vícepodlažní budovy měl být nejméně 5–10, u malého objektu aspoň 3.

Na každém z vybraných odběrových míst, s výjimkou místa poblíž vodoměru, se provedl dvojí odběr:

a) odběr vzorku „NS", po noční stagnaci (ideálně v pondělí ráno, ale pondělí nebylo nutnou podmínkou): odběr provedl pracovník laboratoře brzy ráno, kdy se ještě nepředpokládal odběr vody v objektu; při výběru odběrových míst bylo nutno zohlednit i skutečnost, zda se v objektu školy/školského zařízení nachází prostory k trvalému bydlení (byt domovníka-správce), které mohou ovlivnit noční stagnaci vody;
b) odběr vzorku „RDT", v náhodnou denní dobu: odběr provedl pracovník laboratoře během pozdního dopoledne nebo časného pracovního odpoledne (ideálně ve stejný den, jako byl odebrán vzorek po noční stagnaci, ale nebylo to podmínkou).

Na odběrovém místě poblíž vodoměru se provedl jen jeden odběr vzorku „VDM", brzy ráno (v rámci odběrů po noční stagnaci jako úplně první odběr), ale odlišnou metodou odběru, viz níže. Pokud se jednalo o malý objekt, kde prvním odběrovým místem za vodoměrem je kohoutek ve dřezu v kuchyni nebo výdejně stravy, vzorek „VDM" se neodebíral.

Vzorky vody „NS" a „RDT" měly objem 1 litr a odebíraly se bez odtáčení, tedy první podíl. Litr vody byl odebrán do polyethylenové lahve (nebo vzorkovnice z borosilikátového skla). Odebíralo se z kohoutku studené vody; v případě směšovací vodovodní baterie se pouštěla voda studená. Nebylo-li možné odebrat vodu studenou (mateřské školy), odebrala se voda smíšená. Vzorek vody „VDM" se také odebíral v množství 1 litr (do obdobné nádoby), ale s odtočením vody. Účelem bylo odtočit vodu v potrubí mezi vodovodní přípojkou a odběrovým místem; množství odtočené vody se tedy lišilo podle průměru potrubí a vzdálenosti odběrového místa od přípojky.

Hodnocení bylo založeno na existenci dvou limitních hodnot – současné a budoucí – a sledovaný objekt byl podle toho zařazen do jedné ze čtyř následujících kategorií. Do hodnocení se

počítaly všechny výsledky z hodnoceného objektu (tedy ze všech odběrových míst, ať už se jednalo o odběr NS, RDT nebo VDM). Stanovené kategorie:

A. Všechny výsledky (RDT, NS i VDM) jsou pod mezí stanovitelnosti (laboratoř ji musela mít na úrovni 1 µg/l nebo nižší) → objekt se považuje za vyhovující, riziko expozice olovu je zanedbatelné.
B. Žádný výsledek není vyšší než 5 µg/l, ale alespoň jeden výsledek je nad mezí stanovitelnosti → objekt se považuje za vyhovující, existuje zde jen nízké riziko expozice olovu.
C. Žádný výsledek není vyšší než 10 µg/l, ale alespoň jeden výsledek je vyšší než 5 µg/l → existuje zde aktuálně střední riziko expozice olovu; je vhodné zvážit nápravná opatření tak, aby byl nejpozději v roce 2036 plněn limit 5 µg/l.
D. Alespoň jeden výsledek je vyšší než 10 µg/l → existuje zde vysoké riziko expozice olovu; je nutné bezprostředně přikročit k nápravným opatřením (vzhledem k náročnosti (finanční i procesní) definitivního opatření v podobě výměny rozvodů je vhodné co nejdříve uvést do provozu dočasná provozní opatření k minimalizaci expozice dětí olovem).

Pro potvrzení závěru a potřebnosti/naléhavosti opatření bylo doporučeno odběry u objektů, které mají být hodnoceny v kategorii C nebo D, zopakovat, zejména tam, kde byly nálezy hraniční. Zároveň bylo doporučeno, aby škola či školské zařízení, u kterých byl místním šetřením prokázán vnitřní vodovod z olova, začaly rovnou plánovat jeho výměnu, protože podle dostupných informací [5, 6] nemohou objekty s olověnými domovními rozvody spolehlivě splnit ani současný limit 10 µg/l, natožpak cílový limit 5 µg/l. Rozbory se v tomto případě měly provést jen z důvodu zjištění naléhavosti zavedení přechodných nápravných opatření.

Výsledky

Krajské hygienické stanice provedly místní šetření v dubnu až červenci 2023, odběry vody byly realizovány v období srpen až prosinec 2023. Celkem bylo do projektu zařazeno a sledování provedeno ve 431 školách a školských zařízeních v celé republice. V těchto školách/školských zařízeních se celkem vychovává a vzdělává téměř 12 tisíc dětí a 90 tisíc žáků a pracuje v nich 14 tisíc osob personálu.

Nejstarší objekt byl z roku 1499 (samozřejmě po pozdější rekonstrukci a vybudování vnitřního vodovodu), nejmladší z roku 1994, mediánem stáří budov byl rok 1905. Úplná rekonstrukce vnitřního vodovodu byla provedena asi u 40 % objektů, u dalších 39 % pak částečná rekonstrukce, 13 % bylo bez rekonstrukce a u 8 % objektů nebyl tento údaj znám. Naprostá většina objektů byla napojena na veřejný vodovod (427 škol), čtyři školy měly vlastní individuální zdroj. Celkem bylo odebráno více než 4 300 vzorků.

V 65 školách (15,1 %) byly nalezeny nadlimitní výsledky olova v pitné vodě (nad současný limit 10 µg/l). Budoucí limit (5 µg/l) by pak nesplnilo celek 77 škol (17, 9 %). U 41 škol byl alespoň jeden výsledek v intervalu 10–20 µg/l, u 12 škol v intervalu 21–50 µg/l, 4 školy v intervalu 51–100 µg/l, 4 školy v intervalu 101–200 µg/l, 2 školy v intervalu 201–300 µg/l a 2 školy v intervalu nad 300 µg/l. Maximální nalezená hodnota olova byla 1160 µg/l. Nejvíce „nadlimitních" škol bylo zjištěno ve Středočeském a Moravskoslezském kraji (po 10) a dále v Královéhradeckém a Olomouckém kraji (po 9).

Tam, kde byly zjištěny výsledky nad limit, uložily orgány ochrany veřejného zdraví opatření ke snížení expozici olova, včetně zákazu užívání vody jako pitné. Z hlediska preventivního (bezprahový typ účinku olova na zdraví dětí) nebylo rozlišováno, zda nadlimitní nález pocházel ze vzorku odebraného metodou RDT nebo po noční stagnaci, a jaké je tedy asi průměrné množství olova požívaného vodou dětmi či žáky.

Vzhledem k tomu, že škol a školských zařízení existuje v ČR více než 8 tisíc a úkol zpracování posouzení a řízení rizik v těchto objektech má být podle směrnice hotov nejpozději do 30. 6. 2028, není v silách hygienické služby úspěšně suplovat povinnosti provozovatelů těchto budov. Navíc je žádoucí, aby se zvýšená expozice olova ve školách začala řešit a snižovat co nejdříve. Proto na počátku roku 2024 seznámilo ministerstvo zdravotnictví s výsledky tohoto mimořádného úkolu zástupce Asociace krajů ČR a Svazu měst a obcí (jako zástupců zřizovatelů nejvyššího počtu škol), aby je s novou povinností seznámilo a apelovalo na ně, aby zpracování a řízení rizik ve školách podpořili a věnovali mu zvýšenou pozornost.

5. RELEVANCE VÝSLEDKŮ PRO PROVOZOVATELE VODOVODŮ

Co nám výše zmíněné výsledky mohou říci? Zaprvé to, že monitoring kvality vody prováděný provozovateli vodovodů, jakkoli poměrně četný a rozsáhlý a zaměřený na kvalitu vody u spotřebitele, nemusí vůbec spolehlivě odhalit závady v kvalitě vody způsobené vnitřním vodovodem, ani když se jedná o tak zdravotně významný ukazatel, jako je olovo. Je to překvapivé zejména u škol, u kterých by člověk čekal, že budou jako veřejná instituce oblíbeným vzorkovacím místem provozovatelů vodovodů. Když jsme se snažili u vybraných škol, kde vyšly nadlimitní výsledky, ověřit, zda patří mezi odběrová místa provozovatele vodovodu, zjistili jsme většinou, že ano. Proč tedy potom nebyly závady odhaleny již dříve díky rutinnímu monitoringu provozovatele vodovodu? To může mít více příčin, ze kterých bychom mohli provozovatele vinit jen částečně.

Např. provozovatel v minulosti vyšší obsah olova ve škole zjistil (a doufejme, že to i škole oznámil), ale napříště už toto odběrové místo nevyužíval, aby si nepřidělával problémy s opakovaným odběrem. Škola pak mohla oznámení buď ignorovat, nebo si provést vlastní odběr, který náhodou zjistil podlimitní obsah, a více již záležitost neřešila. Provozovatel také mohl záměrně volit takový způsob odběru (aspoň před rokem 2018, resp. 2020, kdy se závazně specifikoval způsob odběru vzorku u spotřebitele, nejen pro olovo), který potlačoval vliv vnitřního vodovodu, tedy cílené odtočení vody před odběrem. Provozovatel také může s logistických důvodů volit odběrové místo v přízemí co nejblíž vchodu, kde se obvykle vliv vnitřního vodovodu projevuje nejméně.

Je pravda, že v případě, že byla v minulosti provedena jen částečná rekonstrukce vnitřního vodovodu, kdy někdy nebyly měněny horizontální přípojky k jednotlivým výtokovým armaturám z důvodu zachování obkladů na zdi, se nalézané hodnoty chovají dost nevyzpytatelně. Rozhodně neplatí, že by bylo pravidlem, že po noční stagnaci musí být hodnoty olova vyšší než při náhodném denním odběru.

6. POSOUZENÍ A ŘÍZENÍ RIZIK VNITŘNÍCH VODOVODŮ

Metodiky

Autoři metody na posouzení rizika olova uvedené v tabulce 3 v nové příloze č. 8 vyhlášky č. 252/2004 Sb. se snažili daný postup udělat co nejjednodušší, aby ho mohli aplikovat i laici v oboru hygieny vody, vodárenství či instalatérství.

Tab. 2. Způsob a hodnocení šetření rizika přítomnosti olova v pitné vodě, jak je uvádí tabulka 3 přílohy č. 8 k vyhlášce č. 252/2004 Sb.

Krok šetření	Předmět šetření	Výsledek šetření	Míra rizika
1	Jedná se o budovu, která vzhledem k době svého vzniku může mít vnitřní vodovod nebo přípojku z olova?[1]	NE	Nízké riziko – není nutné další šetření
		ANO	Střední nebo vysoké riziko – nutné další šetření (podle kroku 2 této tabulky)
2	Byla po roce 1990 provedena **kompletní** výměna rozvodů pitné vody? (Poznámka: menšinovým zdrojem olova může být i stará olověná přípojka nebo nové tvarovky z neschválené slitiny obsahující olovo.)	ANO	Nízké riziko – není nutné další šetření
		NEBYLA, NENÍ ZNÁMO	Střední nebo vysoké riziko – nutné další šetření (podle kroku 3 této tabulky)
3	Byl proveden monitoring obsahu olova ve vodě?	NE	Střední nebo vysoké riziko – nutno provést monitoring
		ANO	Riziko záleží na výsledku (podle kroku 4 této tabulky)
4	Výsledek monitoringu olova	Všechny výsledky < 5 µg/l	Nízké riziko
		Výsledek po stagnaci > 5 µg/l, ale po odtočení < 5 µg/l	Střední riziko
		Výsledek po odtočení nebo při náhodném denním odběru > 5 µg/l	Vysoké riziko

Po zkušenostech z výše popsaného úkolu hlavní hygieničky si však autoři uvědomili, že způsob monitorování olova není ve vyhlášce dost podrobně popsán, a proto SZÚ po domluvě s MZ zpracoval k vyhlášce podrobnější metodiku, poskytující návod do potřebných podrobností [7]. Vydání podrobnější metodiky k posuzování rizik z legionel a generických rizik (viz tabulky 2, 4 a 5 přílohy č. 8) zatím SZÚ neplánuje, ale ani do budoucna nevylučuje.

V roce 2022 vyšla česky technická normalizační informace „Směrnice pro plán pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou v budovách", která má sice oproti vyhlášce 252/2004 Sb. jinak pojatou matici posuzování rizik, ale jinak uvádí řadu užitečných informací jak obecně o celém procesu posouzení a řízení rizik vnitřního vodovodu, tak konkrétně o podkladech, které je nutné pro rizikovou analýzu v budovách shromáždit, a o místním šetření [8].

Interakce provozovatelů vodovodů

Povinnost zpracovat posouzení a řízení rizik vnitřního vodovodu a přípojky má provozovatel budovy (prioritního prostoru), provést nápravná opatření pak musí ve spolupráci s vlastníkem budovy, pokud se jedná o dva různé subjekty. Nedá se však říci, že by se to provozovatelů vodovodů vůbec netýkalo. Minimálně by měli mít obecný zájem, aby bylo posouzení a řízení

[1] Uvádí se, že olověné domovní rozvody a přípojky se standardně používaly do druhé světové války. Tehdy začala být – kvůli potřebám válečného průmyslu – o olovo nouze a začaly se hledat a používat alternativní materiály. Nicméně nelze vyloučit, že ze starých zásob nemohla být nová přípojka nebo nový rozvod vody v domě vybudován ještě v 50. nebo 60. letech. A menší opravy olověných přípojek, rovněž olovem, mohly být prováděny ještě v 70. letech 20. století.

rizik vnitřního vodovodu a přípojky zpracováno a implementováno co nejlépe, aby jimi dodaná voda doputovala ke spotřebiteli v nezměněné kvalitě. Dá se ale předpokládat, že v praxi budou zpracovateli těchto rizikových analýz žádáni o poskytnutí různých informací, ne-li přímo o součinnost. Žádané informace se mohou např. týkat:

- z jakého materiálu je vodovodní přípojka,
- jaký je obsah olova v dodávané vodě,
- zda má dodávaná voda spíše tendenci ke korozi nebo k ukládání vodního kamene,
- zda je dodávaná voda kompatibilní s měděným potrubím,
- jaký je obsah legionel v dodávané pitné vodě (k tomu viz dále),
- jaký je obsah dezinfekčního rezidua v dodávané vodě,
- zda je vhodné vodu v objektu nějak doupravovat (z různých důvodů, např. kvůli zvýšené tvorbě vodního kamene),
- jak řešit problém s pachem vody v místě spotřeby, atd.

Nelze se domnívat, že v dodávané pitné vodě legionely nejsou, protože právě odsud pochází zdroj kolonizace systému teplé vody. V pitné vodě o teplotě do 20–25 °C nemají legionely vhodné podmínky k masivnímu růstu, ale v biofilmu potrubí pitné vody samozřejmě žijí. Vyšetříme-li 100 ml pitné vody na jejich přítomnost a žádné nenalezneme, nelze z toho usuzovat, že v dodávané pitné vodě nemohou být. Kdybychom vyšetřili ne 100 ml, ale třeba 100 litrů, velmi pravděpodobně bychom nějaké našli. Je to však přirozený jev, který nemusí vyvolávat nějaké znepokojení. Vyhláška č. 252/2004 Sb. udává i limit legionel v pitné vodě (*Legionella* spp. 100 KTJ/ 100 ml, viz příloha č. 2, vysvětlivka 2), který je však velmi vysoký a benevolentní. Za běžných podmínek by se měly hodnoty v dodávané pitné vodě pohybovat max. v jednotkách KTJ/100 ml. K výraznému pomnožení legionel v pitné vodě, které by se blížilo uvedenému limitu nebo ho překročilo, by totiž mělo docházet jen v případech, kdy se teplota pitné vody bude po delší dobu pohybovat nad 25 °C [9]. Vyhláška neukládá provozovatelům vodovodů legionel pravidelně sledovat, nicméně v případě dotazu zpracovatelů posouzení a řízení rizik vnitřního vodovodu by měl provozovatel vodovodu stanovení provést a informaci na vyžádání sdělit.

7. ZÁVĚR

Česká legislativa nad rámec EU směrnice obsahuje požadavek, aby se posouzení a řízení rizik vnitřních vodovodů nezaměřilo úzce jen na olovo nebo legionely, ale když už se jednou (u prioritních prostor) zpracovává, aby se zaměřilo také na tzv. generická rizika, tedy nebezpečí, která se mohou vyskytnout (skoro) u všech vnitřních vodovodů a která mohou negativně ovlivnit kvalitu vody na kohoutku. Seznam devíti generických rizik, včetně olova a legionel, je obsažen v tabulce 2 přílohy č. 8 k vyhlášce č. 252/2004 Sb.

V rozporu se směrnicí 2020/2184 to ale rozhodně není, protože ta po členských zemích požaduje, aby propagovaly a podporovaly zpracování posouzení a řízení rizik vnitřních vodovodů u všech budov, nejen těch prioritních. Tento požadavek bude ČR plnit prostřednictvím osvěty – už dnes se lze v tomto směru odkázat na informativní brožuru [10] nebo informační leták [11] na webových stránkách SZÚ, chystá se ještě další materiál zaměřený na generická rizika vnitřního vodovodu. Provozovatelé vodovodů by neměli být jen vstřícní ke zpracovatelům posouzení a řízení rizik vnitřních vodovodů, kterým to vyplývá ze zákona, ale měli by hrát důležitou osvětovou roli v edukaci ohledně rizik vnitřního vodovodu u všech svých odběratelů.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci institucionální podpory výzkumu MZ ČR – RVO (Státní zdravotní ústav – SZÚ, IČ 75010330).

SEZNAM LITERATURY

1. Kožíšek F. Nové hygienické požadavky na provoz vnitřních vodovodů – 1. část. *Topenářství Instalace*, 2024, 58(2)**,** 52–58.
2. Metodické doporučení Státního zdravotního ústavu – Národního referenčního centra pro pitnou vodu k provedení odběru pitné vody u spotřebitele podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. ve znění vyhlášky č. 70/2018 Sb. SZÚ, Praha 21. 2. 2020.
3. WHO. Lead in drinking-water: health risks, monitoring and corrective actions. Technical brief. WHO, 2022.
4. SZÚ. Monitoring obsahu olova v pitné vodě ve školách a školských zařízeních (metodika pro odběr vzorků, jejich analýzu a vyhodnocení výsledků). Praha, 28. 2. 2023.
5. European Commission. Developing a new protocol for the monitoring of lead in drinking water. Project report. EUR 19087 EN. 1999.
6. Hentschel W., Karius A., Heudorf U.: Das Frankfurter Bleiprojekt. Massnahmen zur Einhaltung des Grenzwertes fűr Blei im Trinkwasser (Frankfurtský projekt OLOVO. Opatření k dodržení mezní hodnoty pro olovo v pitné vodě). *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 1999, 42:902-9.
7. Metodická pomůcka k posouzení rizik vnitřních vodovodů z hlediska rizika olova v pitné vodě. SZÚ, Praha 2024. Dostupné na: https://szu.cz/temata-zdravi-a-bezpecnosti/zivotni-prostredi/kvalita-vody/pitna-voda/metodicka-pomucka-k-posouzeni-rizik-vnitrnich-vodovodu-z-hlediska-rizika-olova-v-pitne-vode/
8. TNI CEN/TR 17801 Směrnice pro plán pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou v budovách. ÚNMZ, 2022.
9. Korth A., Petzoldt H. DVGW-Forschungsvorhaben untersucht. Vermehrung von Legionellen im Kaltwasser (Výzkumný záměr DVGW – Pomnožování legionel ve studené vodě). *Energie* / *wasser-praxis*, 2020, 5: 34–40.
10. Umweltbundesamt (UBA). Pitná voda z kohoutku. Zdravotní aspekty vnitřních vodovodů. Informace a tipy pro vlastníky a nájemníky domů a bytů. UBA a SZÚ, Praha 2013.
11. Desatero správné péče o vnitřní vodovod". Dostupné online: https://szu.cz/temata-zdravi-a-bezpecnosti/zivotni-prostredi/kvalita-vody/pitna-voda/vnitrni-vodovod/

VÝUKOVÉ MODELY PRO LABORATORNÍ CVIČENÍ Z TECHNOLOGIÍ VOD – FLOTACE ROZPUŠTĚNÝM VZDUCHEM A PÍSKOVÁ RYCHLOFILTRACE

Ing. Silvestr Figalla, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie materiálů,
Purkyňova 464/118, 612 00 Brno
e-mail: xcfigallas@vutbr.cz

1. ÚVOD

Výuka budoucích odborníků v oboru technologie vody zpravidla zahrnuje laboratorní praktika, mající za cíl seznámit studenty s hlavními tématy tohoto oboru. Rozvoj vodárenství, co do šíře používaných a nově přicházejících technologií, již z časových důvodů neumožňuje demonstraci všech procesů. Jako jedna z možností zefektivnění výuky je demonstrace procesů úpravy vod na zařízeních představující zmenšené modely celých technologických celků místo laboratorních experimentů vytržených z kontextu, postrádajících kontinuitu procesu. K tomuto účelu byly pro praktickou výuku na FCH VUT v Brně navrženy a jsou úspěšně provozovány modelové jednoty flotace rozpuštěným vzduchem a pískové rychlofiltrace. Oba modely pracují jako průtočné, včetně přípravy suspenze s projektovaným výkonem 1 dm^3 za minutu. Studenti tak mohou sledovat celý „příběh" vody od vstupu vody surové po výstup vody upravené. Modelová flotace umožňuje pozorování saturace vody, vznik bílé vody, koagulaci a flokulaci znečištění, interakci mikrobublin se suspenzí, jejich flotaci, tvorbu flotačního kalu i práci s flotačním kalem. Obdobně písková rychlofiltrace dobře demonstruje zanášení písku kalem v jeho objemu, změny tlakové ztráty po délce filtrační náplně, průnik suspenze filtrem, praní filtru vodou i vzduchem, fluidizaci písku, odvádění kalu a jeho zahušťování, změny v zákalu filtrované vody v čase aj. Celoprůhledné provedení modelových jednotek umožní studentům pozorovat i děje, které lze v praxi sledovat jen z hladiny nebo vůbec. V krátké době je tak student seznámen se všemi klíčovými ději dané technologie.

2. OBECNÉ POŽADAVKY LABORATORNÍ CVIČENÍ A VÝUKOVÁ ZAŘÍZENÍ

Vybavení pro praktickou výuku technologických předmětů často vyžaduje jednoúčelová zařízení demonstrující daný proces. Tyto zařízení pro svou specifičnost nebývají komerčně nebo finančně dostupná. Ve výukových laboratořích technologií vody se tak často setkáme s improvizovaným vybavením více či méně vystihující průběh a podstatu daného procesu nebo je výuka omezena pouze na užití běžného vybavení. Demonstrovaný proces je tak značně vzdálen realitě čas strávený na laboratorním cvičení není plně využit. Pro větší přiblížení výuky realitě byl učiněn experiment s konstrukcí jednoúčelových aparatur vystihující celý demonstrovaný proces. Vypracování laboratorní úlohy, konstrukci potřebného vybavení a příslušného návodu vyžaduje respektování několika zásad a omezení vyplývající ze specifičnosti školního prostředí i některých studentů. Postřehy z konstrukce laboratorních aparatur a praktickou výukou zahrnují několik oblastí týkajících se organizace výuky, použitého vybavení, požadavků na studenty během výuky i vypracování protokolů.

Zásady pro návrh laboratorní úlohy lze shrnout do následujícího desatera:

Desatero pro návrh laboratorní úlohy

1. Relevance úlohy k náplni praktika: V praxi existuje nepřeberné množství témat, která se k danému oboru vztahují, avšak úloh v praktiku je omezený počet a měly by být vybrány ty nejrelevantnější, popř. v praxi nejpoužívanější procesy. Je dobré se vyhnout snaze využití speciálního zařízení, které „zbylo" po řešení výzkumného projektu, či zařazení úzce specializovaného tématu, kterému se věnuje pouze vedoucí praktika.
2. Časová náročnost: Časová dotace výuky praktického cvičení je omezena zpravidla na 2 až 6 h, úlohu je vhodné koncipovat tak, aby ji bylo možné realizovat normálním tempem v polovičním čase. Pomaleji pracující studenti tak úlohu stihnou, těm rychlejším je možné věnovat ušetřený čas na hlubší diskuzi o studovaném problému.
3. Příprava materiálů pro realizaci praktika: Laboratoře technologií vody zpravidla vyžadují dopravu většího množství vody k modelové úpravě. Tuto logistiku před výukou zajišťovanou většinou vyučujícím je dobré nahradit přípravou vhodné modelové vody ze surovin dostupných přímo na pracovišti, popřípadě do přípravy úlohy zařadit formulaci koncentrátu modelového znečištění. V ideálním případě je dobré mít na celou realizaci praktika modelovou vodu jen jednu, svým složením umožňující demonstrovat většinu zkoumaných témat. Modelová voda stejného složení umožní předvídat průběh úlohy, kontrolu analytických výsledků a studenty vypočtená množství dávkovaných činidel.
4. Analytická náročnost: Každý zkoumaný jev vyžaduje vhodnou analytickou metodu, samotná analýza by však měla být v laboratoři technologie vody omezena na nutné minimum. V praxi se ukazuje, že analýza studentům zabírá značnou část z vyhrazeného času. Vhodné je využití analytických kitů a souhrnných parametrů jako např. měření absorbance, vodivosti, zákalu. Z hlediska vedoucího je účelné omezit potřebu přípravy velkého množství činidel, roztoků, jejich standardizaci před praktikem.
5. Aparaturní vybavení: Většina procesů v technologii vody je průtočných, návrh aparatur by měl tuto skutečnost respektovat i za cenu větší experimentální náročnosti. U průtočných systémů student současně získá praxi s řízením a sledováním kontinuálního procesu, což nebývá v jiných laboratorních cvičeních běžné. Kontinuální procesy přináší možnost sledovat celou řadu dalších aspektů jako hydraulickou charakteristiku zařízení, vznik proudění, průtoky a jejich poměry. Systém bývá náročnější na pozornost obsluhy, která je tímto více vtažena do děje.
6. Složitost aparatur: Všechny demonstrační aparatury by měly obsáhnout podstatu technologie, nesmí ale být překombinované, složitost (univerzálnost) ubírá na názornosti. Od jistého stupně složitosti student rezignuje na pochopení co, kam a proč protéká. Počet ovládacích prvků je třeba omezit na minimum, stejně jako konstrukčně vyloučit nebo alespoň omezit vznik hrubých chyb a nebezpečných situací. Je dobré využívat přirozeného proudění kapaliny ve směru gravitace, omezit nutnost použití čerpadel.
7. Měřítko aparatur: Zmenšování procesu má své limity, zejména pro potřebnou dobu zdržení – kinetiku dějů, např. rychlost koagulace, oxidace, sedimentace. Aparatura tak vždy vyžaduje jistý minimální rozměr. Přílišné zmenšování škodí názornosti, opačným směrem je proces omezen potřebným množstvím zpracovávané (modelové) vody. Osvědčilo se aparatury konstruovat pro průtoky v řádu 0,1 až 1 $dm^3.min^{-1}$, kdy vystačíme zpravidla s desítkami litrů vstupní vody. U aparatur představujících zmenšený model reálného procesu je třeba, aby byly v daném měřítku všechny prvky aparatury jako např. ventily, čerpadla, míchadla, průtokoměry. Častou chybou je využití sice dostupných, ale pro miniaturizovaný model svým rozměrem nevhodných prvků v „průmyslovém" rozměru, doplněných o nádoby malých rozměrů, kdy je mrtvý objem zařízení stejně velký jako jeho funkční část např. náplňová kolona, filtr aj. Stále by mělo platit, že část aparatury, kde je demonstrován daný proces by měla být svým rozměrem a objemem středobodem celku.

Současně musí být všechny prvky dostatečně robustní. Varování před choulostivostí zařízení v návodu mnohdy nestačí.

8. Vizuální stránka: Celkové uspořádání by mělo jasně ukazovat podstatu i vodní trasu, ideálně tak, aby aparatura odpovídala uspořádáním schématickému znázornění v návodu. Je třeba potřeba se vyhnout umístěním důležitých prvků do míst tvořící „černou skříňku", kde student ztrácí vizuální přehled. Pokud je to možné, je dobré aparatury konstruovat jako průhledné, např. ze skla nebo plexiskla. Úloha by měla být konstruována tak, aby byla vizuálně zajímavá a děj bylo možné doslova sledovat již v průběhu, ne až jako soubor čísel získaných analýzou vzorků. Ideálně by mělo docházet k viditelné změně některé z vlastností jako zakalení, odbarvení, srážení aj.
9. Automatizace: Současné trendy vedou k automatizaci a zesložiťování i systémů, které to nepotřebují. Pro výukové účely je dobré se automatizaci vyhnout, pokud není nutná. Student se seznámí s principem měření více, pokud se do něj zapojí. Během praktika by se mělo stále něco dít. Několik hodin čekání u nehybné aparatury, byť vybavené dotykovou obrazovkou a následné přetažení dat z počítače nikoho pro obor nenadchne. V místech kde postačí vypínač, není nutný počítač.
10. Návod na laboratorní úlohu a vyhodnocení: Návod by měl obsahovat i teorii k danému tématu, často se stává, že praktikum není synchronizováno s teoretickou výukou. Vyhodnocení úlohy a požadavky na výstup by měly být jednoznačné a současně ne příliš časově náročné. Pokud má úloha a celé praktikum vzdělávat musí zaujmout, bavit, překvapovat, ale současně vycházet dle teoretického předpokladu. Čas strávený v laboratoři i nad protokolem nesmí být vnímán jako zbytečný.

Na základě těchto předpokladů bylo sestrojeno několik aparatur pro praktikum z technologie vody, blíže si představíme flotaci rozpuštěným vzduchem a pískovou rychlofiltraci.

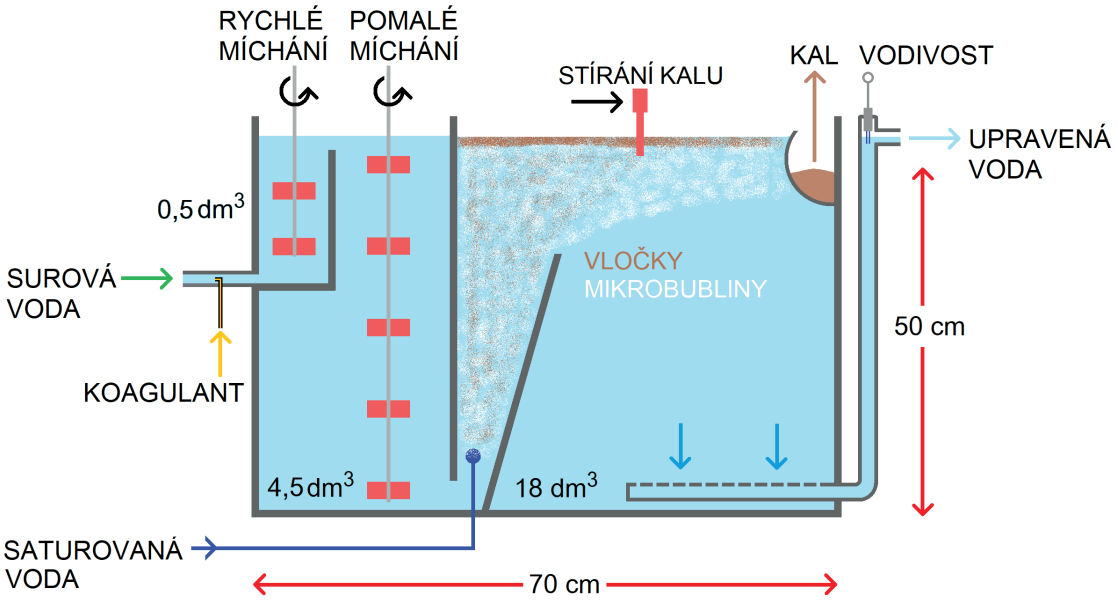
FLOTACE ROZPUŠTĚNÝM VZDUCHEM

Aparatura pro modelovou flotaci rozpuštěným vzduchem byla navržena jako průtočná s kontinuální přípravou suspenze. K saturaci vody vzduchem slouží malý saturátor o užitném objemu 5 dm^3, plnící současně funkci zásobárny saturované vody.

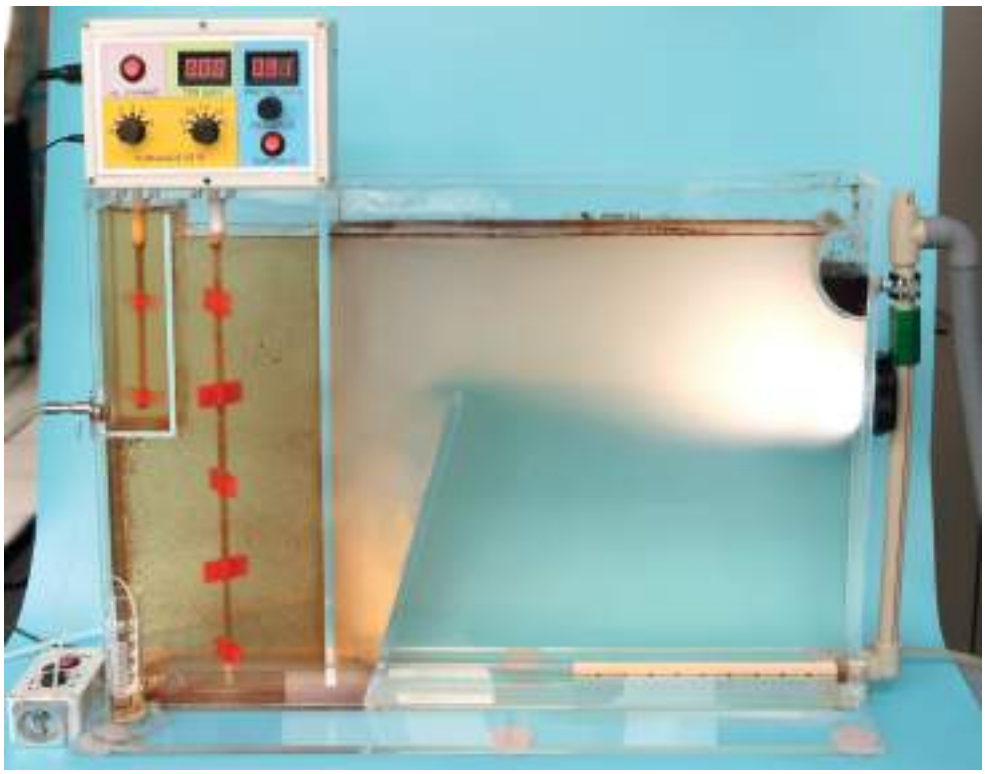
K laboratorním experimentům byla připravena modelová voda o složení: 65 % deionizovaná voda, 25 % voda z vodovodu (Brno) a 10 % rybniční voda. Přirozený charakter vody – barvu dotváří přídavek huminových kyselin o koncentraci 15 $mg.dm^{-3}$ a zákalu tvořeného kaolinem v koncentraci 10 $mg.dm^{-3}$. Rybniční voda ve směsi představuje biotickou složku (řasy, sinice, pachy, komplexní organické látky). Velké množství huminů ve vodě bylo voleno pro viditelný efekt odstranění barvy vody. Modelová voda měla tyto základní parametry: $KNK_{4,5}$=1,32 $mmol.dm^{-3}$, A_{254}=2,80, $CHSK_{Mn}$=9,68 $mg.dm^{-3}$, pH=7,8. Ke koagulaci znečištění je využíván síran železitý nebo PAX18 v dávce, kterou studenti zjišťují (na stejné vodě) v předcházející úloze: Sklenicový test – určení dávky koagulantu. Optimální dávka je 8,3 $mg.dm^{-3}$ Fe^{3+} respektive 5 $mg.dm^{-3}$ jako Al^{3+}.

Surová voda o celkovém objemu 50 dm^3 je do aparatury dopravována ze sudu čerpadlem v množství 1 $dm^{-3}.min^{-1}$, celá pracovní fáze tak trvá 50 minut. Průtok je snímán elektronicky a zobrazen na řídící jednotce. Lze jej regulovat v rozsahu 0,3 až 1,5 $dm^{-3}.min^{-1}$. Před vstupem do koagulačního prostoru vybavené rychlým mícháním je do vody peristaltickým čerpadlem dávkován koagulant. Rozmíchání koagulantu je zajištěno protiproudým zaústěním přívodní kapilární trubičky do proudu surové vody. Po průchodu vody rychlomísením (zdržná doba 30 s) přechází voda přepadem do flokulační nádrže vybavené pomalým mícháním (zdržná doba

5 min). Ze dna flokulační části přechází vzniklá suspenze do reakční zóny ve které je vstřikována saturovaná bílá voda v objemu cca 0,1 $dm^3.min^{-1}$, tj. 1:10 vůči průtoku surové vody. Vločky kalu flotují k hladině, kde jsou ručně stírány do kalového prostoru a dále do kádinky na kal. Vyčířená voda opouští flotační nádrž perforovaným sběračem na dně a opouští jednotku přepadem. Na horní přepadové hraně je umístěn snímač vodivosti, pro možnost sledování hydraulické charakteristiky po nadávkování značkovací látky (soli).



Obr. 1. *Schématické znázornění modelové flotační jednotky*

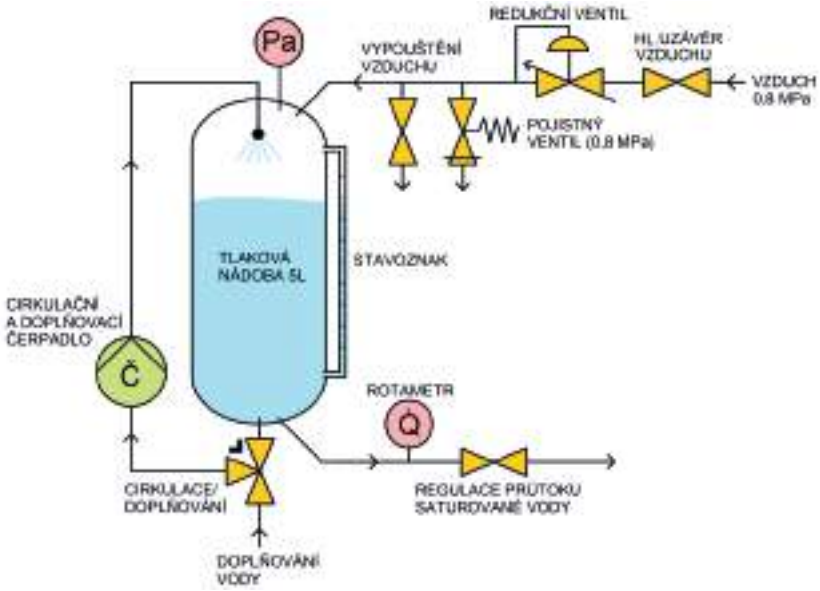


Obr. 2. *Modelová flotační jednotka za provozu při průtoku 1 $dm^3.min^{-1}$, koagulant (síran železitý) v dávce 30 $mg.dm^{-3}$, bílá voda saturována 20 minut při tlaku 600 kPa, poměr 1:10 vůči průtoku surové vody*

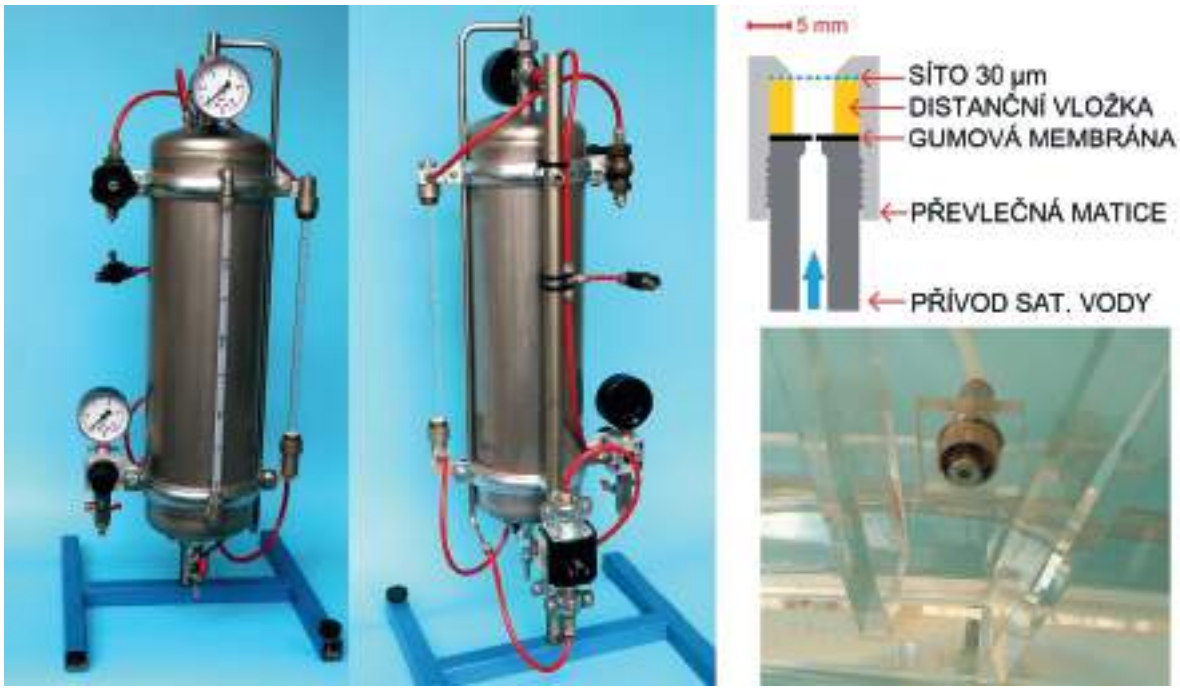
Průhledné provedení jednotky umožnuje sledování koagulace a flokulace znečištění, vznik mikrobublin, interakci vloček kalu s mikrobublinami, a jejich distribuci v nádrži. Efekt odstranění znečištění je jasně patrný ve spodní části flotační nádrže. Vodu před a po průchodu flotační jednotkou a oddělený kal ilustruje obrázek 3.

Obr. 3. *Vlevo: surová voda a voda na výstupu z flotační jednotky; vpravo: flotační kal oddělený z 50 dm³ upravované modelové vody a stejný kal po vysušení (celkové množství sušiny 1,75 g)*

Saturace vody je řešena zmlžováním vody uvnitř tlakové nádoby pomocí vibračního cirkulačního čerpadla. Toto čerpadlo umožňuje také doplňování vody za chodu v množství cca 0,2 $dm^3.min^{-1}$. S tímto průtokem lze provozovat saturaci nepřetržitě, vyšší průtoky saturované vody je možné odebírat z vody akumulované nasycené vody uvnitř nádoby o celkovém objemu 5 dm^3. Průtok saturované vody je měřen rotametrem, zbylý objem stavoznakem. Klíčovým, ale také konstrukčně problematickým prvkem miniaturizované flotační jednotky je vstřikovací tryska, která musí zajistit potřebnou a konstantní tlakovou ztrátu. Experimentálně byla nalezena konstrukce s perforovanou gumovou membránou následovanou nerezovým mikrosítem. Flotační jednotka disponuje pouze jedinou tryskou zaústěnou do kontaktní zóny kolmo vůči protékající suspenzi. Konstrukci satrurátoru, trysky a umístění trysky v kontaktní zóně ilustrují následující obrázky.



Obr. 4. *Schéma zapojení hydraulické a pneumatické části laboratorního saturátoru*



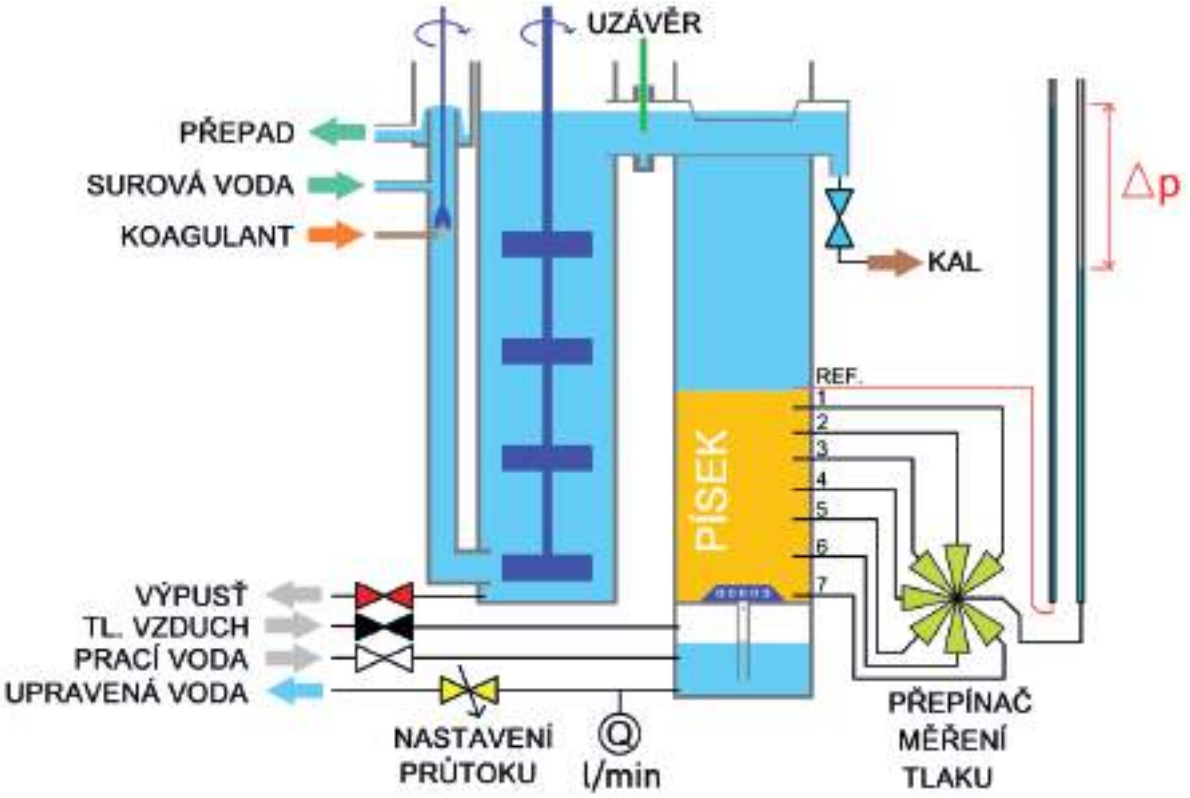
Obr. 5. *Konstrukce laboratorního saturátoru, expanzní trysky a její umístění v kontaktní zóně flotační jednotky*

Demonstrační flotační jednotka ve spojení se saturátorem představuje výukový celek, na kterém lze během 2 h cvičení pozorovat kontinuální přípravu suspenze, saturaci vody, vznik mikrobublin a jejich distribuci v nádrži, flotaci znečištění, odstraňování kalu z hladiny a jeho chování. U získaného kalu mohou studenti zjistit jeho sušinu a porovnat ji např. se sušinou kalu z pískové filtrace nebo sedimentace. Po stanovení sušiny si lze uvědomit jak malé množství obsažených látek činní vodu „znečištěnou" a že technologie vody je obor malých koncentrací a velkých objemů. Na flotační jednotce je dosahováno cca 90 % účinnosti odstranění organických látek jako $CHSK_{Mn}$ z původní hodnoty 10 cca $mg.dm^{-3}$. Z provozních zkušeností je patrné, že kritickým místem je malá zdržná doba ve flokulačním prostoru, který již nelze dále zmenšovat. Naopak flotační prostor vykazující v tomto konkrétní provedení zatížení jen cca 3 $m.h^{-1}$ by mohl být zmenšen (zúžen) ze své šířky 6 cm, která je daná konstrukčně a je společná pro flokulační i flotační prostor.

PÍSKOVÁ RYCHLOFILTRACE

Písková objemová filtrace jako nejčastěji využívaný druhý stupeň separace suspenze v praktické výuce technologie vody zpravidla chybí. Důvodem je patrně fakt, že není co filtrovat. Filtrační experimenty se většinou realizují přímo na úpravnách, kde je k dispozici suspenze odebíraná z provozu. Dobré zkušenosti s kontinuální laboratorní přípravou suspenze na flotační jednotce vedly ke konstrukci jednotky demonstrující pískovou filtraci. Byl zvolen obdobný koncept i plánovaný výkon filtru cca $1dm^3.min^{-1}$ (zatížení 5,3 $m.h^{-1}$) Filtr je konstruován jako gravitační s konstantní výškou vodního sloupce nad filtračním ložem. Koagulační a flokulační část se konstrukčně liší. Surová modelová voda (stejná jako u flotace) je čerpána v nadbytku přičemž přebytek se vrací přepadem zpět, což zajišťuje konstantní výšku hladiny v zařízení bez ohledu na tlakovou ztrátu filtračního lože, která za provozu roste. Voda zařízením dále protéká gravitačně, požadovaný průtok je nastaven škrtícím ventilem na výstupu. Elektronicky snímaný průtok je spřažen s injekčním dávkovačem koagulantu. Ten je dávkován v nastavitelném poměru bez ohledu na průtok. Koagulant je dávkován pod homogenizační odstředivou

turbínku. Směs pokračuje do flokulační nádrže s pomaloběžným míchadlem. Připravená suspenze přetéká přes nátokový žlab do tělesa filtru. Výška vodního sloupce nad filtrem i výška filtrační náplně je 25 cm. Jako filtrační náplň byly zkoušeny různé frakce vodárenských písků, drcené sklo a skleněné kuličky. Jako nejlepší se z edukačních důvodů jeví skleněné kuličky ve frakci 0,8 až 1 mm. U uliček lze teoreticky dobře výpočtem předpovědět tlakovou ztrátu filtr. V této náplni vidět průběh zanášení objemu filtru suspenzí. Filtr je vybaven výstupy pro měření tlakové ztráty podél filtrační náplně. Tlaková ztráta je odečítána přímo v milimetrech vodního sloupce na měrné trubici. Měření je v jednotlivých hloubkách realizováno pomoví sedmicestného ventilu, měřící trubice je společná. Filtrát opouští kolonu filtru přes filtrační hlavici umístěnou v ose filtru. Filtr je vybaven vstupem prací vody (z vodovodu) a tlakového vzduchu pro praní vodou a vzduchem. Model filtru je tak vybaven všemi vstupy a výstupy jako provozní zařízení. Během fáze praní lze flokulační prostor oddělit od filtru hradítkem. Nátokový žlab slouží současně k scezování vypíraného kalu, který opouští filtr přes ventil do nádoby na sběr kalu. Koncentrace suspenze (daná složením vody) je volena tak, aby bylo možné filtrační náplň v objemu cca 2,8 dm^3 z větší části zanést průchodem 50–60 dm^3 modelové vody. Rychlému zanesení filtru, které je v případě výukového využití žádoucí, napomáhá fakt, že je vynechán první stupeň separace. Kompletní schéma a uspořádání jednotky ilustruje obrázek 6.



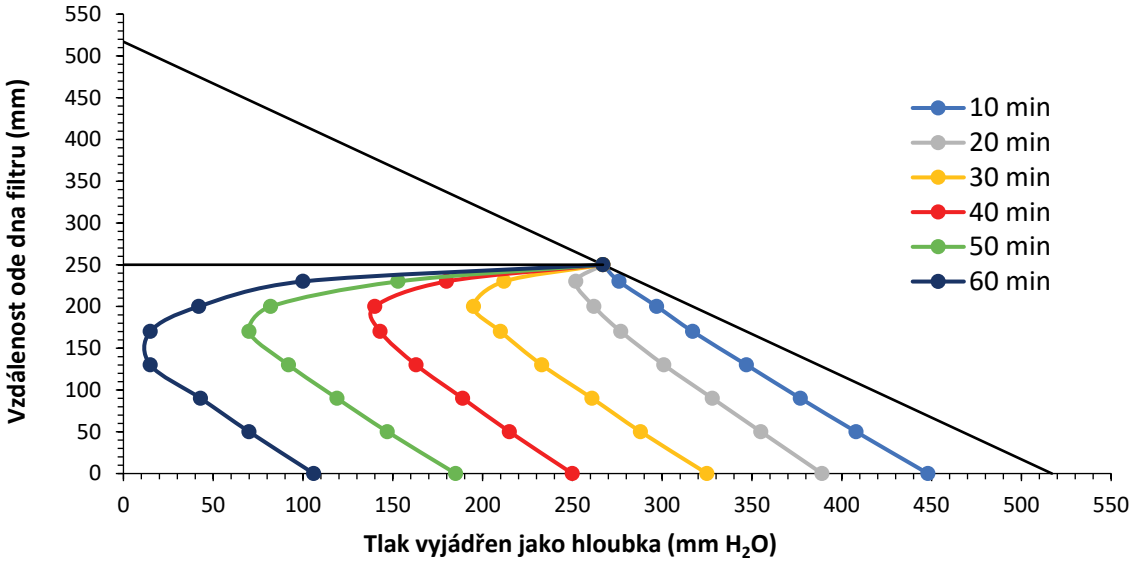
Obr. 6. Schéma demonstrační jednotky pískové rychlofiltrace s předřazenou koagulací a flokulací

Flokulační i flotační nádoba je tvořena plexi trubicí o vnitřním průměru 120 mm délky 650 mm. Zdržná doba v koagulačním prostoru je cca 15 s a ve flokulaci cca 6 minut, přičemž flokulace dobíhá ještě v prostoru nad filtračním materiálem. Otáčky míchadla ve flokulačním prostoru lze regulovat a tím ovlivnit také velikost vznikajících vloček a jejich prostup filtračním materiálem.

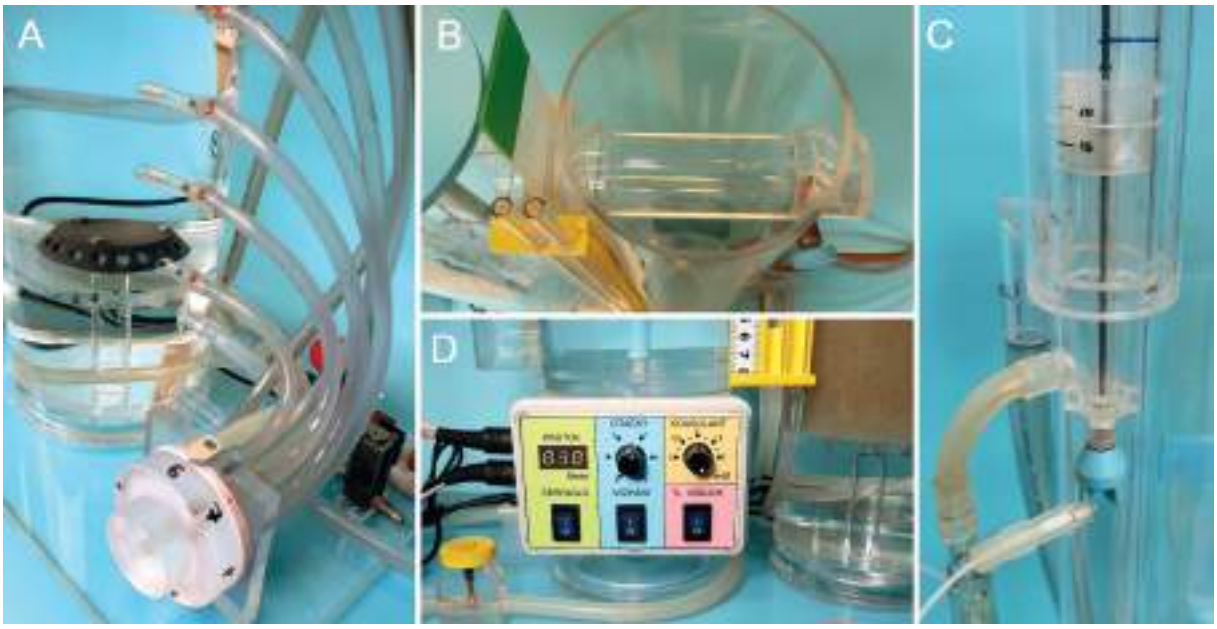
Snímání tlakové ztráty je řešeno trubičkami zasahujícími do 1/3 průměru filtru, měřící body nejsou rozmístěny ekvidistantně pro předpoklad výraznějších změn v horních vrstvách náplně. Trubičky jsou chráněny před proniknutím filtrační náplně nerezovými sítky. Aparatura je vybavena také referenčním výstupem vyvedeným těsně nad hladinou filtračního materiálu. Tento výstup má samostatnou měrnou trubici a slouží pro kontrolu výšky hladiny ve filtru. Přepínací ventil měřících vstupů se jeví jako vhodné řešení, na místo velkého počtu snímacích trubic. Aparatura by se tak dala snadno elektronizovat pomocí jediného snímače tlaku.

Obr. 7. *Demonstrační filtrační jednotka za provozu, polovina kalové kapacity náplně je již vyčerpána*

Hlavní přínosem zařízení je možnost sledovat postup suspenze filtrem a „vyzkoušet" si konstrukci trojúhelníkového Michauova diagramu tlakových ztrát v objemu filtrační náplně.

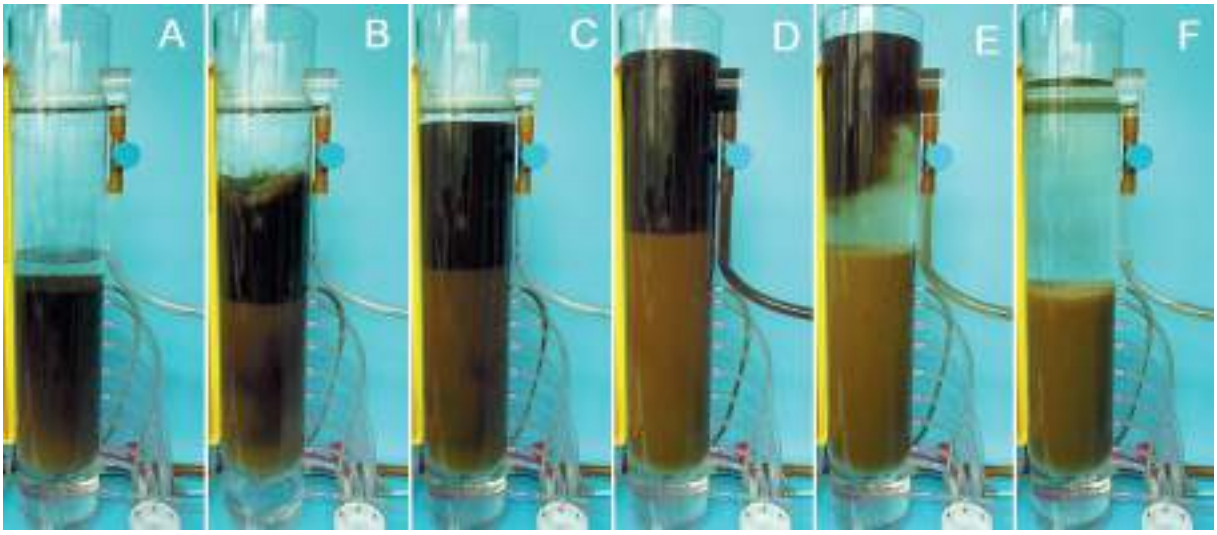


Obr. 8. *Příklad získaného záznamu tlakových ztrát v profilu filtrační náplně v závislosti na délce filtrace. Filtrační materiál: písek frakce 1–1,3 mm, koagulant: $Fe_2(SO4)_3$ v dávce 30 mg.dm^{-3}, zatížení: 5,3 m.h^{-1}*



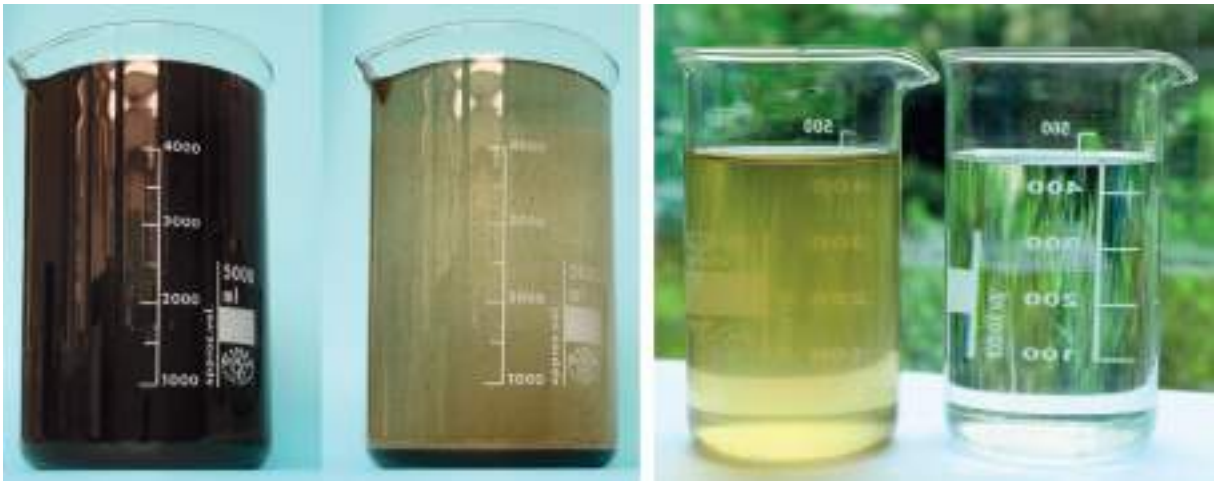
Obr. 9. *A: detail ovládacího ventilu snímání tlaku, snímacích výstupů a filtrační hlavice – filtr bez náplně*
B: přepadový žlab nad filtračním ložem a dělící uzávěr mezi flokulačním a filtračním prostorem,
C: vstupní část aparatury s přepadem a turbínkou rychlomísení koagulantu,
D: ovládací jednotka filtru a výstupní škrtící ventil určující průtok filtrem

Praní filtru je realizováno pomocí tlakového vzduchu, směsí vzduch–voda a vodou. Vzduch je pro omezení nehod z neopatrné manipulace spouštěn elektro ventilem z ovládacího panelu. Průtok vzduchu je omezen průřezem přívodní kapiláry, nehrozí tak „vyvření" filtru i s náplní. Kal je možné z filtru vyprat do cca 10-15 % objemu získané upravené vody v 6-7 dm^3. S naředěným kalem je možné dále pracovat, pozorovat jeho sedimentaci a zahušťování, určit jeho sušinu a celkové množství. Během praní je možné pozorovat expanzi a fluidizaci filtrační náplně a její závislost na průtoku prací vody i přisávání vzduchu otvorem pod filtrační hlavicí při praní voda–vzduch.



Obr. 10. *Fáze praní filtru, A: filtr na konci filtračního cyklu, B: praní vzduchem, C: začátek praní vodou, D: praní vodou, expanze a fluidizace písku, E: dopírání –uvolněný kal opouští filtr, F: regenerovaný filtr*

Voda získaná na modelovém filtru vykazuje překvapivou účinnost odstranění kontaminantů. Pro skleněné kuličky ve frakci 0,8 až 1 mm představuje pokles absorbance při 254 nm vůči vstupní vodě 99,3 % účinnost, respektive 98,1 % vyjádřeno změnou $CHSK_{Mn}$. Zákal vody byl měřen pouze relativně v mezích 0 % demi-voda získaná reversní osmózou a 100 % modelová voda. Při takovéto kalibraci získaná voda u většiny pokusů dosahovala nulových nebo i záporných hodnot, tedy nižších zákalů než použitá kalibrační demi-voda. Obsah zbytkového železa i hliníku byl u většiny experimentů pod úrovní 0,05 $mg.dm^{-3}$.



Obr. 11. *Vlevo surový kal těsně po vyprání filtru a po 30 minutách sedimentace. Vpravo modelová voda a získaný filtrát*

Zajímavostí provozu filtrační jednotky je minimální spotřeba elektrické energie na úrovní 4 Wh, tj. 65 $Wh.m^{-3}$ upravené vody při teoretické denní produkci 1,4 m^3 Zařízení by mohlo sloužit také jako základ miniaturní úpravny při ostrovním zásobování vodou. Jako další možnost využití se nabízí laboratorní ověřování nebo doplnění výsledků sklenicových testů, kdy by byla zohledněna také dynamika kontinuální přípravy suspenze a adheze připravené suspenze k použitému filtračnímu materiálu.

3. ZÁVĚR

Experimentálně bylo ověřeno, že i procesy jako je flotace rozpuštěným vzduchem a písková rychlofiltrace lze miniaturizovat do té míry, že i přes stolní velikost aparatur představují stále plně funkční celky. Tyto modely lze využít k zefektivnění praktické výuky technologií vody. Pozorování celého procesu v průhledné aparatuře vede k rychlému pochopení souvislostí a návazností jednotlivých dějů. Čas strávený na laboratorní výuce je tak využit smysluplněji než při fragmentaci děje na jednotkové operace převedené do samostatných laboratorních úloh. Modely přes komplexnost čířícího procesu nepředstavují složité celky a jejich ovládání vyžaduje jen minimální počet regulačních prvků. Obě představené modelové aparatury mohou sloužit současně k seznámení se s měřením hydraulické charakteristiky daného procesu. Zvláště u modelu pískové filtrace existuje potenciál využití zařízení k zjišťování pracovních charakteristik filtračních materiálů a optimalizace koagulace. Obě zařízení dokáží odstranit obsažené znečištění i zákal se značnou účinností (filtr kvantitativně) a mohly by tak sloužit ke kvantifikaci odstranitelných látek procesem koagulace i k její optimalizaci v laboratorních podmínkách. Možnost laboratorní produkce čerstvého vodárenského kalu zpřístupňuje rovněž laboratorní výzkum jeho vlastností, jako je sedimentovatelnost, zahustitelnost, sušící charakteristiky, vyzrávání aj. Pro shodný návrhový průtok oběma jednotkami se nabízí možnost zapojení v tandemu jako model dvoustupňové úpravny.

DRAŽŠÍ VODA JAKO CESTA K UDRŽITELNOSTI ČESKÉHO VODOHOSPODÁŘSTVÍ?

Ing. Ondřej Unčovský

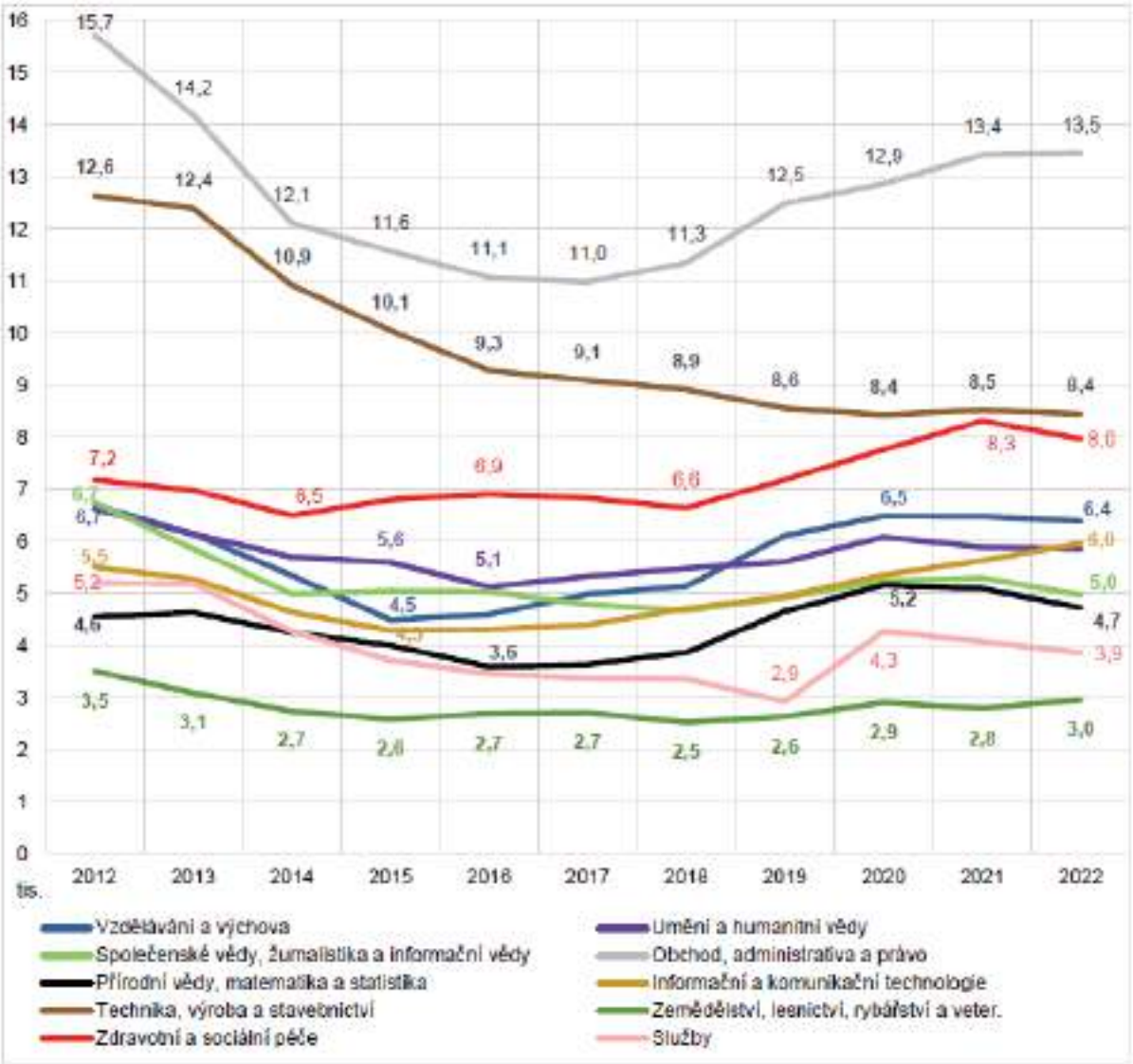
ASIO TECH, spol. s r.o., Kšírova 552/45, 619 00 Brno
e-mail: uncovsky@asio.cz

Udržitelnost je globální téma napříč obory. Téma udržitelnosti se objevuje i ve schválené novelizaci směrnice o čištění městských odpadních vod: „Myslí se tím společnost, v níž je hodnota vody uznávána a realizována v praxi, všechny dostupné vodní zdroje jsou řízeny tak, aby se zabránilo nedostatku vody a znečištění, vodní systém je odolný vůči dopadu demografických změn, sucha a povodní a všechny příslušné zúčastněné strany se angažují v zájmu zajištění udržitelné správy vodních zdrojů, zatímco koloběhy vody a zdrojů jsou z velké části uzavřeny s cílem podpořit oběhové hospodářství." V čase, kdy žijeme v Česku „vodní blahobyt", který nám zajistily předcházející generace, bychom se měli vážně zabývat tím, jak tento stav udržíme i my pro naše potomky. Nezbytnou podmínkou je dostatek odborníků, kteří naváží a budou pokračovat v tom, aby české vodohospodářství nadále poskytovalo zákazníkům-občanům službu s naprosto ojedinělou dostupností a kvalitou. Bohužel v posledních letech významně poklesl počet absolventů škol zaměřených na přípravu odborníků pro vodohospodářství a nabízí se otázka „s kým tu vodu budeme v budoucnu dělat". Příčin tohoto problému, který teprve nabyde na síle, je určitě více. Nepochybně však velkou roli hraje finanční atraktivita oboru pro mladé lidi, kteří si vybírají, kam nasměřují svou energii a talent.

NEJSOU LIDI

American Water Works Association hodnotí v každoroční zprávě State of the Water Industry Report[1] výzvy, kterým americké vodohospodářství čelí. Hrozba nedostatku pracovníků („aging workforce") se v desítce největších problémů objevila v roce 2018 a od té doby je každoročně hodnocena jako významná. Při rozhovorech s představiteli českých vysokých škol, které jsou historicky pravidelnými dodavateli kvalifikovaných vodohospodářů, se objevuje silný pocit, že tímto problémem by se české vodohospodářství mělo začít také intenzivně zabývat.

O klesajícím zájmu o technické obory zahrnující i stavebnictví a vodohospodářství svědčí i data ČSÚ[2]. Mezi lety 2012 až 2022 došlo k poklesu nově zapsaných studentů na obory se zaměřením Technika, výroba a stavebnictví z 12 600 na 8 400, což je pokles o 33 %, v dlouhodobějším horizontu se mluví až o 70 % poklesu od roku 1990. Naproti tomu celá řada jiných oborů v daném období rostla nebo stagnovala (viz Obr. 1.). Statisticky zajímavé jsou také procentuální nárůsty studentů. Ten největší za posledních 20 let zaznamenal obor informační a komunikační technologie. Tam se počet studentů ztrojnásobil. Na opačné straně spektra jsou v tomto ohledu právě obory z oblasti technických věd, výroby a stavebnictví.



Obr. 1. *Vývoj počtu poprvé zapsaných studentů do studia v českém vzdělávacím systému v dělení na skupiny oborů vzdělávání (Zdroj: ČSÚ)*

Pokud se podíváme na obor Vodní hospodářství a vodní stavby na FAST VUT, tak v roce 2005 (kdy ukončoval studium autor příspěvku) bylo ve 2. ročníku magisterského programu 57 studentů, v roce 2022 pak 33[4], tedy pokles o více než 40 %.
Pokles zájmu o studium technických oborů, včetně těch zaměřených na vodohospodářství má zajisté více příčin. Dlouhodobě je mezi studenty jako nejdůležitější kritérium pro výběr studijního oboru hodnoceno „Důležitost zaměření studijního oboru"[3], které jako důležitý hodnotí více než 90 % studentů. V tomto souhrnném parametru pak studenti bezpochyby hodnotí také budoucí ekonomické uplatnění. A zde bude zásadní vliv na to, že se stavebním a vodohospodářským oborům nedaří přitáhnout tolik zájemců jako v minulosti o nejlepších talentech ani nemluvě. Webová stránka www.platy.cz srovnávající platy v jednotlivých oborech a pozicích, kterou provozuje globální společnost Alma Media Corporation, zařazuje obor „Vodohospodářství, lesnictví, životní prostředí" v rámci Česka dokonce do Top 20 oblasti práce s nejnižším platem, na 17. místo. Pokud se podíváme na srovnatelné pozice v oborech vodohospodářství, energetika a IT, tak je důvod zřetelný:

– Vodohospodářský inženýr: 32–57 tis. hrubý měsíční plat,
– Elektrotechnický inženýr: 41–82 tis. hrubý měsíční plat,
– Softwarový inženýr: 56–135 tis. hrubý měsíční plat.

Je jasné, že ve chvíli, kdy se na tato data podívá ambiciózní student a jeho rodiče, kteří mají dle výzkumů velký vliv na výběr oboru, tak vodohospodářství zřejmě nebude první volbou. Paradox, kdy absolventi rozdílných fakult na stejné univerzitě (např. FAST/FIT na VUT Brno) mají při vstupu na pracovní trh rozdíl v hodnotě téměř 100 %, je nepochybně jednou z příčin výrazného poklesu počtu zájemců o vodohospodářství. Pokud budeme chtít opětovně přitáhnout zájem o vodohospodářství ve skupině mladých nejnadanějších lidí a dostat do segmentu i pracovníky z jiných oborů, které budeme potřebovat pro nutnou transformaci (IT profese), tak je nezbytně nutné zlepšit platové podmínky napříč oborem.

BUDOUCNOST VODY

Voda je spjata s klimatem. Z toho důvodu bude budoucnost vody významně ovlivňována změnami klimatu, které v současné době nabírají na rychlosti i v porovnání s nepříznivými modely. S ohledem na tento fakt a na to, že možná ještě stále podceňujeme rozsah a projevy změn, je znepokojující, že mnoho rozhodnutí ve vodohospodářství je postaveno na datech a předpokladech položených v období stabilního klimatu minulého století[5]. Dalších jevů, které budou ovlivňovat budoucnost vody a obor vodohospodářství, bude celá řada, především populační vývoj a migrace, změny chování lidí, digitalizace. Změny v přístupu ke spotřebě obecně, kterou budou muset učinit budoucí generace, ať už dobrovolně nebo nedobrovolně, povedou nepochybně k dalšímu snižování spotřeby pitné vody, a to jak pro lidskou spotřebu, tak v průmyslu. V minulosti a současnosti je obvyklé, že (nejen) vodohospodářské systémy jsou navrhovány pro růst. Je velice pravděpodobné, že v souvislosti s nižší spotřebou bude nutné realizovat na řadě míst takové vodohospodářské systémy, které budou připraveny na opačný trend – což je něco zcela nového. Snížení spotřeby vody, tak jako všeho ostatního, je pak také nezbytné, pokud to myslíme s uhlíkovou neutralitou alespoň trochu vážně. Jednoduše méně spotřebované pitné vody znamená méně vody vyrobené a přepravené. Je dost možné, že bude nutné vybudovat zcela novou síť nebo stávající výrazně přebudovat, tak jako je to realitou u elektrické sítě, kde jsou v současné době očekávány náklady v rámci EU ve výši 584 miliard EUR[6]. Z pohledu neodvratitelnosti tohoto vývoje je ze strany celého vodohospodářství zcela na místě snižování spotřeby vody aktivně podporovat a zohlednit ho v dalším plánování oboru.

Významný vliv na budoucnost vodohospodářství bude mít digitální revoluce, která se ve vodohospodářství realizuje o něco pomaleji než v jiných oborech. Jednou z příčin může být jistá konzervativnost oboru, ale hlavní příčina bude opět spíše ekonomická. Na rozdíl od energetiky nemají investice do racionalizace spotřeby vody zdaleka takový význam. Energetika zaznamenává v posledních letech razantní nástup „chytrých" zařízení a softwarových řešení, které v kombinaci s novými zdroji energie vedou k zásadním změnám v chování spotřebitelů. Tato řešení pomáhají výrazně snižovat a racionalizovat spotřebu. Digitalizace vodohospodářství tedy také nezbytně povede ke snižování spotřeby pitné vody.

České vodohospodářství má v celé své šíři dlouhou tradici sahající hluboko do historie. V oblasti zajišťování vody pro obyvatelstvo a průmysl poskytuje špičkovou službu, která kvalitou a dostupností dosahuje nejvyšších světových parametrů. Oblast zásobování vodou se těší velmi vysoké důvěře zákazníků. Na tomto stavu mají podíl jak předchozí, tak současné generace vodohospodářů. V kombinaci s dobrými klimatickými podmínkami jsme si doposud mohli užívat vodní blahobyt. Bylo by od nás nanejvýš zodpovědné předávat vodohospodářství dalším generacím ve stejně dobrém nebo lepším stavu. V českých podmínkách máme jedinečnou šanci na budoucí vývoj reagovat ještě v době, kdy nás zatím nepostihla velká vodní krize, tak jak se to stalo některým zemím, které jsou v současnosti hodnoceny jako inspirativní příklady inovativního přístupu a dobré praxe. Pohledem do těchto států, které úspěšně čelí nedostatku

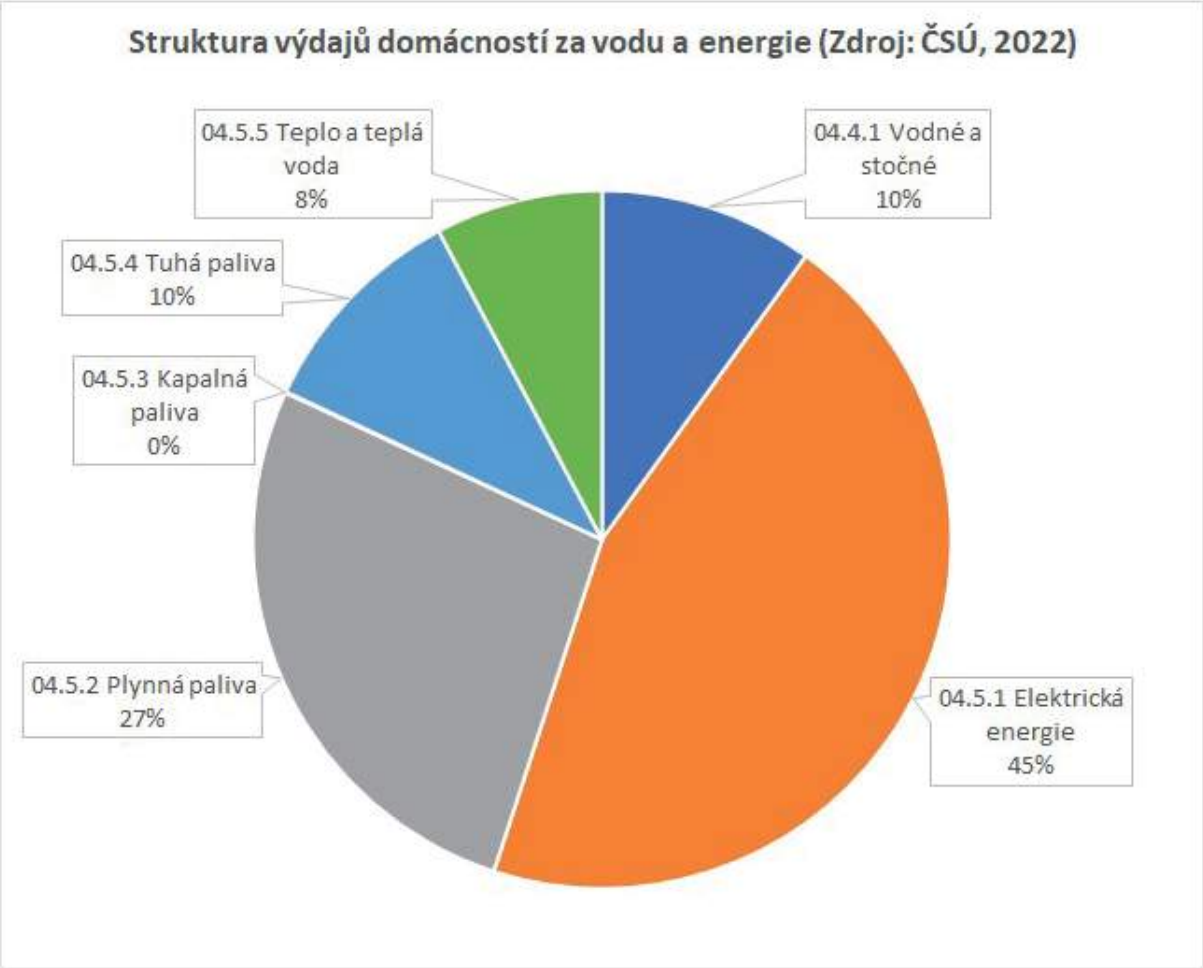
vodních zdrojů, je zřejmý společný přístup: dlouhodobý, pravidelně aktualizovaný a kontrolovaný plán vodohospodářství (například Singapur 60 let, suché US státy 50 let).

Je jasné, že řešení uvedených výzev bude vyžadovat celou řadu nových odborníků, kteří k těmto výzvám budou schopni přistoupit kreativně. Tím se dostáváme zpátky k tomu, že pro udržitelnost českého vodohospodářství je nezbytné, aby posílilo schopnost přitáhnout mladé lidi a mezi nimi i nejlepší mozky své generace.

TA ČÁSTKA NESOUHLASÍ…

V Česku jsme zvyklí na levnou vodu. Cenová politika českého vodohospodářství pak působí přímo proti výše uvedeným skutečnostem. Za „dokonalou" službu českého vodohospodářství, dostupnou 24/7/365 jsme v roce 2023 platili průměrně 112 Kč za 1 000 litrů. Ve srovnání s energetickým mixem průměrného Čecha roku 2022 vypadá voda jako chudý příbuzný. Dle dat ČSÚ[7] utratí české domácnosti průměrně na jednu osobu za rok:

- 04.4.1 Vodné a stočné: 2 019 Kč
- 04.5.1 Elektrická energie: 9 173 Kč
- 04.5.2 Plynná paliva: 5 470 Kč
- 04.5.3 Kapalná paliva: 9 Kč
- 04.5.4 Tuhá paliva: 2 093 Kč
- 04.5.5 Teplo a teplá voda: 1 577 Kč
- Energie celkem 18 322 Kč



Obr. 2. *Výdaje českých domácností za energie a vodu v roce 2022*

Pitná voda a likvidace odpadní vody tedy tvoří 10 % ročních výdajů domácnosti, energie pak 90 %. Jedná se o neuvěřitelnou disproporci, která má jednoznačně vliv na spotřebitelské chování. Naprosto šokující je pak srovnání s příklady jiných statků, které jsou z podstaty zbytné: nejlevnější předplatné O2TV stojí 4 788 Kč za rok (prémiová pak 10 548 Kč ročně), Netflix pak od 2 388 až 3 828 Kč za rok a takto by šlo pokračovat. Tímto pohledem je voda směšně levná.
Ještě horší je to s vodou podzemní a povrchovou, přičemž cena vody podzemní přímo demotivuje průmyslové podniky něco dělat s vodním hospodářstvím, ačkoliv se možnosti úspor vody nabízejí. Poplatek za odběr podzemní vody činí: 0 Kč při odběru <6 000 m^3/rok; 2 Kč/m^3 pro účely zásobování pitnou vodou; 3 Kč/m^3 pro ostatní účely. Příjemcem poplatku je z 50 % SFŽP, kdy ČÁST výnosu poplatku MŮŽE být použita na zlepšování ochrany kvality a množství vod a sledování množství a kvality vod. Dále pak z 50 % kraj, kde je odběr realizován, kdy ČÁST výnosu poplatku MŮŽE být použita POUZE na podporu výstavby a obnovy vodohospodářské infrastruktury.

Poplatek za odběr povrchové vody stanovují jednotlivé podniky povodí, které jsou zároveň jeho příjemcem, a tyto výnosy tvoří více jak 70 % rozpočtu s. p. Povodí. Opět je zdarma do 6 000 m^3/rok a dále je stanoven dle účelu – v roce 2021 to bylo průměrně 1,25 Kč/m^3 pro průtočné chlazení a 5,50 Kč/m^3 pro ostatní účely. V tomto kontextu je důležité, že ceny odběrů povrchové vody v dnešním pojetí nevyjadřují hodnotu povrchové vody, ale vyjadřují náklady vynaložené jednotlivými s. p. Povodí na správu vodních toků a správu povodí. To vytváří paradox, kdy snižování odběrů vede k růstu ceny pro odběratele.
Pokud chceme přistupovat k budoucnosti českého vodohospodářství odpovědně, je třeba přemýšlet o tom, jak pro něj získat více financí. Nějaká forma zdražení vody je už jenom z pohledu tlaku na změnu chování spotřebitelů nezbytná. Díky novým technologiím v oblasti měření a přenosu dat je možné připravit takový model zdražení vody jako společného a hodnotného statku, který bude sociálně spravedlivý, ale zároveň přinese vodohospodářství lepší financování, které je nezbytné pro udržitelnou budoucnost.

DRAŽŠÍ VODA JAKO CESTA K UDRŽITELNOSTI VODOHOSPODÁŘSTVÍ

Díky ojedinělé tradici českého vodohospodářství máme příležitost připravit se na budoucnost v době, kdy jsme ještě v dostatku. Chtějme odpovědné chování ke zdrojům vody v první řadě od sebe, což nám dá mandát ho vyžadovat od ostatních. Buďme inspirací pro jiné obory a pro jiné země, mějme ambici vodohospodařit jinak, než jsme to dělali doposud. Protože pokud neudělá změnu naše generace, bude pro budoucí generace výrazně bolestivější. Musíme zvýšit hodnotu vody, k čemuž je zdražení jeden z prostředků. Ano, obchodnická poučka „co je zadarmo, toho si lidé neváží", a voda je skoro zadarmo, je opravdu platná.

To nám pomůže přitáhnout k vodohospodářství zase ty správné lidi. S ohledem na výzvy, které nás ve vodohospodářství čekají, budou ti nejlepší potřeba, aby přicházeli s disruptivními inovacemi, které pomohou vybudovat vodohospodářství pro 21. století, protože my stále děláme vodohospodářství 20. století.

Práce ve vodohospodářství, kdy člověk skrze odpovědnou správu vodních zdrojů v celé jejich šíři, pomáhá zajistit lidem nejzákladnější každodenní potřebu, je sama o sobě velice atraktivní. Přináší totiž vysokou míru uspokojení potřeby být užitečný ostatním. Celá řada významných vodohospodářů mluví o tom, že voda je fascinovala od dětství a tento vztah k vodě je motivoval se oboru věnovat celý život. Pokud se nám podaří dostat do vodohospodářství dostatek financí, abychom mohli budoucí odborníky rozumně ohodnotit, dojde ke konstelaci, kdy obor přitáhne ty nejlepší ze své generace, kteří zajistí potřebnou udržitelnost pro budoucnost.

SEZNAM LITERATURY

1. State of the Water Industry 2023. The American Water Works Association. 2023
2. Studenti a absolventi vysokých škol v České republice 2022 – Analytická část. ČSÚ 22.05.2023
3. Jakub Husák, Markéta Volkánová. Faktory ovlivňující rozhodování potencionálních uchazečů o vysokoškolské vzdělávání v kontextu soudobé znalostní společnosti. ORBIS SCHOLAE, 2012, 6 (1) 53—67
4. Výroční zprávy FAST VUT
5. Asit K. Biswas & Cecilia Tortajada (2023) Reimagining water management, International Journal of Water Resources Development, 39:4, 549-556, DOI: 10.1080/07900627.2023.2222989. Available from: https://doi.org/10.1080/07900627.2023.2222989
6. Frank Bold je u vzniku studie o proměně evropské energetiky. Klíčem k ní je modernizace elektrizační sítě. 16. 2.2024
7. Asit K. Biswas & Cecilia Tortajada (2024) Groundwater: an unseen, overused and unappreciated resource, International Journal of Water Resources Development, 40:1, 1–6, DOI: 10.1080/07900627.2024.2292448. Available from: https://doi.org/10.1080/07900627.2024.2292448
8. Vodohospodářská data a Statistika rodinných účtů z portálu Českého statistického úřadu. https://www.czso.cz/csu/czso/domov

PITNÁ VODA Z NEVODÁRENSKÝCH NÁDRŽÍ – PROČ NE?

RNDr. J. DURAS, Ph.D.

Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5
e-mail: jindrich.duras@pvl.cz

1. ÚVOD

Klimatická změna nás nutí uvažovat o vodních zdrojích: jak zajistit dostatek vody pro potřebu měst a obcí. Budování nových přehradních nádrží není jednoduché a je otázka, jaký má za stávajících podmínek reálný potenciál situaci řešit. Posílení retenční kapacity v celé ploše povodí můžeme považovat za otevřenou příležitost, protože povodí a vodní nádrže jsou spojené nádoby, ale pokrok je zde velmi pomalý. Zvyšovat odběr ze stávajících vodárenských nádrží také není cesta, protože kromě jiného je v sázce i zhoršení jakosti zadržené vody – eutrofizační projevy se zhoršují při častém zaklesávání hladiny, a to zejména u nádrží s pomalou obměnou vody (Švihov, Klíčava, ale i např Nýrsko a další).

V ČR máme k dispozici celkem 165 přehradních nádrží, z nichž je pouze 47 vodárenských. Mimochodem, z pěti těch vodárenských se odběr vody ani nerealizuje, což je poměrně zajímavé. Přestože už aktuální znění Vodního zákona (§ 30) počítá i s odběrem vody pro vodárenské účely také z nevodárenských nádrží, v praxi se s významnějším odběrem vody pro úpravnu vody setkáváme jen zřídka (např. na vodní nádrži Vranov). Na první pohled by se zdálo – a v rámci povrchní argumentace lze také na různých jednáních často slyšet – že širšímu vodárenskému využívání jiných, než vodárenských nádrží brání překážky v jakosti vody. V některých případech to tak samozřejmě skutečně je, ale jako obecné tvrzení je to mýtus.

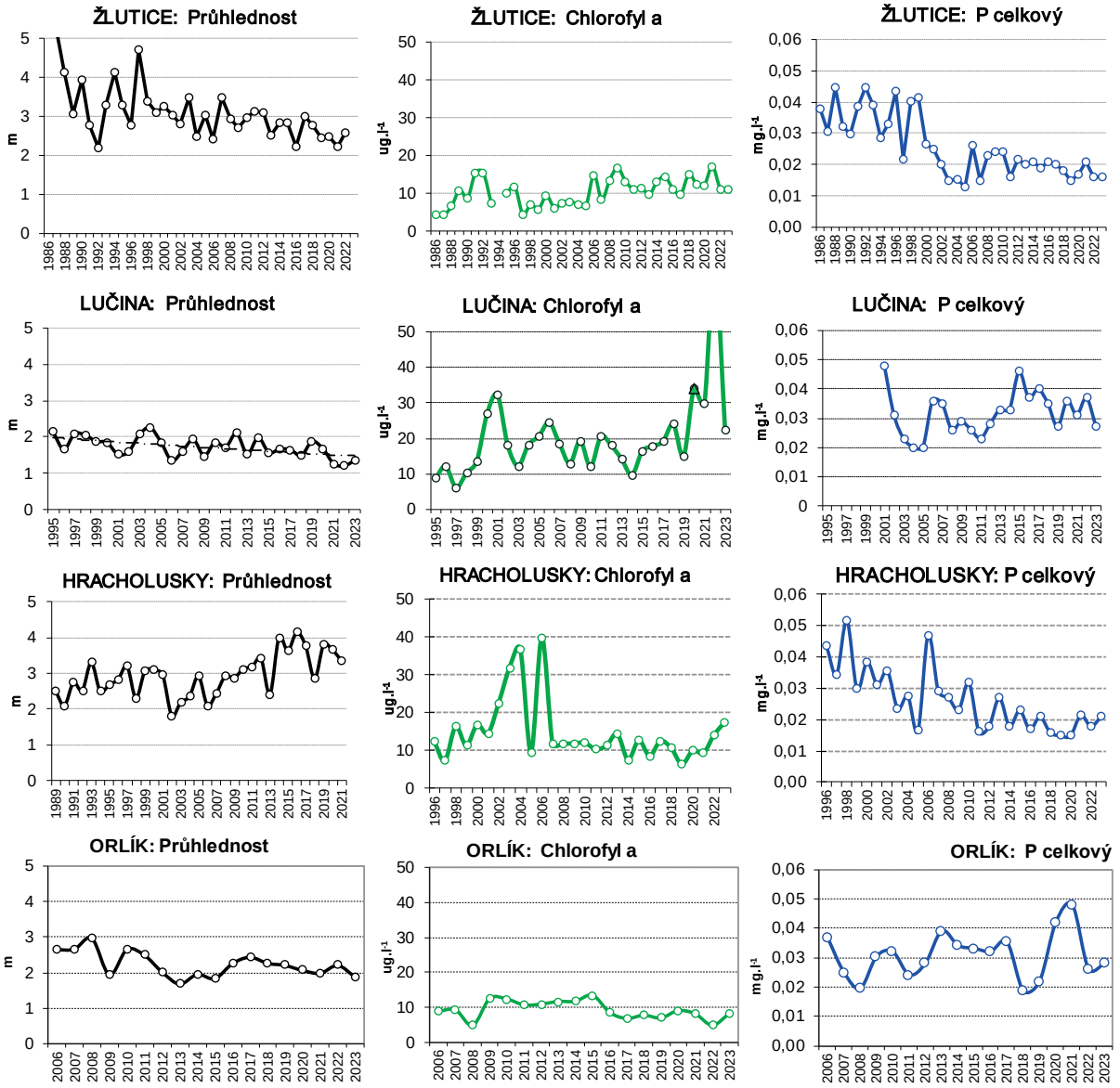
Tento příspěvek má za cíl otevřít diskusi na téma optimalizace hospodaření s objemy vody v nádržích, které už máme nyní k dispozici, protože extenzivní řešení výstavbou dalších a dalších vodních nádrží je neudržitelný postup. Vodní nádrže bychom neměli dělit jen na vodárenské a nevodárenské, ale měli bychom se primárně orientovat podle jakosti vody. Pokusím se uvést několik příkladů.

2. PŘÍKLADY

Vybral jsem jako příklady čtyři vodní nádrže (VN): dvě vodárenské – VN Žlutice na Střele a VN Lučina na Mži a dvě nevodárenské – Hracholusky na Mži a Orlík na Vltavě (obě primárně energetické, ale silné i rekreační využití). K porovnání jsem vybral parametry charakterizující eutrofizační projevy: průhlednost vody měřenou pravidelně Secchiho deskou, koncentraci chlorofylu a jakožto kvantifikaci fotosynteticky aktivní biomasy fytoplanktonu a koncentraci celkového fosforu (P celk), tedy hlavní a rozhodující eutrofizační živiny (Obr. 1).

VN Žlutice je protáhlá korytovitá, mírně eutrofní nádrž s max. hloubkou 20 m, typická pozdně letními a podzimními sinicovými vodními květy a kyslíkovými deficity až anoxiemi v hypolimniu, které vedou ke zvyšování koncentrací Fe a Mn (Obr. 2). Trend vývoje jakosti vody je nepříznivý: průhlednost vody se snižuje a biomasa fytoplanktonu se zvyšuje. V suchých letech se kyslíkový režim výrazně zhoršuje.

VN Lučina je eutrofní nádrž s max. hloubkou 18 m, typická jak silnými rozsivkovými vegetačními zákaly, tak sinicovými vodními květy, a navíc i výraznými vstupy huminových látek při zvýšených průtocích. Kyslíkový režim je napjatý a v suchých létech dochází k rozsáhlým anoxiím v hypolimniu. Vývojový trend je zhoršující se, a to včetně koncentrací fosforu.



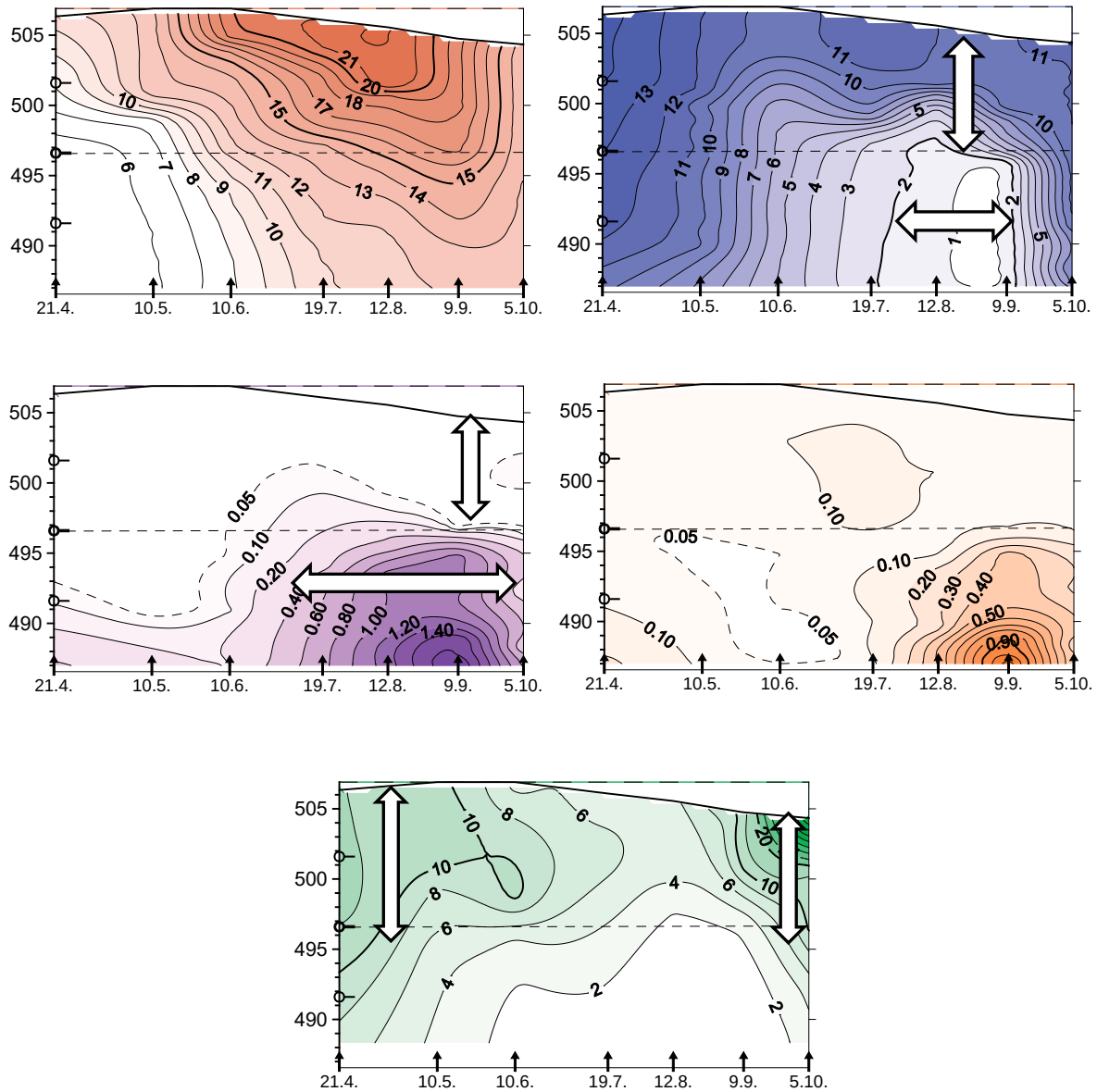
Obr. 1. *Porovnání dlouhodobých vývojových trendů jakosti vody ve třech vybraných ukazatelích ilustrujících eutrofizační poměry. Měřítka na osách y jsou pro všechny nádrže jednotná, měřítka na ose x odpovídají vždy systematicky monitorovanému časovému období. Průměrné hodnoty za IV.–IX.*

VN Hracholusky je protáhlá korytovitá nepříliš eutrofní nádrž s max. hloubkou 22 m, typická sinicovými vodními květy ve své horní polovině, slabými v polovině dolní. Kyslíkový režim obvykle vyústí koncem léta až do anoxií u dna i v dolní části nádrže. Zajímavé je, že v suchých letech se tato nádrž vyznačuje ve své dolní části nejlepší jakostí vody s trvale vysokou průhledností, s minimální biomasou fytoplanktonu a s příznivým kyslíkovým režimem. To je důsledkem samočistících procesů, které probíhají v podélném profilu nádrže. Vývojový trend je příznivý, protože suchých let přibývá, ale také se zlepšuje nakládání s odpadními vodami v povodí nádrže.

VN Orlík je sice podstatně hlubší (70 m), ale co do charakteristik je tato nádrž velmi podobná VN Hracholusky, včetně příznivého vývojového trendu jakosti vody.

3. DISKUSE

Na příkladu čtyř vodních nádrží je vidět, že co do eutrofizačních parametrů rozhodně nelze říci, že vodárenské jsou na tom paušálně lépe. Dokonce nedá velkou práci najít vodní nádrže bez vodárenského využití, které se vyznačují v oblasti u hráze poměrně dobrou jakostí vody. Některé z nich (dlouhé, korytovité, se středně dlouhou a dlouhou dobou zdržení vody) navíc disponují schopností mít lepší kvalitu vody ve velmi suchých letech, zatímco jakost vody ve většině ostatních nádrží je ohrožována klimatickou změnou, protože eutrofizační projevy se stávají vážnějšími (včetně kyslíkového režimu atd.)



Obr. 2. *Příklad dalších důležitých charakteristik jakosti vody v nádrži ve vertikálním profile během vegetační sezóny. Na ose y je vyznačena poloha odběrových etáží (m n. m.) s nejvyužívanější etáží střední. Je vidět, jak ode dna ohrožuje jakost odebíranbé vody zvýšená koncentrace Mn a Fe, zatímco shora je to biomasa fytoplanktonu, na podzim typicky sinic. Příklad z nádrže Žlutice.*

Jakkoli je porovnávání pouze na základě eutrofizačních projevů jen jeden z úhlů pohledu, je právě tento pohled velmi důležitý. Zasahuje totiž zejména do kyslíkových poměrů, na nichž záleží i uvolňování Fe a Mn ze sedimentů, jak ilustrují grafy na Obr. 2. Zde je také šipkami zvýrazněna důležitost trvání kyslíkových deficitů i dosahu jejich expanze směrem ode dna, přičemž se mohou potkávat v úrovni jediné dobře využitelné odběrové etáže s vysokou biomasou fytoplanktonu. U většiny nádrží znamená klimatická změna zhoršení kyslíkového režimu, protože vegetační období se o několik týdnů prodloužilo a nedostatek vody v suchých letech dovoluje vypouštět pouze minimální zůstatkový průtok.

Do hry vstupují i další faktory, které zhoršují upravitelnost odebírané vody. Často se jedná o silně zvýšenou přítomnost huminových látek (VN Lučina, ale také například VN Římov, Karhov, Obecnice a další) či o zvýšené koncentrace pesticidů (VN Švihov na Želivce). Řada nevodárenských nádrží naopak nemusí mít potíže tohoto druhu.

Často se skloňuje obava z mikrobiální kontaminace jako rizika pro jakost odebírané vody. Za desítky let monitoringu nebyla zachycena v naprosté většině nevodárenských nádrží žádná neobvyklá kontaminace baktériemi indikujícími fekální znečištění, a to ani v době intenzivního rekreačního využití. Často je poukazováno na riziko kontaminace splašky z chatových zástaveb, ale zatím se nikde při studiích řešících jakost vody taková kontaminace měřitelně neprokázala. Toto riziko by bylo zřejmě dobré porovnat s rizikem mikrobiální kontaminace, která se do vodárenských toků dostává masivně s odlehčovanými odpadními vodami, jak jsem se snažil naznačit v jiném článku v tomto sborníku.

Pro některé nevodárenské nádrže byly – pod tlakem zlepšit jejich rekreační využití – zpracovány komplexní studie zaměřené zejména na omezení eutrofizace. Část závěrů těchto studií se promítla do plánů oblastí povodí a dostává se (zatím velmi pomalu) i do praxe (Hracholusky, Orlík, Vranov…). Zlepšení jakosti vody by mohlo znamenat dvojí benefit.

4. ZÁVĚR

Mám za to, že řada nevodárenských vodních nádrží disponuje velmi dobrou jakostí vody, která z tohoto hlediska umožňuje paralelně s ostatními účely také její vodárenské využití (lepší než některé nádrže vodárenské). Zde uvedené příklady mají za cíl pomoci otevřít diskusi o optimalizaci využívání stávajících vodních nádrží. K řešení je nejenom ucelený přehled o jakosti vody a posouzení, zda by vodárenské využití té, které nevodárenské nádrže bylo vhodné, ale také otázka „soužití" s využitím energetickým a otázka možnosti využít zokruhování vodárenských soustav k napojení dalších potenciálních zdrojů.

Trochu provokativní otázka může směřovat i na aktuální pojetí ochranných pásem vodních zdrojů (OPVZ), protože tato pásma nejsou schopna jakost vody ve vodárenských nádržích ochránit v potřebné míře, ať jde o pesticidy a erozní materiál nebo o odpadní vody z měst a obcí.

Aktuální situace nás na jedné straně nutí hledat způsoby, jak si zabezpečit dostatek vody pro lidskou potřebu, ale zároveň klimatická změna zvyšuje citlivost vodního prostředí vůči znečišťování. Zdá se, že nezbývá než přehodnotit většinu svých dosavadních přístupů a zavedených schémat a hledat společně nové cesty.

CESTA ÚPRAVY VODY OD POMALEJ FILTRÁCIE PO MEMBRÁNOVÉ PROCESY

prof. Ing. Danka BARLOKOVÁ, PhD. [1], **prof. Ing. Ján ILAVSKÝ, PhD.** [1], **dipl. Tech. Viliam ŠIMKO** [2]

[1] *Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, SvF STU, Radlinského 11, 810 05 Bratislava*

[2] *VODATECH, Račianske mýto 10990/1C, 831 02 Bratislava*

e-mail: danka.barlokova@stuba.sk

1. ÚVOD

Na Slovensku 82,2 % obyvateľov je zásobovaných pitnou vodou z podzemných zdrojov, v lokalitách kde sa nenachádza kvalitný zdroj podzemnej vody, používa sa voda povrchová. Z hľadiska kvality podzemnej vody využívanej pre zásobovanie pitnou vodou sú rozhodujúcimi ukazovateľmi obsah železa, mangánu, amónnych iónov, obsah ťažkých kovov (napr. arzén, antimón) atď. Nie zanedbateľným je obsah CO_2, sírovodíka a mikrobiologická kvalita vody. Významné zdroje povrchových vôd predstavujú vodárenské nádrže, ako aj odbery z vodného toku. Pre tieto odbery boli vybudované úpravne vody s projektovanou kapacitou od 1 do 1000 l/s. V prípade povrchových vôd je potrebné z vody odstrániť látky, ktoré spôsobujú zákal, farbu a pach vody, humínové látky, mikrobiologické a biologické oživenie atď. V súčasnosti čoraz viac do pozornosti vstupuje výskyt mikropolutantov (pesticídy, liečivá), ktoré spôsobujú problémy v niektorých vodárenských zdrojoch.

V takomto prípade je nevyhnutná úprava vody. Úprava vody prešla historickým vývojom od pomalej filtrácie, cez dávkovanie chemikálií, rôzne separačne stupne, filtráciu v spojení so sorpciou, až po dezinfekciu vody. Výber vhodnej technológie úpravy vody závisí od kvality vodárenského zdroja, množstva upravovanej vody a legislatívnych požiadaviek, ktoré sa postupne sprísňujú vzhľadom na zdravie obyvateľstva.

2. POHĽAD DO HISTÓRIE ÚPRAVY VODY

Človek mal po stáročia svojej existencie snahu získavať a využívať relatívne čistú vodu. Existujú spisy v starogréčtine a v sanskrite datované k obdobiu cca 4 000 rokov p. n. l. o prvých zmienkach súvisiacich s úpravou vody, kde možno nájsť odporúčania k ohrievaniu vody na slnku, alebo prevarením nad ohňom, k filtrácii vody cez piesok a štrk, cedenie tak, aby tento postup vylepšil jej vlastnosti. V tom čase hnacou silou k použitiu týchto metód bol zákal, o mikroorganizmoch alebo chemických kontaminantoch v tom čase nemali žiadne znalosti. V starom Egypte na stenách hrobky Amenophisa II. v Tébach a neskôr aj v hrobke Ramsesa II. sa zachovali obrázky, ktoré dokumentujú prvýkrát použitie hliníka, ktorý vkladali do nádob s vodou na zníženie zákalu. Tento predchodca súčasnej koagulácie je datovaný do obdobia približne 1 500 rokov p. n. l. Hippocrates považovaný za „Otca medicíny", objavil liečivé účinky vody a je tiež vynálezcom tzv „Hippocratic sleeve" čo bol filter z tkaniny v tvare rukáva, cez ktorý sa filtrovala dažďová voda po prevarení.

„Doktor, ktorý prichádza do neznámeho mesta, by mal mať jasnú predstavu o vode, ktorú používa obyvateľstvo." *Hippokrates (460-377 p. n. l.)*

V roku 1804 bola v Škótsku postavená prvá úpravňa vody založená na pomalej filtrácii, ktorú navrhol Robert Thom. V roku 1806 v Paríži bolo prevádzkované veľké zariadenie na úpravu vody. Upravovaná voda najskôr bola zdržaná v nádržiach 12 hodín a odtiaľ bola transportovaná na filtre, ktoré pozostávali z piesku a dreveného uhlia. V roku 1827 Angličan James Simpson navrhol pre Londýn úpravu vody z Temže pomalou filtráciou cez pieskový filter. Dr. Robley Dunlingsen v roku 1835 vo svojej knihe „Public Health" odporúča malé množstvo chlóru pridať do kontaminovanej vody, aby sa stala pitnou. Prvé pieskové rýchlofiltre boli dané do prevádzky v Sommerville (New Jersey, USA) v roku 1885 a v Európe v úpravni vody Zürich, v ktorej ešte i dnes je v prevádzke pomalá piesková filtrácia. Na konci 19. storočia Dr. G. W. Fuller sa zaoberal rýchlou filtráciou a v roku 1897 zistil, že baktérie sú účinnejšie odstraňované z vody, keď pred filtráciou je predradená koagulácia a sedimentácia.

3. HISTÓRIA ÚPRAVY VODY NA SLOVENSKU

História úpravy vody na našom území sa začala písať v tridsiatych rokoch minulého storočia, čo bolo dané prírodnými podmienkami, v ktorých sa Slovensko nachádza, kde sú podzemné vody vynikajúcej kvality dominantným zdrojom využívaným pre zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou. Približne len 17 % z celkového množstva vody dodávanej do verejných vodovodov predstavujú vody získavané z povrchových zdrojov.

Rozvoj výstavby úpravní vôd na Slovensku súvisel so zvýšenou spotrebou vody v povojnovom období, s rozvojom priemyselnej výroby. V šesťdesiatych a sedemdesiatych rokoch minulého storočia sa dosiahol najväčší prírastok obyvateľov napojených na verejný vodovod. Zvyšovaním počtu zásobovaných obyvateľov a zvyšovaním komfortu bývania sa neúmerne zvyšovala aj spotreba vody, ktorá prevyšovala spotrebu vody vo vyspelých krajinách sveta. Tento trend pokračoval až do začiatku deväťdesiatych rokov.

V tridsiatych rokoch minulého storočia boli dané do prevádzky prvé úpravne, všetky na východnom Slovensku. Najstaršia z nich postavená v roku 1930 – Smrdiace Mláky s výkonom 8 l/s využívala pomalú filtráciu, ďalšie tri úpravne upravujúce podzemnú vodu filtráciou cez mramorovú drvinu boli vybudované v rokoch 1932 – 1934. V súčasnosti ani jedna z nich nie je v prevádzke.

30-te roky: 4 ÚV, pomalá filtrácia, kontaktná filtrácia cez mramorovú drvinu.
Vo vojnovom a povojnovom období (40-te roky) boli dané do prevádzky dve úpravne podzemných vôd – Vajsove pramene a Modra – Harmónia, v ktorých sa prostredníctvom kontaktnej filtrácie vo filtroch s mramorovou drvinou voda odkysľovala. Úpravňa vody Vajsove pramene neďaleko Krupiny z roku 1942 bola zrekonštruovaná v roku 2016, mramor bol nahradený polovypáleným dolomitom (PVD), voda z nej je dodávaná do Poltára.

40-te roky: 2 ÚV
Aj v nasledujúcom desaťročí boli budované úpravne, kde sa využívala pomalá filtrácia, jedna z úpravní s touto technológiou po rekonštrukcii v roku 1986 – ÚV Kremnica je stále v prevádzke s výkonom 15l/s. V tomto období boli dané do prevádzky tri úpravne povrchovej vody, v ktorých pomalá filtrácia bola nahradená klasickou rýchlofiltráciou, ktorá však určitých časových obdobiach bola neúčinná. V roku 1958 začala prevádzka úpravne podzemnej vody Dedina Mládeže, kde sa po prvýkrát odstraňovalo železo a mangán z vody na Slovensku. V tejto dekáde bolo vybudovaných 8 úpravní vôd využívajúcich pomalú, rýchlu a kontaktnú filtráciu a prvýkrát odstraňovanie železa a mangánu.

50-te roky: 8 ÚV, kontaktná filtrácia - PVD, rýchla filtrácia, odstraňovanie železa a mangánu. V šesťdesiatych rokoch počet úpravní razantne stúpol, čo súviselo s nárastom počtu obyvateľov napojených na verejný vodovod a s rozvojom priemyslu. Vybudovaných bolo 42 úpravní, 21 úpravní pre úpravu podzemných vôd, 21 pre úpravu povrchových vôd a v jednej z nich sú upravované podzemné aj povrchové vody. V prípade podzemných vôd šlo o odstraňovanie železa a mangánu a odkysľovanie vody. V tomto období sa v úprave povrchových vôd prvýkrát začína používať vo viacerých úpravniach koagulácia. V roku 1963 bola daná do prevádzky úpravňa vody Štrbské Pleso, ktorá bola v roku 2019 zrekonštruovaná, v súčasnosti sa tu využíva membránová technológia. V roku 1965 bola dokončená výstavba úpravne Hriňová, prvá úpravňa upravujúca vodu z vodárenskej nádrže a v tom čase aj s najväčším projektovaným výkonom – 260 l/s. Na juhu západného Slovenska bolo daných do prevádzky niekoľko úpravní odstraňujúcich železo a mangán z podzemnej vody: Nitra I – Horné Lúky – 150 l/s, Nové Zámky – 111 l/s, Šaľa – 58 l/s. A rovnaký problém bol riešený i na východe Slovenska v úpravniach Borša – 75 l/s, Michalovce – 100 l/s, Hrádok – 200 l/s.

Od roku 1968 je v prevádzke úpravňa vody Perlová Dolina upravujúca povrchovú vodu, pred niekoľkými rokmi bola zrekonštruovaná a je v nej ako v prvej úpravni na úpravu povrchových vôd využívaná membránová technológia a mikrositá. V tomto roku bola daná do prevádzky úpravňa vody Osuské pre úpravu podzemných vôd, je najstaršou úpravňou pre úpravu podzemných vôd, je v nej odstraňovaný sírovodík a sírne baktérie z vody. Úpravňa je v prevádzke viac ako 50 rokov a v roku 2015 bola zrekonštruovaná. Nachádza sa na úpätí Malých Karpát a je významnou súčasťou Senického skupinového vodovodu. V rámci celkovej rekonštrukcie úpravne vody bola zrealizovaná aj rozsiahla modernizácia štyroch pieskových filtrov. Jestvujúce medzidná filtrov boli nahradené nerezovým drenážnym systémom TRITON, ide o prvú inštaláciu tohto systému v Slovenskej republike. Zrekonštruovaná úpravňa vody bola nominovaná do súťaže Stavba roka 2015. V roku 1969 bola daná do prevádzky úpravňa vody Demänovská Dolina a patrí medzi tie, ktoré sú po rekonštrukcii v roku 2008 opäť v prevádzke. Z tohto desaťročia vybudovaných úpravní vody bolo 31 odstavených, čo v niektorých prípadoch súviselo určite i s využívaním veľkokapacitného zdroja na Žitnom ostrove.

60-te roky: 42 ÚV, koagulácia.
V sedemdesiatych rokoch trend výstavby úpravní pokračoval, bolo vybudovaných 37 úpravní vôd, 12 z nich upravujúce podzemné vody, napríklad v Tatranskej Štrbe, v Bardejove, Lekárovciach, v Holíči.
Do prevádzky boli dané veľké úpravne pre úpravu povrchových vôd z vodárenských nádrží, Klenovec, v ktorej bola realizovaná rekonštrukcia v rámci ktorej je prvýkrát nainštalovaná keramická mikrofiltrácia, úpravňa vody Bukovec s výkonom 700 l/s. Úpravňa vody Turček z roku 1979, ktorá upravovala vodu z povrchových zdrojov, bola v roku 2000 zrekonštruovaná a rozšírená, odber vody je riešený z vodárenskej nádrže. V tejto úpravni vody je prvý stupeň separácie riešený lamelovými usadzovacími nádržami, ktoré predstavujú zvýšenie účinnosti sedimentácie v porovnaní s klasickými usadzovacími nádržami a sú jedinými tohto druhu na Slovensku. V súčasnosti z týchto 37 úpravní je v prevádzke 27.

70-te roky: 37 ÚV,
V ďalších rokoch až do súčasnosti sa zvýšil počet úpravní o 18. Najväčšie z nich: na strednom Slovensku Málinec s výkonom 230 l/s, v súčasnosti upravuje 120 l/s, na východnom Slovensku Jakubany s projektovaným výkonom 100 l/s, v súčasnosti 29 l/s, na západnom Slovensku Kúty, kde je upravovaná podzemná voda so zvýšeným obsahom železa a mangánu, v súčasnosti upravuje 42 l/s.

80-te roky: granulované aktívne uhlie: odstraňovanie bromičnanov.

4. MEMBRÁNOVÉ TECHNOLÓGIE V ÚPRAVE VODY NA SLOVENSKU

V roku 2005 bola v rámci rekonštrukcie prvýkrát nainštalovaná ultrafiltrácia pre zásobovanie do verejnej siete vodovodného systému v úpravni vody Čierny Balog. ÚV Čierny Balog rieši zákalové stavy a bakteriálne znečistenie v povrchovom zdroji vody. Ultrafiltrácia slúži aj ako bariéra voči železu a mangánu, ktoré sú prítomné v zdroji vody (0,07 až 0,40 mg/l Fe a 0,005 až 0,085 mg/l Mn) a v koagulačnom činidle – $Fe_2(SO_4)_3$. V rozpustenej forme tieto kovy UF nevie zachytiť, avšak v ich zoxidovanej forme áno. ÚV Čierny Balog využíva na dezinfekciu vody oxid chloričitý, ktorý je vhodným oxidačným činidlom nielen pre Fe ale aj pre Mn.

Pri modernizácii ÚV Štrbské Pleso sa zvýšil výkon z 10 l/s na 13 l/s. Na mieste pôvodnej úpravne vody bola vybudovaná nová budova bez možnosti priestorového rozšírenia, nakoľko sa objekt nachádza v 5 stupni ochrany prírody. Počas rekonštrukcie bolo Štrbské Pleso zásobované z doplnkového vodného zdroja Popradské Pleso. Hlavným stupňom úpravy vody je proces ultrafiltrácie (UF) na membránových moduloch s dutými vláknami. Na predúpravu sa používa koagulácia a rúrový reaktor na dosiahnutie potrebného reakčného času tvorby vločiek. Na **obr. 1.** je pohľad do úpravní vôd, vľavo Štrbské Pleso s ultrafiltračnými modulmi a vpravo Štôla s halou pomalých pieskových filtrov.

V prípade modernizácie ÚV Perlová dolina sa zvýšil výkon úpravne vody z pôvodných 15 l/s na 25 l/s. Pre novú technológiu sa v rámci areálu starej úpravne vody vybudovala nová budova. Hlavným technologickým stupňom je membránová ultrafiltrácia so stupňom filtrácie 0,1 – 0,2 µm. Membrány sú tvorené dutými vláknami osadenými do membránových modulov.
ÚV Jasná bola vybudovaná v roku 1999. Slúži na úpravu pitnej vody z povrchového zdroja Zadná voda v Demänovskej doline. V roku 2017 prešla rozsiahlou rekonštrukciou, pri ktorej bola technológia na úpravu vody zmodernizovaná. Na úpravu vody sú využívané dva sitové filtre, jeden s veľkosťou otvorov 500 µm a druhý s veľkosťou otvorov 200 µm, nasleduje 6 pieskových tlakových filtrov a posledný stupeň úpravy je kazetový mikrovláknový filter s veľkosťou otvorov 20 µm. Následne sa voda dezinfikuje chlórom, akumuluje vo vodojemoch a je poskytovaná spotrebiteľom. Projektovaná kapacita úpravne vody je 30 l/s, povolený odber vody z vodného zdroja 15 l/s. Pri zákaloch nad 50 NTU sa úpravňa vody vypína, následne sú obyvatelia a hotely zásobované naakumulovanou vodou vo vodojemoch, ktoré sa nachádzajú pri úpravni vody. Akumulácia je zabezpečená dvomi vodojemami, jeden má objem 1500 m^3 a druhý 400 m^3.

Zaujímavosťou je úpravňa vody Červený Kláštor, kde sa spája história s modernou technológiou úpravy vody: pomalá piesková filtrácia s membránovou technológiou. Pomalé pieskové filtre už nie sú v prevádzke, ich činnosť nahradili ultrafiltračné moduly. Pôvodná kapacita ÚV Červený Kláštor bola 3,5 l/s, po rekonštrukcii a inštalovaní membránovej technológie má výkon 2 l/s.

Obr. 1. *ÚV Štrbské Pleso – pohľad do ÚV s ultrafiltračnými modulmi (vľavo), ÚV Štôla – hala s pomalými pieskovými filtrami, vpravo*

V roku 2019 začala modernizácia ÚV Klenovec, ktorá upravuje povrchovú vodu z VN Klenovec, po rekonštrukcii je v technologickej linke úpravy vody zaradená flotácia a membránová mikrofiltrácia, v súčasnosti je kapacita úpravne vody 140 l/s.

Membránové technológie sa využívajú aj na odstraňovanie arzénu z vody. ÚV Jasenie upravuje podzemnú vodu z vodného zdroja „Rástová", v ktorom obsah arzénu dlhodobo dosahuje hodnoty od 40 až do 90 µg As/l. Pôvodná technológia (oxidácia As^{3+} na As^{5+} kontinuálnym dávkovaním roztoku $KMnO_4$ bola v roku 2007 nahradená ozonizáciou s následnou sorpciou As^{5+} hydratovanými oxidmi železa a filtráciou na kontinuálnom pieskovom filtri DynaSand®) bola v roku 2021 nahradená oxidáciou As oxidom chloričitým s následnou koaguláciou a separáciou vločiek pomocou ultrafiltrácie. Pred UF je predradená 200µm mechanická filtrácia. Projektovaný výkon po rekonštrukcii je 18 l/s.

Podobne rieši odstraňovanie arzénu z vody aj úpravňa vody Selec. Koncentrácia As v surovej vode je v rozmedzí 14,3 až 26,7 µg/l, pričom As v upravenej vode bol nameraný medzi 2,5 a 7,79 µg/l. Úpravňa voda je prevádzkovaná pri prietoku 9,5 l/s. Na pred-úpravu sa používa oxidácia AS(III) na As(V) pomocou chlórnanu sodného, čím sa zlepší afinita arzénu na koagulačné činidlo. Ako koagulačné činidlo sa používa PAX18, avšak na záchyt As sú účinné aj iné koagulačné činidlá. Na intenzívne zamiešanie chemických činidiel s vodou sa používa odstredivé čerpadlo slúžiace na zabezpečenie potrebného tlaku a prietoku a následne statický zmiešavač. V rúrovom reaktore prebieha koagulácia a tvorba mikro-vločiek, ktoré sú dostatočne veľké na efektívnu filtráciu. Výsledkom tohto, už rokmi prevádzkovaného procesu, je účinná úprava vody. Koncentrácia As na výstupe z úpravne sa dá jednoducho nastaviť a kontrolovať voľbou dávky koagulačného činidla.

5. DISKUSIA

Celkový počet úpravní, ktoré boli dané do prevádzky je 138, v súčasnosti je z tohto počtu v prevádzke 80 úpravní vôd, 14 z nich bolo zrekonštruovaných. Počet zrekonštruovaných úpravní vzhľadom k celkovému počtu úpravní vôd a rokom, kedy boli dané do prevádzky je príliš nízky. Prevádzkované úpravne vôd sú bez väčších zásahov do technologickej zostavy, či strojno-technologického zariadenia v prevádzke niekoľko desaťročí. Je len samozrejmé, že väčšina z nich je morálne i fyzicky opotrebovaná. Mnohé z týchto úpravní sa stávajú zraniteľnými zvlášť v prípadoch náhleho zhoršenia kvality vody, ktoré je spôsobené dopadmi klimatických zmien, ako napr. prívalové dažde, náhle topenie snehu, nedostatok vody v dôsledku sucha a pod. Problémom nie je iba samotný výskyt týchto nepriaznivých stavov, ale aj dĺžka času ich trvania, ktorá vyžaduje operatívny zásah prevádzkovateľa. Mnohé z nich je nutné v týchto kritických situáciách odstaviť z prevádzky, nakoľko jestvujúcou technológiou úpravy vody nie je zabezpečená výroba kvalitnej pitnej vody. Väčšina úpravní v podhorských oblastiach má len jeden separačný stupeň – filtráciu bez koagulácie, dokonca v niektorých je použitá tlaková filtrácia.

Vplyvom zhoršovania upravovanej vody, v niektorých prípadoch i nevyhovujúcim technologickým zariadeniam získavanie kvalitnej vody v týchto úpravniach vody je možné len s veľkým úsilím a vynaložením zvýšených finančných prostriedkov. Dôvodom sú nasledovné skutočnosti:

- zastaralé a nespoľahlivé technologické zariadenia s vysokými energetickými nárokmi,
- nízka účinnosť technologických zariadení,
- zhoršovanie kvality vody odoberanej z povrchových zdrojov.

Zhoršovanie kvality vody bolo zaznamenané v ostatných rokoch vo vodárenských nádržiach Klenovec, Hriňová, Málinec, Rozgrund a v súčasnej dobe aj v Turčeku.

Zvýšenie účinnosti úpravní vôd môže byť dosiahnuté zefektívnením:

- *usadzovacieho procesu* lamelovými usadzovacími nádržami, prípadne tento proces nahradiť *flotáciou*,
- procesu *filtrácie* – vhodnou konštrukciou filtra, zvlášť výmenou starého dna s dýzami za systémy typu Leopold alebo Triton, ktoré prinášajú nielen účinnejšiu filtráciu, ale i regeneráciu – pranie filtračnej náplne a vhodnou voľbou materiálu. Veľmi účinný separačný proces v úprave vôd predstavujú membránové technológie.

Väčšiu pozornosť je potrebné venovať predúprave vody – odstraňovaniu siníc a iných živých organizmov, využívaniu aktívneho uhlia na odstraňovanie organického znečistenia, znižovaniu agresivity vody a obohacovaniu vody o horčík, príp. vápnik.
V posledných rokoch je badateľná snaha o modernizáciu technologických procesov, ktorá sa už aj na Slovensku stáva realitou pripravovanými, realizovanými a zrealizovanými modernizáciami úpravní vôd, napr. úpravne Perlová Dolina, Štrbské Pleso, Demänovská Dolina, Osuské, Borinka, Holíč, Turček a v súčasnosti úpravne vody Klenovec a Málinec.

Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2020/2184 zo 16. decembra 2020 o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu sprísňuje pravidelnú kontrolu účinnosti separácie pevnej formy. Prevádzkovateľ musí monitorovať aj parameter „zákal" upravenej vody, v prípade ktorého je nutné spĺňať výrazne sprísnenú, referenčnú hodnotu pre zákal 0,3 NTU u 95 % vzoriek, pričom žiadna nepresahuje 1 NTU (neuplatňuje sa na zdroje podzemných vôd, v prípade ktorých je zákal spôsobený železom a mangánom).

Túto novú smernicu má Slovenská republika povinnosť implementovať do 10 rokov. Prevažná väčšina úpravní vôd na Slovensku však nedisponuje takým separačným stupňom, ktorý by dokázal splniť vyššie uvedenú požiadavku a preto bude potrebná ich modernizácia. Vzhľadom na relatívne krátky implementačný čas a vysoký počet úpravní, ktoré budú vyžadovať modernizáciu technológie, je nevyhnutné začať bezodkladne s ich postupnou rekonštrukciou.
Sú dve cesty. Optimalizovať súčasnú technológiu úpravy vody alebo použiť membránové technológie. Napr. ultrafiltrácia zaručuje zákal upravenej vody pod 0,2 NTU.

6. ZÁVER

Procesy úpravy vody sú veľmi komplexné. Kvalita vody sa líši na každej lokalite, čo je spôsobené variabilitou výskytu rôznych látok s rôznym koncentračným rozmedzím, preto pri návrhu nových technologických postupov v úprave vody je potrebné vychádzať z výsledkov polopreváddzkových experimentov.
Modernizácia úpravní vôd je a isto ešte dlho bude jediným spôsobom, ako zachovať ich prevádzky schopnosť a ako pomocou uplatňovania technického rozvoja zvyšovať kvalitu prevádzky. Modernizácia je pre všetkých účastníkov oveľa náročnejšia na prípravu a realizáciu, ako je výstavba novej úpravne. Vzájomná výmena skúseností je najefektívnejší spôsob ako prekonať ťažkosti, ktoré sú viac, či menej súčasťou každej modernizácie.

POĎAKOVANIE

Článok bol pripravený za finančnej podpory projektu VEGA 1/0666/23 a APVV-22-0610 a za pomoci pracovníkov vodárenských spoločností, ktorí nám poskytli potrebné informácie.

ZOZNAM LITERATURY

1. MWH´s Water Treatment, Principles and Design, Third Edition, autori John C. Citenden, et al. John Wiley and Sons, Inc., 2012, ISBN 0470405392, pp. 1920
2. PELIKÁN, P., BUCHLOVIČOVÁ, J. 2016. Modernizácia úpravní vôd v Slovenskej republike. In: Sborník XX. mezinárodní konference Voda Zlín 2016, Zlín, ČR,17.-18.3.2016, ISBN 978-80-905716, s. 47–52.
3. ŠIMKO V, 2007. Zásobovanie pitnou vodou v SR – zabezpečenie kvality a technológia úpravy vody. In: Sborník XI. mezinárodní konference Voda Zlín 2007, Zlín, ČR, ISBN 978-80-239-8740-9, s. 23–26.
4. ILAVSKÝ, J., BARLOKOVÁ, D., 2015. Modernizácia veľkých úpravní vôd v podmienkach Slovenska. In: Pitná voda 2015: zborník prednášok z XVI. Konferencie s medzinárodnou účasťou. Trenčianske Teplice, SR, 6. – 8. 10. 2015. 1. vyd. Bratislava: VodaTím, 2015, s. 55–62. ISBN 978-80-971272-3-7.
5. BARLOKOVÁ, D., ILAVSKÝ, J., ŠIMKO, V., KAPUSTA, O, 2018. Úprava vody a jej budúcnosť v podmienkach Slovenska. In: Voda Zlín 2018. Olomouc: Moravská vodárenská, 2018, s. 13–18. ISBN 978-80-905716-4-8.

PROČ JE DŮLEŽITÉ MÍTI ...

Milan Drda, Ing. Petra Hrušková, Ing. Kryštof Hnojna

ENVI-PUR, s.r.o., Na Vlčovce 13/4, 160 00 Praha 6 – Dejvice
e-mail: drda@envi-pur.cz, hruskova@envi-pur.cz, hnojna.krystof@envi-pur.cz

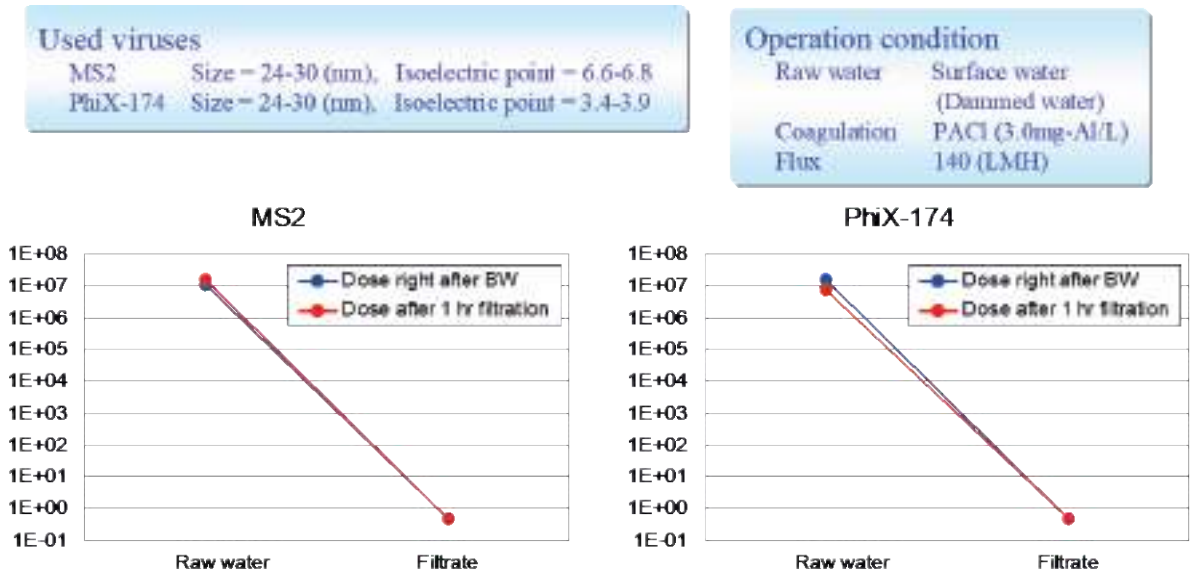
1. ÚVOD

Při úpravě vody se setkáváme s různými neočekávatelnými situacemi. Některé je možné řešit pomocí stávajících zařízení a technologií, pro některé je nutné použít nové postupy a technologie. Je proto dobré být dopředu připraven. Membránové technologie jsou nesporně technologiemi budoucnosti, a proto jsme se rozhodli vyvinout, postavit a odzkoušet zařízení, které bude připraveno reagovat na různé potřeby úpravy vody a zároveň bude mobilní a přizpůsobivé pro rychlé použití. A tak vznikla v roce 2009 mobilní úpravna vody AMAYA.

2. AMAYA

Z dostupných membránových technologií jsme se rozhodli pro aplikaci technologie keramické membránové mikrofiltrace s předřazenou koagulací.
Mělo to několik důvodů:

- ověřili jsme si, že předřazená koagulace může být velmi krátká, v řádu desítek sekund až jednotek minut,
- spojením koagulace a filtrace lze na keramických membránách upravovat různé typy vod. Ačkoliv nominální velikost pórů membrány je 0,1 µm, tento integrovaný filtrační systém odstraňuje nejen nerozpuštěné látky, ale i veškeré bakterie, některé rozpuštěné látky, protozoa a viry [1],
- keramická membrána má vysokou mechanickou i chemickou odolnost, tzn. dlouhou životnost,
- keramická membránová mikrofiltrace s předřazenou koagulací má vysokou stabilitu vůči zákalu,
- keramická membránová mikrofiltrace s předřazenou koagulací má vysoký průtok membránou při nízkém tlaku – obvyklý TPM je mezi 10-90 kPa a Flux 100–200 LMH,
- keramická membránová mikrofiltrace s předřazenou koagulací má nízkou vlastní spotřebu vody – od 0,5 do 2 %,
- po průchodu membránou dochází v podstatě k úplné hygienizaci upravené vody (při testování odstraňování virů, byl proveden pokus za použití dvou typů virů s rozdílným isoelektrickým bodem, MS-2 a PhiX-174. Oba viry byly dávkovány do surové vody, odebírané z vodní nádrže, s koncentrací přibližně 107 KTJ/ml a filtrát byl odebírán hned po pracím cyklu (BW – backwash) a 1 hodinu po začátku filtrace. V obou případech byl obsah virů ve filtrátu pod mezí detekce pro všechny vzorky. Účinnost odstraňování virů je vyšší než LRV 6. [1] (Obr. 1.),
- keramickou membránu je možno recyklovat a po použití se nestává odpadem.



Obr. 1. *Odstranění virů MS-2 a PhiX-174 po provedení praní membrány a po hodině provozu*

3. PROČ JE DŮLEŽITÉ MÍTI AMAYA

Díky kompaktním rozměrům a možnosti využití pro různé typy vod se podařilo využít tuto mobilní úpravnu při:

– **Havarijních nebo mimořádných situacích** – např. tato úpravna zajišťovala výrobu pitné vody pro obec Trnová (cca 250 obyvatel), kde 16. 6. 2015 vydala KHS předběžné opatření na zákaz používání vody z vodovodu k pití, přípravu jídel, mytí předmětů přicházejících do styku s potravinami a mytí osob pro osobní hygienu. V obci byly každý druhý den vyměňovány dvě cisterny s pitnou vodou jako náhradní zdroj zásobování pitnou vodou. Díky dohodě s Vodovody a kanalizace Beroun a.s. na zapůjčení mobilní úpravny vody AMAYA se pak až do doby vybudování nového přivaděče pitné vody do obce (od 1. 6. 2016 do 31. 10. 2018) upravovala surová voda z Vltavy přes AMAYU, čímž byly opětovně zajištěny dodávky pitné vody ve standardním režimu. Dalším použitím této mobilní úpravny bylo např. doplňování pitné vody do systému zásobování pitnou vodou v městě Vyšší Brod. Tři roky po sobě, než si město zvětšilo kapacitu stávající úpravny (technologií keramické membránové mikrofiltrace s předřazenou koagulací). Dalším zajímavým využitím bylo v roce 2017 zásobování areálu vodních sportů Čunovo (nejjižnější část Bratislavy) v rámci konání mistrovství světa juniorů na divoké vodě. Surová voda byla odebírána z vodního díla Gabčíkovo a upravená voda zásobovala vodojem areálu vodních sportů (Obr. 2.). Zajímavostí je, že na výrobu 490 m^3 bylo spotřebováno jen 1 m^3 prací vody (0,2 %). Při řešení havarijního stavu kvality upravené vody v obci Opatov (Třebíčsko), kdy se stávající technologie úpravy vody nebyla schopná vypořádat s náhlým nárůstem huminových látek v surové vodě, AMAYA v podstatě okamžitě dokázala nahradit tuto technologii a nebylo nutné přistoupit k havarijnímu zásobování obyvatelstva pomocí cisteren. Dalšími lokalitami, kde AMAYA pomohla vyřešit krátkodobý nedostatek kapacity stávající úpravny pitné vody je město Dobříš a České Velenice. Při rekonstrukci ÚV Kroučová, kde se upravuje podzemní voda s nadlimitním obsahem železa, sloužila mobilní AMAYA v kontejneru několik měsíců jako náhradní zdroj zásobování pitnou vodou (Obr. 3. a 4.).

– **Poloprovozním ověření vhodnosti využití membránové technologie** – jak jsme již uvedli, považujeme membránové technologie za technologie budoucnosti. Možnost si poloprovozně na konkrétní lokalitě ověřit veškeré možnosti, které tato technologie nabízí,

je velmi důležitá pro rozhodování o budoucím využití. Jako první jsme v roce 2009 mobilní úpravnu vody AMAYA vyzkoušeli pro Pražskou teplárenskou a.s., Teplárnu Michle, CHÚV. Zdrojem surové vody byla řeka Vltava a zkoušela se jednostupňová úprava vody pro demineralizační stanici. Dalšími místy provádění poloprovozních testování byly: na povrchové vodě např. úpravna vody Klenovec, střední Slovensko (z toho je úspěšná realizace na 110 l/s), Úpravna vody Strašice, Úpravna vody Hrobice (Pardubice, další úspěšná realizace Q_{max} 100 l/s), úpravna vody Vyškov, úpravna vody Studená (v realizaci Q_{max} 15 l/s), úpravna vody III. Mlýn, úpravna vody Litvínov, úpravna vody Vír a úpravna vody Podolí. Na podzemní vodě jsme prováděli poloprovozní ověření technologie keramické membránové mikrofiltrace na úpravně vody Brodek a úpravně vody Kelčice. Na základě těchto poloprovozních zkušeností byly vyprojektovány úpravna vody Kašparov, která je již ve výstavbě a úpravna vody Kelčice, kde se bude zahajovat stavba začátkem června tohoto roku.

– **Speciálních aplikacích** – např. při testování vhodnosti použití technologie keramické membránové mikrofiltrace s předřazenou koagulací pro doplňování vody do Velkého Boleveckého rybníka. Na základě těchto poloprovozů byla podstavena úpravna vody s kapacitou 20 l/s.

– **Recyklaci vody** – získali jsme zkušenosti při úpravě vody pro její znovuvyužití na dvou čistírnách odpadních vod (jedna s kapacitou cca 50 000 EO, druhá s kapacitou více než 400 000 EO) a díky poloprovoznímu ověření jsme dodali kompletní úpravnu vody pro recyklaci vody z autoklávů s kapacitou 8 l/s.

Na většině výše uvedených lokalitách byl použitý základní poloprovozní model technologie keramické membránové mikrofiltrace s předřazenou koagulací AMAYA s kapacitou max. 5 m^3/h upravené vody (Obr. 5).

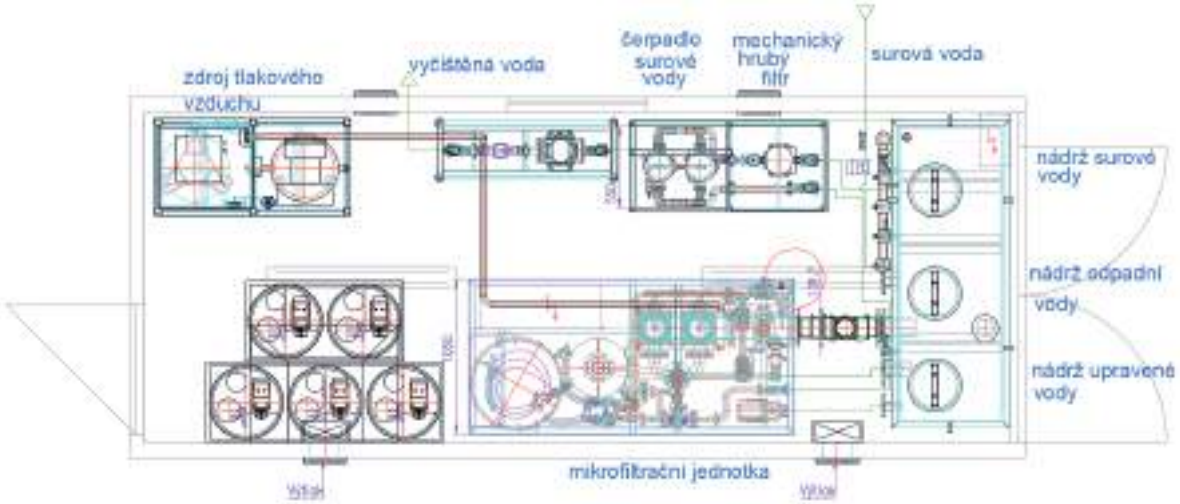
Obr. 2. *Areál vodních sportů Čunovo a osazení mobilní úpravny AMAYA*

Obr. 3. *Mobilní úpravna vody AMAYA na ÚV Kroučová na podzim 2023*

Obr. 4. *Mobilní úpravna vody AMAYA na ÚV Kroučová v zimě*

Obr. 5. *Mobilní poloprovozní model keramické membránové mikrofiltrace AMAYA 5*

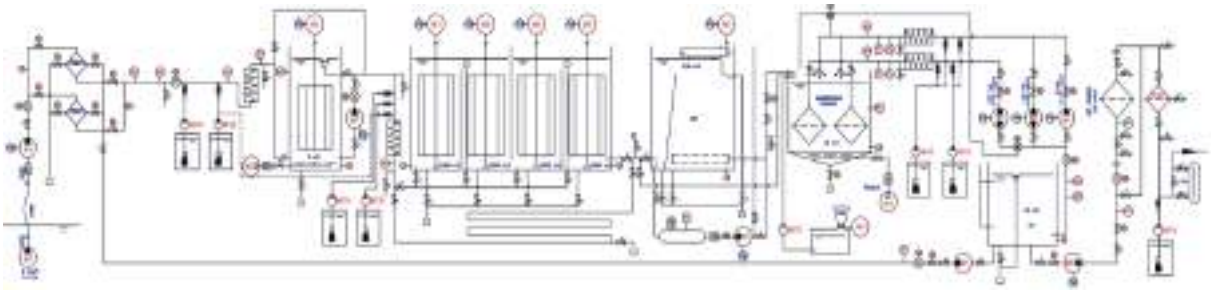
Od roku 2020 máme k dispozici novou poloprovozní mobilní jednotku s technologií keramické membránové mikrofiltrace s předřazenou koagulací AMAYA s kapacitou max. 6 m^3/h upravené vody (Obr. 3., Obr. 4. a Obr. 6.). Tato jednota je umístěna ve ISO kontejneru (20') a obsahuje mechanické předčištění, kompletní technologii úpravy vody, chemické hospodářství, akumulaci upravené vody a čerpání vody do spotřebiště (Obr. 3., Obr. 4. a Obr. 6.).



Obr. 6. Půdorysný řez mobilní poloprovozní jednotkou keramické membránové mikrofiltrace AMAYA 6

4. A CO DÁLE?

Rozhodli jsme se pokračovat ve vývoji a realizaci mobilních jednotek a v rámci projektu VI04000014 Vývoj mobilní energeticky nezávislé jednotky úpravny pitné vody pro pohotovostní nasazení v krizových situacích, který byl spolufinancován Ministerstvem vnitra. Navrhli, postavili a odzkoušeli jsme mobilní a energeticky nezávislou jednotku úpravny pitné vody s kapacitou 4 m^3/h. Naším partnerem v tomto projektu byla Technická univerzita v Liberci. Tato úpravna, kterou označujeme IMPACT, je schopna nejpozději do 24 h zajistit pohotovostní dodávky pitné vody pro obyvatelstvo v krizových situacích (např. povodně, karanténa, humanitární akce, polní nemocnice, hromadné evakuace, nedostatečná kapacita vodovodní sítě, kontaminace primárního zdroje pitné vody apod.). Mobilní úpravna IMPACT je umístěna v ISO kontejneru (40') a je nezávislá na připojení k energetické síti, ale samozřejmě k ní připojená být může. Obsahuje sofistikovaný a plně autonomní řídící systém s on-line přístupem.
Uvnitř kontejneru IMPACTu je mechanická předfiltrace s automatickým praním a s možností volby velikosti průliny. Po mechanickém předčištění je voda akumulována. Pro další úpravu je možné si zvolit koagulační reaktor – buď trubkový nebo mechanicky míchanou sestavu reakčních nádrží. Po koagulaci následuje flotace a membránový reaktor s ponořenou membránou. V membránovém reaktor je primárně použitý keramický membránový modul, ale je možné si zvolit i jiný typ a materiál membrány. Následně je zařazen sorpční stupeň na granulovaném aktivním uhlí. Hygienizaci upravené vody je možné řešit bezchlorově – přes UV záření nebo ozonizaci (máme ji připravenou v dalším lodním kontejneru), případně pomocí dávkování chlornanu sodného. Provozně lze všechny technologické stupně různě kombinovat nebo obtokovat, stejně variabilní jsou dávkovací místa provozních chemikálií. Technologické schéma mobilní jednotky IMPACT je na Obr. 7.



Obr. 7. Technologické schéma mobilní jednotky IMPACT

5. ZÁVĚR

Na výše uvedených informacích je prokazatelné, že naše cesta aplikace nejnovějších technologií spolu s využitím výsledků a zkušeností z vlastního vývoje vedla k ověření navržených technologií a řadě úspěšných aplikací. Jsme připraveni se s vámi podělit o zkušenosti, poskytnout vám náš zkušený tým a mobilní zařízení při řešení havarijních nebo mimořádných situací, případně při návrhu a poloprovozním ověření různých technologií při úpravě vody.

SEZNAM LITERATURY

1. N. Myers, I. Kruger Inc., Jun. 2009, New treatment plant to feature ceramic membranes, jurnal of WaterWorld

VYUŽITIE MEMBRÁNOVÝCH PROCESOV NA ODSTRAŇOVANIE MANGÁNU Z VODY

prof. Ing. Ján ILAVSKÝ, PhD. [1], **prof. Ing. Danka BARLOKOVÁ, PhD.** [1], **Ing. Michal PROSŇANSKÝ, PhD.** [2]

[1] *Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, SvF STU, Radlinského 11, 810 05 Bratislava*
[2] *PRAKTIKPUMP, s.r.o., Priemyselná 444, 965 01 Ladomerská Vieska*
e-mail: jan.ilavsky@stuba.sk

1. ÚVOD

Mangán (Mn) v pitnej vode môže pôsobiť esteticky a spôsobiť prevádzkové problémy [1,2]. Na odstraňovanie mangánu z vody sa používajú rôzne technológie v závislosti od kvality vodárenského zdroja, koncentrácie Mn v upravovanej vode, požadovanej koncentrácie Mn v upravenej vode a od množstva upravovanej vody. Princíp väčšiny metód používaných na odstraňovanie mangánu spočíva v tom, že pôvodne rozpustený mangán v oxidačnom stupni II sa premieňa na nerozpustené zlúčeniny MnO_2, príp. $Mn(OH)_2$. Tieto častice je možné odstrániť jednostupňovou alebo dvojstupňovou separáciou. Rýchlosť oxidácie a hydrolýza mangánu prebieha za prísnych podmienok s ohľadom na vlastnosti vody (pH vody, ORP, teplota vody) a typ zariadenia na odstraňovanie mangánu.

Mangán sa odstraňuje fyzikálnymi, chemickými a biologickými procesmi alebo kombináciou týchto metód. Na odstraňovanie Mn z podzemných a povrchových vôd je možné použiť [3]:
- oxidáciu prevzdušňovaním,
- oxidáciu rôznymi oxidačnými činidlami (O_2, Cl_2, O_3, $KMnO_4$),
- alkalizáciu (pridaním vápna),
- kontaktnú filtráciu,
- iónovú výmenu,
- membránové procesy,
- biologickú filtráciu
- metódu in situ.

Najrozšírenejšia je oxidácia Mn(II) vzdušným kyslíkom, chlórom, chlórdioxidom alebo ozónom, pričom je dôležitý čas oxidácie (reakčný čas) a dávka oxidačného činidla. Potrebná teoretická dávka oxidačného činidla je uvedená v tab. 1. Vzácnejšia vo vodárenskej praxi je eliminácia mangánu z vody pomocou vymieňačov iónov a membránová separácia. Pri menších obsahoch sa dá použiť pomalá filtrácia, resp. kontaktná filtrácia ako jediný stupeň separácie z predchádzajúcim prevzdušnením vody [4].

Tab. 1. *Dávky oxidačního činidla [3]*

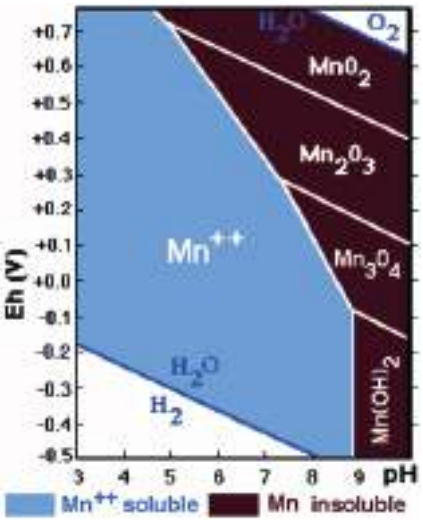
Oxidačné činidlo	**Dávka potrebná na oxidáciu 1 mg [mg]**	
	Fe	**Mn**
Chlór Cl_2	0,62	1,27
Chlórdioxid ClO_2	1,21	2,45
Manganistan draselný $KMnO_4$	0,94	1,92
Ozón O_3	0,43	0,88

Hoci procesy fyzikálneho a chemického odstraňovania sa skúmajú už desaťročia, stále existujú medzery vo vedomostiach. Objav nežiaducich vedľajších produktov pri použití určitých

oxidantov pri úprave vody ovplyvnil fyzikálno-chemické metódy odstraňovania Mn. Pochopenie mikroorganizmov prítomných v systémoch, ktoré praktizujú biologické odstraňovanie Mn, sa v poslednom desaťročí zvýšilo, pretože navrhované metódy sa stali sofistikovanejšími, čo vedie k rastúcemu používaniu bio-filtrácie na odstraňovanie Mn. Výber spôsobu odstraňovania Mn musí byť integrovaný do celkového dizajnu a prevádzky zariadenia na úpravu vody.

1.1. Formy výskytu mangánu vo vodách

Vo vodách sa mangán vyskytuje buď v rozpustenej forme ako Mn(II), alebo vo vyšších nerozpustených formách Mn(III) a Mn(IV). Tiež sa môžu vyskytovať v koloidnej forme (viazané na humínové látky).
Forma ich výskytu závisí od koncentrácie kyslíka, rozpustnosti zlúčenín Mn vo vode, pH, redox potenciálu, hydrolýzy, prítomnosti komplexotvorných anorganických a organických látok, teploty vody a samotného zloženia vody (napr. od obsahu CO_2) [5].
V literatúre sa uvádzajú rôzne grafické závislosti pH vody a oxidačno-redukčného potenciálu pre látky prítomné vo vode. Na obr. 2. sú zobrazené formy výskytu Mn v závislosti od ORP (Eh) a pH vody.



Obr. 1 Diagram stability mangánu [6]

1.2. Vplyv na kvalitu vody

Negatívne pôsobenie vyšších koncentrácií Mn v pitnej vode možno zhrnúť do týchto bodov:

a) mangánaté ióny sú v rozvode pitnej vody chemicky oxidované do vyšších foriem, čím vznikajú suspenzie hydroxidov, ktoré dávajú pitnej vode neprijateľný zákal a čierno-hnedé sfarbenie, čo môže viesť k sťažnostiam spotrebiteľov,
b) vo vodovodnej sieti sa môžu vyskytovať mangánaté baktérie, pričom dochádza k zmene kvality vody (zápach) a k zarastaniu potrubia,
c) ak dôjde k prieniku mangánatých iónov až ku spotrebiteľovi, dochádza k oxidácii a vylučovaniu mangánu na miestach, kde sú na to vhodné podmienky (napr. v bojleroch, umývačkách a práčkach), v tomto môže mať mangán aj negatívny ekonomický dopad na užívateľa vody, ak tieto zariadenia nefungujú optimálne,
d) mangán a nerozpustné častice mangánu môžu zanášať armatúry, ukladať sa na iné povrchy, vytvárať povlaky na filtračných materiáloch a farbiť bielizeň,

Z toho vyplýva, že vyššie koncentrácie mangánu vo vodnom zdroji spôsobujú technologické problémy, poruchy v prevádzkach vodovodných sietí, sú príčinou zhoršenia kvality vody, ak sú tieto vody mierne prekysličené, vytvárajú nežiadúce inkrustácie, ktoré zmenšujú prietočné profily potrubí [4].

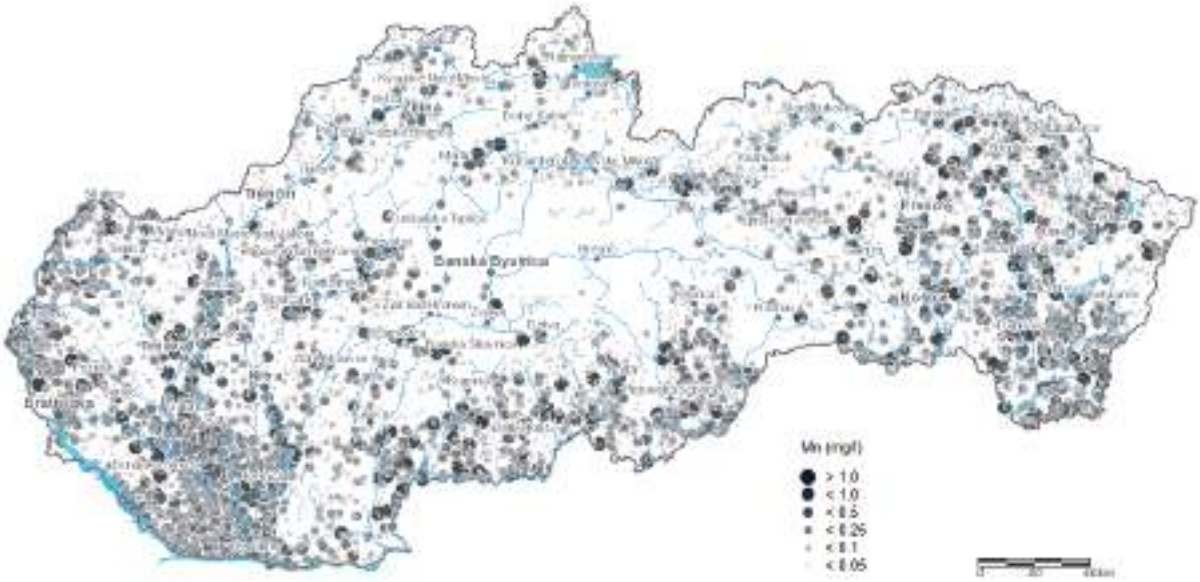
Tab. 2. *Hmotnostný tok Mn a MnO_2 v distribučnej sieti*

Koncentrácia Mn (mg/l)	0,05	0,151	0,05	0,151
Prietok	**Hmotnostný tok Mn (kg/rok)**		**Hmotnostný tok MnO_2 (kg/rok)**	
10 l/s	16	48	25	75
20 l/s	32	95	50	151
30 l/s	47	143	75	226
40 l/s	63	190	100	302
50 l/s	79	238	125	377
60 l/s	95	286	150	453
70 l/s	110	334	175	528
80 l/s	126	381	200	604

V tab. 2 sú uvedené hodnoty Mn a MnO_2 vyskytujúce sa v distribučnej sieti (v kg/rok) pre rôzne prietoky. Tabuľka uvádza hodnoty pre limitnú koncentráciu Mn v pitnej vode (0,05 mg/l Mn) a pre hodnotu 0,151 mg/l, čo bola priemerná koncentrácia mangánu v studni v lokalite Jelka počas experimentov, ktoré budú popísané v ďalšej časti článku.

1.3. Výskyt mangánu v podzemných vodách na Slovensku

Podľa Správy o stave životného prostredia Slovenskej republiky z roku 2022 zo 1333 vzoriek podzemnej vody (703 objektov monitoringu) prekračovalo železo limit 0,2 mg/l vo viac ako 29.1 % analyzovaných vzoriek, u mangánu, ktorého limitná hodnota v pitnej vode je 0,05 mg/l malo nadlimitné hodnoty viac ako 41,6 % vzoriek podzemných vôd. Limitné hodnoty sú uvedené vo Vyhláške MZ SR č. 91/2023 Z.z., ktorou sa ustanovujú ukazovatele a limitné hodnoty kvality pitnej vody a kvality teplej vody, postup pri monitorovaní pitnej vody, manažment rizík systému zásobovania pitnou vodou a mažment rizík domových rozvodných systémov. Na obr. 1 je ukázaný výskyt Mn v podzemných vodách na Slovensku.



Obr. 2. *Výskyt Mn v podzemných vodách na Slovensku (Geochemický atlas časť I: Podzemné vody)*

1.4. Vodárenský zdroj Jelka

Vodárenský zdroj Jelka sa nachádza v severovýchodnej časti Chránenej vodohospodárskej oblasti Žitný ostrov. Je zdrojom vody pre skupinový vodovod Jelka-Galanta-Nitra. Pozostáva zo siedmych vŕtaných širokopriemerových studní, označených HJ-1 až HJ-7 so sumárnym odporúčaným odberom vody 720 l/s, s hĺbkou studní od 40 do 65 m. Podzemná voda je stredne mineralizovaná, hygienicky zabezpečovaná dávkovaním chlórdioxidu.

Koncentrácia mangánu po zmiešaní vody zo všetkých studní je dlhodobo pod 0,05 mg/l. Avšak priemerná koncentrácia Mn v studní HJ-6 je priemerne až 0,151 mg/l. Čerpané množstvo z tejto studne je 80 l/s, čo predstavuje hmotnostný tok mangánu 382 kg/rok. Po trase mangán oxiduje na MnO_2 a postupne vypadáva v potrubí, resp. v akumulačných nádržiach, pričom ročný tok MnO_2 predstavuje až 604 kg/rok. Toto významné množstvo usadeného MnO_2 spôsobuje dlhodobé problémy najmä pri nárazových odberoch, kedy sa usadeniny vyplavujú do pitnej vody a zhoršujú senzorické vlastnosti vody a upchávanie armatúr.

2. MEMBRÁNOVÉ SPÔSOBY ODSTRAŇOVANIA MANGÁNU Z VODY

Ultrafiltračná technológia preukázala veľký potenciál v rôznych oblastiach úpravy vody pre svoje vlastnosti, ako je nízka spotreba energie, jednoduchá konštrukcia, nízka zastavanosť, pohodlná obsluha a ľahko realizovateľná automatizácia atď., a možno ju použiť aj pri odstraňovaní mangánu z vody.

Na úpravu podzemnej vody pri vysokých koncentráciách Fe^{2+} a Mn^{2+} a nízkych teplotách bol zavedený proces gravitáciou poháňanej membrány (GDM), ktorý využíva dve vrstvy, biologickú a UF membrány. Výsledky ukázali, že stabilizácia toku bola pozorovaná počas dlhodobej GDM filtrácie s priemernými stabilizovanými tokmi 3,6 – 5,7 $l.m^{-2}.h^{-1}$. Proces GDM priniesol účinné odstránenie Fe^{2+} a Mn^{2+} s účinnosťou 95 %. Pridanie oxidov mangánu (MnO_X) by mohlo skrátiť dobu zapracovania biovrstvy pri odstránení mangánu z 50 na 30 dní a súčasne prispieť k odstráneniu Mn^{2+} a zlepšeniu toku. Prítomnosť Mn^{2+} v upravovanej vode uľahčila tvorbu heterogénnej štruktúry vrstvy biofiltra. Na odstránení Mn^{2+} sa primárne podieľala biologická vrstva, až sekundárne samotná UF membrána, kľúčovú úlohu zohrala chemická autokatalytická oxidácia časticami MnO_X [7].

V práci [8] sa odstraňovanie rôznych koncentrácií železa a mangánu spolu s dávkami chlóru z jazernej vody skúmalo pomocou rôznych ultrafiltračných (UF) systémov v spojení s in-line predchloračným krokom. Bolo sledované zanášanie membrány oxidovanými časticami železa a mangánu s vizualizáciou povrchov membrán. Pre napájaciu vodu s obsahom 1,0 mg/l Fe a/alebo 0,5 mg/l Mn sa dosiahlo podstatné odstránenie železa aj bez pridania chlóru v dôsledku oxidácie Fe^{2+} na Fe^{3+} rozpusteným kyslíkom a následnej tvorby menej rozpustných častíc hydroxidu železitého. V neprítomnosti chlóru došlo len k zanedbateľnému odstraňovaniu mangánu, ale s dávkou chlóru sa účinnosť odstraňovania mangánu výrazne zvýšila a dosiahla úroveň viac ako 80 % (čo zodpovedá koncentrácii 0,1 mg/l Mn v upravenej vode) pri dávke chlóru 3 mg/l ako Cl_2. S vyššou dávkou chlóru (napr. 5 mg/l Cl_2) nedošlo k významnému zvýšeniu odstraňovania kovových iónov, ale došlo k vážnejšiemu znečisteniu membrány. Účinnosti odstraňovania zákalu a prirodzenej organickej hmoty (NOM) sa zvýšila, pretože oxidy kovov, vytvorené chloráciou, mohli slúžiť ako adsorbenty.

Nízkotlaková ultrafiltračná membrána (LPM) je ideálna technológia pre decentralizované zásobovanie vodou. Je použiteľná na odstraňovanie rozpusteného železa (Fe^{2+}), mangánu (Mn^{2+}) a amoniaku (NH_4^+). V práci [9] bola porovnávaná membrána LPM s membránou vopred naplnenou MnO_2 (Mn-LPM). Mn-LPM membrána umožnila vyšší tok vody a zároveň sa zvýšila účinnosť odstraňovanie Fe^{2+}, Mn^{2+} a NH_4^+. Účinnosť odstraňovania Mn^{2+} okamžite dosiahla 99,6 % v prvý deň úpravy. Predbežné zaťaženie MnO_2 tiež zvýšilo kapacitu odstraňovania NH_4^+. Výsledky naznačujú, že vyššia koncentrácia NH_4^+ viedla k hrubšej vrstve biologického koláča, čo koreluje s vyššou účinnosťou odstraňovania znečisťujúcich látok a znížením stabilného toku. Tieto zistenia podporujú návrh systémov LPM pre nákladovo efektívne decentralizované zásobovanie vodou v odľahlých oblastiach.

Na účinnosť odstraňovania Fe a Mn z vody môže výrazne vplývať obsah humínových látok. V článku [10] sa na odstraňovanie železa a mangánu použila oxidácia s následnou separáciou častíc ultrafiltráciou a nanofiltráciou za prítomnosti vyššej koncentrácie humínových látok (HS) vo vode. Táto štúdia sa zamerala na výkon ultrafiltrácie (UF) a nanofiltrácie (NF), ktorým predchádzali koagulačné, flokulačné a sedimentačné procesy na odstránenie železa, mangánu a HS, pričom boli použité dva rôzne zdroje vody s vysokou hodnotou humínových zlúčenín, vyjadrené rozpusteným organickým uhlíkom (DOC) a UV absorbanciou pri 254 nm. Koagulácia, flokulácia a sedimentácia v kombinácii s UF/NF účinne odstránili rozpustené železo, HS, farbu a zákal. Konečné hodnoty rozpusteného železa boli nižšie ako 0,001 mg/l pre obidva zdroje vody. Popísaný systém úpravy vody nebol dostatočne účinný (menej ako 50 % účinnosť)

pri odstraňovaní rozpusteného mangánu, hoci sa dosiahlo významné zníženie HS (približne 80 % po UF a 90 % po NF) merané ako DOC. Ukázalo sa, že klasická úprava vody je účinná na odstránenie vysokomolekulárneho HS, čím sa minimalizuje tvorba zanášania na membráne.

Odstránenie železa a mangánu z podzemnej vody s využitím manganistanu draselného, sedimentácie a filtrácie membránou je popísaná v práci [11]. Získané výsledky ukazujú, že manganistan draselný (PP) poskytuje dobré výsledky pri odstraňovaní železa a mangánu. Použitím polovičnej teoretickej dávky PP sa odstránilo až 100 % Fe a 90 % Mn pri rôznych testovaných koncentráciách pri pH=7,0. Zvyšujúca sa rýchlosť filtrácie samozrejme ovplyvňuje proces odstraňovania Mn^{2+}. Sedimentácia je potrebná, keď sú koncentrácie železa a mangánu vyššie ako 5,0 mg/l, aby sa znížilo rýchle upchávanie filtra.

Vplyv pH pri odstraňovaní železa a mangánu z modelovej vody bol sledovaný v práci [12] na základe kvality permeátu a výkonnosti membrán. V tejto štúdii boli testované dve komerčne dostupné polyamidové nanofiltračné a ultrafiltračné membrány (PA-NF, PA-UF), a ich schopnosť pri úprave modelovej podzemnej vody. Experimentálne výsledky ukázali, že pH v rozsahu 3–11 výrazne zlepšilo výkon membrány z hľadiska odstránenia Fe a Mn.

V práci [13] je hodnotené dlhodobé odstraňovanie rozpusteného Mn procesom membránovej filtrácie s použitím manganistanu sodného ($NaMnO_4$) ako oxidačného činidla pri úprave pitnej vody. Predoxidáciou s 0,67 mol/l NaMn04 počas 10 minút sa odstránilo 91 % rozpusteného Mn zo surovej vody. Okrem toho zvýšenie pH zlepšilo účinnosť odstraňovania, rovnako ako zmena teploty (83 % až 89 % pre 5,1 až 25 °C). Dodatočné použitie chloridu hlinitého ako koagulantu pomohlo odstrániť rozpustený Mn a aj organickú hmotu z vody. Použitie $NaMnO_4$ zohralo významnú úlohu pri odstraňovaní rozpusteného Mn na báze membránového filtra s použitím tlakových aj ponorených membránových filtrov.

Rýchlosť znižovania oxidov mangánu a organických látok vo vode pomocou predoxidačných a koagulačných/sedimentačných metód s rôznymi chemikáliami je uvedená v práci [14]. Pri použití NaOCl bola účinnosť odstraňovania organickej hmoty asi 11 %, zatiaľ čo u mangánu 12 %. Miera redukcie pri použití oxidu chloričitého (ClO_2) bola len 7 % pre organické látky, v prípade mangánu 29%. Manganistan draselný ($KMnO_4$) odstraňoval organickú hmotu a Mn efektívnejšie, s rýchlosťou 18 a 71 %.

V práci [15] je uvedený výskum odstraňovania zlúčenín mangánu z podzemných vôd s vysokým obsahom mangánu (5 mg/l a $CHSK_{Mn}$. Štúdia bola realizovaná na granulovaných sorbentových filtroch ODM-2F (frakcia 0,7–1,5 mm). Zistilo sa, že konvenčné technológie s oxidáciou a následnou filtráciou neumožňujú získať obsah mangánu pod 0,1 mg/l. Bola navrhnutá inovatívna technológia odstraňovania mangánu na báze oxidácie s nepretržitým zavádzaním reakčného katalytického činidla. Táto technológia je účinná pri alkalizácii až do pH 8,8–9. Manganistan draselný bol použitý ako katalytické činidlo, chlórnan sodný ako oxidačné činidlo a hydroxid sodný slúžil ako alkalizačné činidlo.

Membránová filtrácia po predchlórácii odstránila železo a mangán na úrovni 70 %. Použité oxidačné činidlá boli vzduch, NaClO, ClO_2 a $KMnO_4$. Použitím oxidácie s $KMnO_4$ koncentrácie železa a mangánu sa znížili o viac ako 90 % a po membránovej filtrácii boli hodnoty znížené až pod detekčný limit. Z ekonomického porovnania (na základe investičných a prevádzkových nákladov za 15 rokov odpisovania) medzi rýchlym pieskovým filtračným systémom a membránovým filtračným systémom s malou kapacitou (300 m^3/d) a strednou kapacitou (10 000 m^3/d) vyplýva, že celkové náklady na systém membránovej filtrácie sú približne rovnaké ako pre systém rýchlej pieskovej filtrácie v oboch kapacitách [16].

3. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Zariadenie na poloprevádzkový pokus pozostáva z nasledovných zariadení: 1) dávkovacieho čerpadla na dávkovanie oxidačného činidla, ktoré je nastrekované do potrubia na vstupe do 2) statického mixéra slúžiaceho na homogenizáciu oxidačného činidla so surovou vodou. Potom nasleduje 3) rúrový reaktor, ktorého funkciou je dosiahnutie dostatočnej doby zdržania na oxidáciu mangánu. Posledným stupňom úpravy vody je 4) separačný stupeň – ultrafiltrácia, ktorým sa odfiltruje zoxidovaný mangán. Upravená voda sa akumuluje v 5) v nádrži upravenej vode, v ktorej je umiestnené ponorné pracie čerpadlo. 6) v pravidelných intervaloch automat prepína filtráciu so spätným preplachom, na ktorý slúži spomenuté pracie čerpadlo.

Na odstraňovanie mangánu z pitnej vody bolo použité plne automatizované ultrafiltračné zariadenie s membránovým modulom UA-640 (Microdyn-Nadir) s riadiacim systémom, meraním transmembránového tlaku, spätným preplachom membrány vodou a vzduchom, s možnosťou chemického prania. Tab. 1 uvádza základné údaje membránového modulu.

Tab. 3. *Charakteristika ultrafiltračného modulu UA-640*

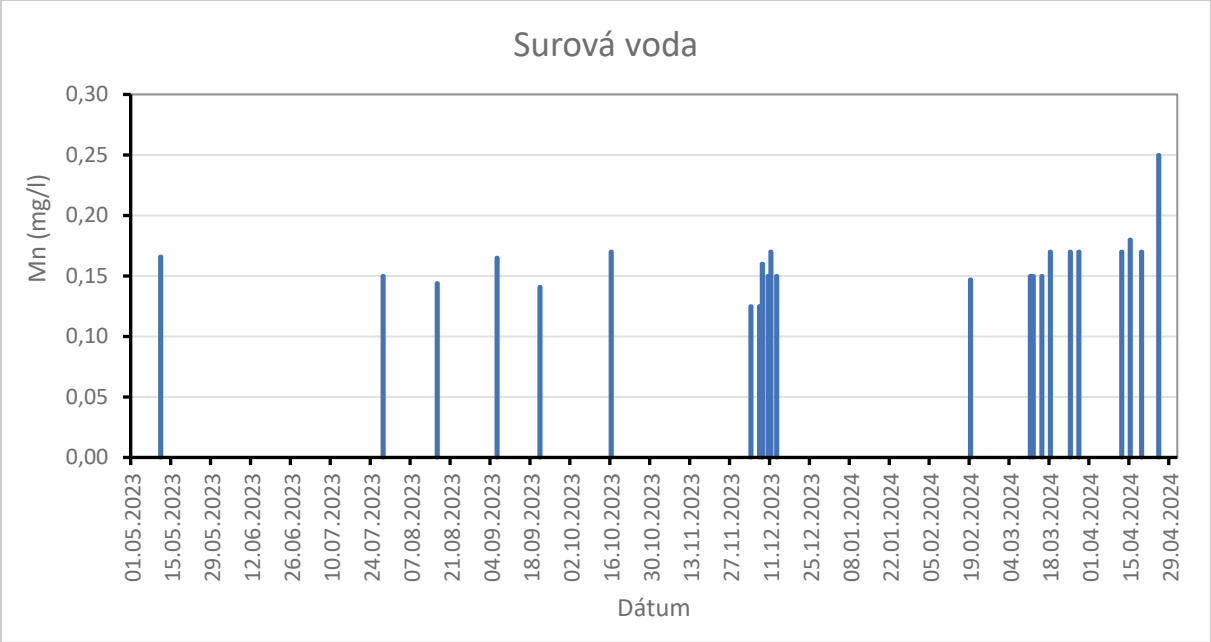
Typ membrány	modul s dutými vláknami	Maximálny prietok	do 1,3 m^3/h
Priemer vlákien	OD/ID: 2,1 mm/1,1 mm	Maximálny trans-membránový tlak	1 bar
Materiál membrány	PAN – polyakrylnitril		
Veľkosť pórov	0,025 µm	Max. tlak modulu	2 bar
Plocha membrány	16 m^2	Priemer modulu	168 mm
Typ filtrácie	priama filtrácia	Dĺžka modulu	1210 mm
Regenerácia	vodou a vzduchom	Maximálny zákal	300 NTU

Pri odstraňovaní mangánu z vody je potrebné mangán previesť z rozpustenej na nerozpustenú formu, na oxidáciu sme použili 10% roztok chlórdioxidu (ClO_2), resp. 4% roztok manganistanu draselného ($KMnO_4$). Pre zvýšenie doby oxidácie a tvorbu nerozpustných častíc MnO_2 sme použili rúrový reaktor.

Rúrový reaktor má na vstupe do reaktora osadený statický mixér opatrený portom na nástrek chemikálie. Statický mixér je navrhnutý tak, aby prebehlo intenzívne miešanie medzi vodou a nastreknutou chemikáliou. Statický mixér má priemer DN25. Následne sa potrubie rozširuje na DN70 z materiálu PVC a má dĺžku > 6,0 m. Takto je dosiahnutý objem rúrového reaktora cca 30 L. Pri prietoku 1,3 m^3/h je zabezpečená doba zdržania > 1.0 min a mierne turbulentné podmienky ovplyvňujú aglomeráciu koloidných častíc do adekvátnych vločiek. Rúrový reaktor je upevnený na nerezovú konštrukciu.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na obr. 1. je priebeh koncentrácii mangánu v surovej vode počas poloprevádzkových experimentov.



Obr. 3. *Koncentrácia mangánu v surovej vode*

Tabuľka 3 sumarizuje výsledky s použitím oxidačného činidla ClO_2. Pri prietoku 60 l/h a dobe zdržania vody v rúrovom reaktore cca 30 minút sa dosiahla 74,31% účinnosť odstraňovania Mn z vody, výsledná koncentrácia mangánu v upravenej vode bola 0,037 mg/l. Chlórdioxid sme zvolili aj z toho dôvodu, že sa používa v ÚV Jelka na hygienické zabezpečenie pitnej vody.

Tab. 3. *Priebeh experimentov s oxidačným činidlom ClO_2*

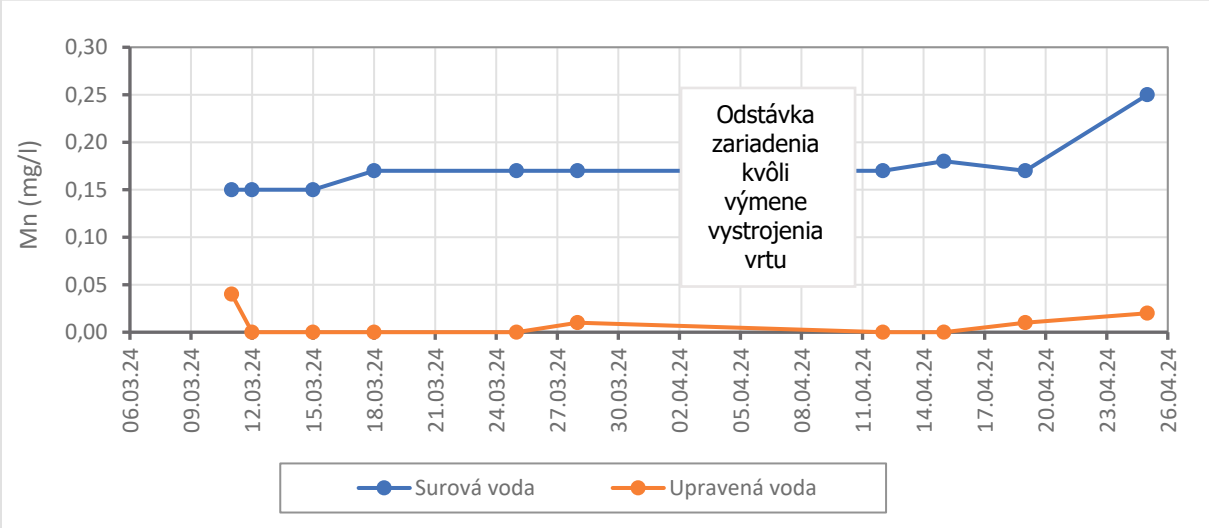
Prietok	Filtračná plocha	Špec. prietok	Doba zdržania	ClO_2	Mn vstup	Mn výstup	Účinnosť
l/h	m^2	$l/m^2/h$	min	mg/l	mg/l	mg/l	%
160	16	10	11,25	0,2	0,144	0,119	17,36
100	16	6,25	18,00	0,2	0,144	0,106	26,39
60	16	3,69	30,51	0,4	0,144	0,037	74,31

Pre dosiahnutie limitnej hodnoty Mn v upravenej vode bola potrebná vysoká doba zdržania vody v rúrovom reaktore (vysoký reakčný čas). Koncentrácia ClO_2 nebola meraná po jeho nadávkovaní, ale v upravenej vode. Pre pokus bolo smerodajné neprekročiť povolené hodnoty ClO_2 v pitnej vode.

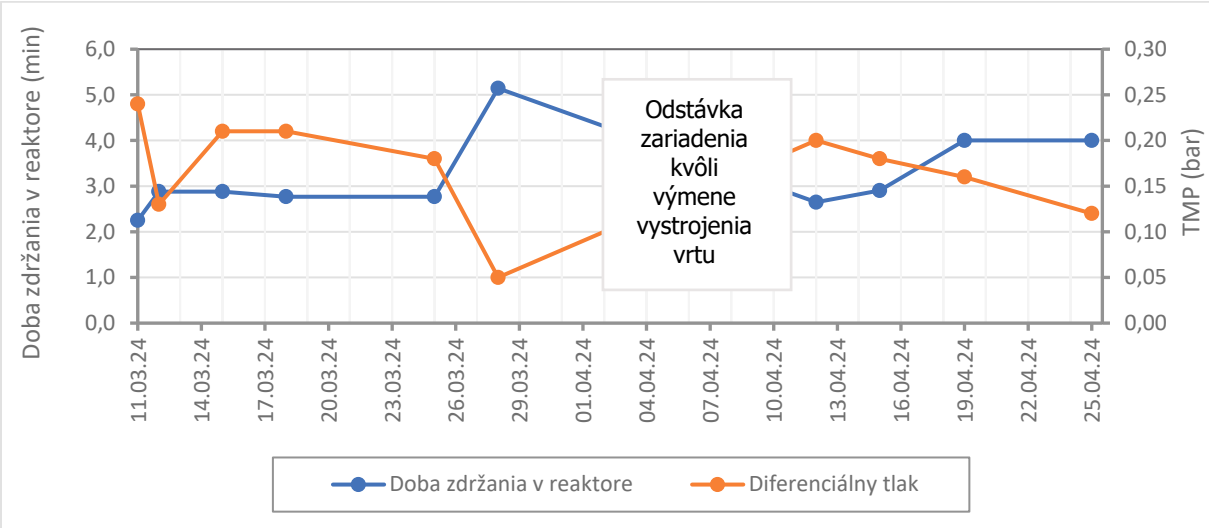
Tabuľka 4 obsahuje výsledky experimentov s dávkovaním oxidačného činidla $KMnO_4$ pri kontinuálnom chode ultrafiltrácie a prietoku 200 až 800 l/h. Pokus trval 42 dní, pričom musel byť prerušený na 8 dni kvôli tomu, že sa menilo plánované vystrojenie vrtu, ktorý sme využívali ako zdroj surovej vody pre poloprevádzkový pokus. Výsledky experimentov sú zobrazené na obrázku 3. a 4.

Tab. 4. *Priebeh experimentov s oxidačným činidlom $KMnO_4$ pri kontinuálnom chode ultrafiltrácie*

Dátum	Čas odberu vzorky	Surová voda	Surová voda+ $KMnO_4$	Upravená voda	Prietok	Doba zdržania v reaktore	Tlak vstup	Tlak výstup	TMP
		Mn (mg/l)	Mn (mg/l)	Mn (mg/l)	l/h	min	bar	bar	bar
11.03.24	13:00	0,150	0,225	0,040	800	2,3	1,03	0,79	0,24
12.03.24	9:00	0,150	0,300	0,000	625	2,9	0,81	0,68	0,13
15.03.24	9:00	0,150	-	0,000	625	2,9	0,86	0,65	0,21
18.03.24	11:00	0,170	0,300	0,000	650	2,8	0,93	0,72	0,21
25.03.24	11:00	0,170	0,300	0,000	650	2,8	0,83	0,65	0,18
28.03.24	11:00	0,170	0,260	0,010	350	5,1	0,41	0,36	0,05
12.04.24	10:00	0,170	-	0,000	680	2,6	0,90	0,70	0,20
15.04.24	10:00	0,180	0,360	0,000	620	2,9	0,86	0,68	0,18
19.04.24	10:00	0,170	0,300	0,010	450	4,0	0,78	0,62	0,16
25.04.24	10:00	0,250	0,400	0,020	450	4,0	0,74	0,62	0,12



Obr. 4. *Odstránenie mangánu použitím UF ako separačného stupňa, priebeh koncentrácie mangánu v surovej a upravenej vode*



Obr. 5. *Priebeh doby zdržania v reaktore a TMP počas kontinuálnych experimentov*

Výsledky kontinuálnych experimentov je možné zhrnúť do týchto bodov:

- Pre poloprevádzkový pokus sme zvolili $KMnO_4$ ako oxidačné činidlo kvôli tomu, že bola v predošlej fáze výskumu jeho vysoká účinnosť a rýchla reakčná doba.
- Po prvom dni, kedy sme zistili, že dávka $KMnO_4$ nie je dostatočná na kompletné odstránenie (oxidáciu) Mn v surovej vode, bol mierne upravený prietok UF, čím sa znížila dosahovaná koncentrácia Mn v upravenej vode vždy pod povolený limit pre pitnú vodu, vo väčšine prípadov pod detekčný limit meracieho prístroja.
- Doba zdržania potrebná na oxidáciu Mn sa pohybovala od 2,3 po 5,1 min v rúrovom reaktore. Z výskumu vyplynulo, že pre danú technologickú zostavu je dostačujúca doba zdržania 2,6 min.
- Tlaková strata cez UF, vyjadrená pomocou TMP (transmembrane pressure), je lineárne závislá od prietoku vody, čo je zrejme z obr. 2.
- Počas poloprevádzkového pokusu nedošlo k postupnému zvyšovaniu TMP a potrebe nasadenia chemického prania. Je zrejmé, že látkové zaťaženie na membránu je nízke i napriek tomu, že vstupná koncentrácia Mn sa pohybovala od 0,150 po 0,250 mg/l. Na výstupe z rúrového reaktora je umiestnený mechanický filter s 50 mikrónovou vložkou. Primárne slúži na ochranu UF pred väčšími nerozpustenými látkami. Je zrejme, že časť zoxidovaného Mn je odstránená už týmto mechanickým filtrom.
- Vzhľadom k látkovému zaťaženiu surovej vody bolo možné prevádzkovať ultrafiltráciu po dobu 90 min, nasledovanú spätným predpieraním vzduchom v trvaní 20 sek. A preplachom upravenou vodou spolu v trvaní 2 min. Prietok spätného preplachu je 2-násobok prietoku počas filtrácie. Preto sme dosiahli výťažnosť systému 95,55%.

5. ZÁVER

Poloprevádzkové experimenty potvrdili účinnosť ultrafiltrácie. Uvedeným spôsobom je možné znížiť koncentráciu mangánu pod limitnú hodnotu pre pitné vody.
Pri použití ClO_2 bol limitujúcim faktorom jeho maximálna povolená koncentrácia pre pitnú vodu, preto sme testovali jeho koncentráciu v rozmedzí od 0,2 po 0,4 mg/l. Pri $KMnO_4$ sme pracovali s koncentráciami od 0,215 po 0,431 mg/l (v prepočte na hodnotu Mn).
Okrem koncentrácie oxidačného činidla sme testovali aj vplyv doby zdržania v rúrovom reaktore na účinnosť odstránenia mangánu zo surovej vody. Pre danú technologickú zostavu a dávku $KMnO_4$ je dostačujúca doba zdržania 2,6 min.
V experimentoch sa pokračuje, je snahou optimalizovať celý technologický postup odstraňovania Mn z vody s návrhom na modernizáciu ÚV Jelka.

POĎAKOVANIE
Článok bol pripravený za finančnej podpory projektu VEGA 1/0666/23 a APVV-22-0610.

ZOZNAM LITERATURY

1. ZAPFFE, C., 1933. The history of manganese in water supplies and methods for its removal. J Am Water Works Assoc. Vol. 25, No. 5, p. 655–76.
2. MWH´s Water Treatment, Principles and Design, 2012. Third Edition, autori John C. Citenden, et al. John Wiley and Sons, Inc., pp. 1920.
3. Ilavský, J., Barloková, D., Biskupič, F., 2008. Chémia vody a hydrobiológia. Bratislava : STU v Bratislave, pp. 303. ISBN 978-80-227-2930-7.
4. Tobiason, J.E., Bazilio, A., Goodwill, J., Mai, X., Nguyen, Ch., 2016. Manganese Removal from Drinking Water Sources. Curr Pollution Rep Vol. 2, p.168–177.
5. DOI 10.1007/s40726-016-0036-2.
6. Pitter, P. Hydrochemie. 4. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. 592 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
7. http://edafologia.ugr.es/hidro/conceptw.htm
8. Tang, X., Zhu, X., Huang, K., Wang, J., et al. 2021. Can ultrafiltration singly treat the iron- and manganese-containing groundwater? Journal of Hazardous Materials Vol. 409, 124983.
9. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124983.
10. Choo, K-H., Lee, H., Sang-June Choi, S-J., 2005. Iron and manganese removal and membrane fouling during UF in conjunction with prechlorination for drinking water treatment. Journal of Membrane Science Vol. 267, No. 1–2, p. 18–26. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.05.021
11. Ye, X., Jun Nan, J., Ge, Z., Xiao, O., Liu, B., Men, Y., Liu, J., 2022. Simultaneous removal of iron, manganese, and ammonia enhanced by preloaded MnO2 on low-pressure ultrafiltration membrane. Journal of Membrane Science Vol. 656, 120641. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2022.120641
12. Chéry Leal, M. J., do Amaral, P. A. P., Nagel-Hassemer, M. E., Lobo-Recio, M. Á., Lapolli, F. R., 2015. Aquatic humic substances, iron, and manganese removal by ultrafiltration and nanofiltration membranes combined with coagulation–flocculation–sedimentation. Desalination and Water Treatment, Vol. 55, No. 6, p. 1662–1671. https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1012337
13. Elsheikh, M., Guirguis, H., Fathy, A., 2018. Removal of iron and manganese from groundwater: a study of using potassium permanganate and sedimentation. MATEC Web of Conferences Vol. 162, 05018, p.1–7.
14. https://doi.org/10.1051/matecconf/201816205018
15. Norherdawati, K., Abdul, M., Siti, R., 2017. Iron and manganese removal by nanofiltration and ultrafiltration membranes: Influence of pH adjustment. Malaysian Journal of Analytical Science Vol. 21, No. 1, p. 149–158. DOI:10.17576/mjas-2017-2101-17
16. Lee, Y-S., Eom, J., Khan, I.A., Kim, J-O., 2024. The long-term removal of dissolved Mn from drinking water via membrane filtration using sodium permanganate as a pre-oxidant. Journal of Industrial and Engineering Chemistry Vol. 130, p. 425–435. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.09.048
17. Wu, Y.-C., Kan, C.-C., Lee, S.-C., Yang, F.-Y., 2023. Water Treatment of Manganese Oxides and Organic Matter through Pre-Oxidation and Coagulation/Sedimentation. Engineering Proceeding (MDPI). Vol. 55, No. 1, 59, p. 1–10. https://doi.org/10.3390/engproc2023055059
18. Brayalovsky, G., E Migalaty, E., Naschetnikova, O., 2017. Reagent removal of manganese from ground water. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science Vol. 72, 012004.
19. DOI 10.1088/1755-1315/72/1/012004
20. Jimbo, Y., Goto, K., 2001. Iron and manganese removal by a membrane filtration system. Water Supply Vol. 1, No. 5–6, p. 357–364. https://doi.org/10.2166/ws.2001.0133

ZKUŠENOSTI S PROVOZEM JEDNOTKY NANOFILTRACE NA ÚV ZAJEČOV

Ing. Kolesíková L. [1], **Ing. Láska T.** [2]

[1] *VODASERVIS s.r.o., Jamská 2362/53, 591 01 Žďár nad Sázavou*
[2] *Hydranautics – A Nitto Group Company*
e-mail: lkolesikova@vodaservis.cz

ABSTRAKT

Příspěvek pojednává o zkušenostech s provozem membránové technologie na úpravu vody v obci Zaječov, která byla spuštěna začátkem roku 2021. Zdrojem surové vody pro výrobu pitné pro obec Zaječov jsou zářezy a blízký Mourový potok. Kvalita surové vody bývá nárazově zhoršena zejména v parametrech zákal a barva, a to v době intenzivních srážek nebo např. v době tání sněhu. Instalovaná technologie na úpravu vody zahrnuje jednotku nanofiltrace (NF), která je určena zejména na odstranění barvy ze surové vody a organického zatížení, které dříve způsobovalo v pitné vodě občasný vznik vedlejších nežádoucích produktů dezinfekce – trihalomethanů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pitná voda; úprava pitné vody; membránová technologie; nanofiltrace; vedlejší produkty dezinfekce

1. ÚVOD, TECHNOLOGIE ÚPRAVY VODY

V obci Zaječov nebyla do roku 2020 instalována žádná technologie na úpravu pitné vody. Občasná nedostatečná kvalita pitné vody – v parametru barvy, zákalu, celkového organického uhlíku (TOC) – byla několikrát důvodem stavu, kdy obec byla nucena zvolit náhradní způsob dodávky pitné vody cisternami. Vzhledem k vysokému organickému zatížení surové vody docházelo také ke vzniku trihalomethanů, jakožto vedlejších nežádoucích produktů dezinfekce chlornanem sodným. Tyto skutečnosti vedly k rozhodnutí pro instalaci technologie na úpravu vody na vodu pitnou.

Zdroje surové vody pro obec Zaječov jsou dva: zářezy a blízký Mourový potok. Voda z Mourového potoka je odebírána tehdy, kdy je výrazně zhoršena kvalita surové vody ze zářezů. Ta je ovlivněna tím, že zářezy jsou v blízkosti rašeliniště a v době dešťových srážek, které jsou buď hodně intenzivní, nebo dlouhodobé a také v době jarního tání sněhu dochází k průniku vody z rašeliniště do zářezů. Voda je pak zatížena vysokým organickým znečištěním, což se projevuje zvýšeným obsahem TOC a vysokou barvou, která je způsobena zejména huminovými látkami.

Začátkem roku 2021 byla spuštěna nová technologická linka na úpravu vody na pitnou pro obec Zaječov.

Technologická linka se skládá z následujících částí:
- přívod vody ze zdrojů do tzv. malého vodojemu, kde je voda akumulována před samotnou úpravou,
- mechanická filtrace na pískovém automatickém nerezovém tlakovém filtru TVK,
- membránová technologie – jednotka nanofiltrace (NF) je v provozu v případě, že za pískovým filtrem je překročena povolená hodnota barvy upravované vody,
- dvojice odkyselovacích automatických tlakových nerezových filtrů TVK s vápenato-hořečnatou náplní, z ní se do vody zvolna uvolňuje vápník a hořčík a dochází ke zvyšování pH,
- hygienické zabezpečení vody pomocí dávkování chlornanu sodného.

Řízení chodu úpravny vody je automatické, ovládané nadřazeným řídicím systémem, s manuálně obsluhovaným chemickým hospodářstvím (doplňování chemikálií, případné úpravy dávek) a poloautomaticky prováděným chemickým čistěním membrán NF.

Čerpání vody na úpravnu vody je řízeno dle hladiny vody ve vodojemu pitné vody. Na vstupu surové vody z obou zdrojů do malého vodojemu je na přítoku vody z obou zdrojů měřen zákal vody. V případě překročení nastavené hodnoty zákalu v surové vodě ze zářezů, je tento zdroj automaticky odstaven a odkalen a zároveň je otevřen přívod vody z Mourového potoka.
Za filtrací na pískovém nerezovém filtru TVK je také měřen zákal a barva upravované vody. V případě, že je překročena nastavená hodnota barvy a zároveň dodržen nastavený maximální obsah zákalu, je voda dále upravována na jednotce NF a následně natéká na odkyselovací tlakové nerezové filtry TVK. V případě, že voda v obou parametrech splňuje limity nastavené v nadřazeném řídicím systému, voda jednotku NF obtéká, a natéká přímo na odkyselovací filtry TVK. Posledním krokem úpravy pitné vody je hygienické zabezpečení pomocí proporcionálního dávkování chlornanu sodného. Na odtoku upravené pitné vody do vodojemu je kontinuálně měřen obsah volného chloru.

Všechny měřené hodnoty zákalu, barvy, pH a volného chloru a další měřené veličiny na úpravně vody (průtoky vody, tlaky a hladiny) jsou přenášeny do řídicího systému, který na základě těchto údajů vyhodnocuje případné potřebné provozní úkony.
Z nadřazeného řídicího systému je také spouštěno automatické praní všech tlakových nerezových filtrů TVK a pravidelný proplach jednotky NF.

2. MEMBRÁNOVÁ TECHNOLOGIE – JEDNOTKA NANOFILTRACE

Jednotka NF na ÚV Zaječov je postavena na odstranění barvy, TOC, který ve většině případů v surové vodě na ÚV Zaječov doprovází zvýšené hodnoty barvy a mikrobiálního znečištění.
Součástí jednotky NF je:
- vstupní nerezový rukávový filtr RF a svíčkový filtr SF s jemnými filtračními vložkami, pro ochranu membrán NF před mechanickým znečištěním,
- vysokotlaké čerpadlo s integrovaným frekvenčním měničem, které tlakuje vodu na vstupu na membrány,
- čerpadlo recirkulace s integrovaným frekvenčním měničem – čerpá vracenou upravovanou vodu (recyklát) na NF,
- regulační klapka s elektropohonem na odtoku koncentrátu (znečištěné vody) do odpadu
- membrány NF HydraCore, které jsou uspořádány ve třech stupních,
- čerpadlo pro čerpání roztoku na chemické čištění (CIP),
- nerezový rukávový filtr RF s velmi jemnou filtrační vložkou na vstupu roztoku CIP na NF
- nádrž na roztok pro chemické čištění s ohřevem vody osazená pH metrem,
- dávkovací stanice chlornanu sodného – pro pravidelný automatický proplach NF v době její nečinnosti.

Tab. 1. Navržená kapacita jednotky nanofiltrace pro ÚV Zaječov:

Produkce pitné vody – permeát	Vstup vody na NF	Recirkulace vody – recyklát	Voda do odpadu – koncentrát
m^3/hod	m^3/hod	m^3/hod	m^3/hod
8	10	11	2
12	15	10	3
16	20	9	4

Jednotka NF je osazena průtokoměry a vodoměry pro měření průtoků jednotlivými částmi NF, dále jsou osazeny tlakoměry pro měření tlaku mezi jednotlivými stupni. Na základě tlakové ztráty, kterou vyhodnocuje nadřazený řídicí systém je v případě dosažené nastavené hodnoty tlakové ztráty zaslán požadavek na provedení chemického čištění (CIP), které je v poloautomatickém režimu prováděno technickým pracovníkem.

Nanofiltrační membrány

Membránové elementy Hydranautics HYDRACoRe50-LD instalované na úpravně vody v Zaječově patří do řady membrán HYDRACoRe. Jedná se o nanofiltrační membrány speciálně vyvinuté pro aplikace, kde je potřeba dosáhnout maximální efektivity při odstranění barvy. Používají se nejen v úpravě pitné vody, ale i v potravinářství či průmyslu. K dispozici jsou tři typy membrán, které se odlišují schopností zachytávat různě velké organické molekuly. Konkrétně membrána použitá v elementech HYDRACoRe50-LD má nominální záchyt nastavený na 1000 Daltonů. To znamená, že efektivně separuje organické látky o molekulové hmotnosti větší než 1000 g/mol. Membrána tvoří fyzickou bariéru, která dokonale odstraňuje organické látky způsobující barvu vody, bakterie a viry bez kontinuálního dávkování chemie. Odpadní voda produkovaná v běžném provozu, tzv. koncentrát, neobsahuje žádné přidané chemikálie. Použití chemikálií např. louhu je potřeba pouze pro pravidelné chemické čištění membrán (CIP).

Membrány HYDRACoRe jsou kompozitní polymerní membrány a jsou konstruovány jako tzv. "spirálně vinuté". Jeden element o délce 1 metru a průměru 20 cm obsahuje více než 37 m^2 aktivní membránové plochy, což umožňuje minimalizovat zastavěnou plochu a cenu membránového systému. Aktivní materiál membrán HYDRACoRe je vyroben ze sulfonovaného polyethersulfonu, který je na rozdíl od běžných RO a NF membrán odolný vůči oxidačním činidlům a je možné jej dezinfikovat například aktivním chlórem, a to jak jednorázově, tak i kontinuálně. Robustnost použitých materiálů také umožňuje aplikovat agresivní čisticí prostředky, pokud to konkrétní aplikace vyžaduje. Rozsah pH pro běžný provoz je 2–11 zatímco čištění je možné provádět roztoky s pH v rozsahu 1–12. Další zásadní vlastností membrány je její silný negativní náboj, který pomáhá odpuzovat negativně nabité organické molekuly z povrchu membrány. Snižuje se tím rychlost zanášení membrány a prodlužuje interval mezi chemickými čištěními.

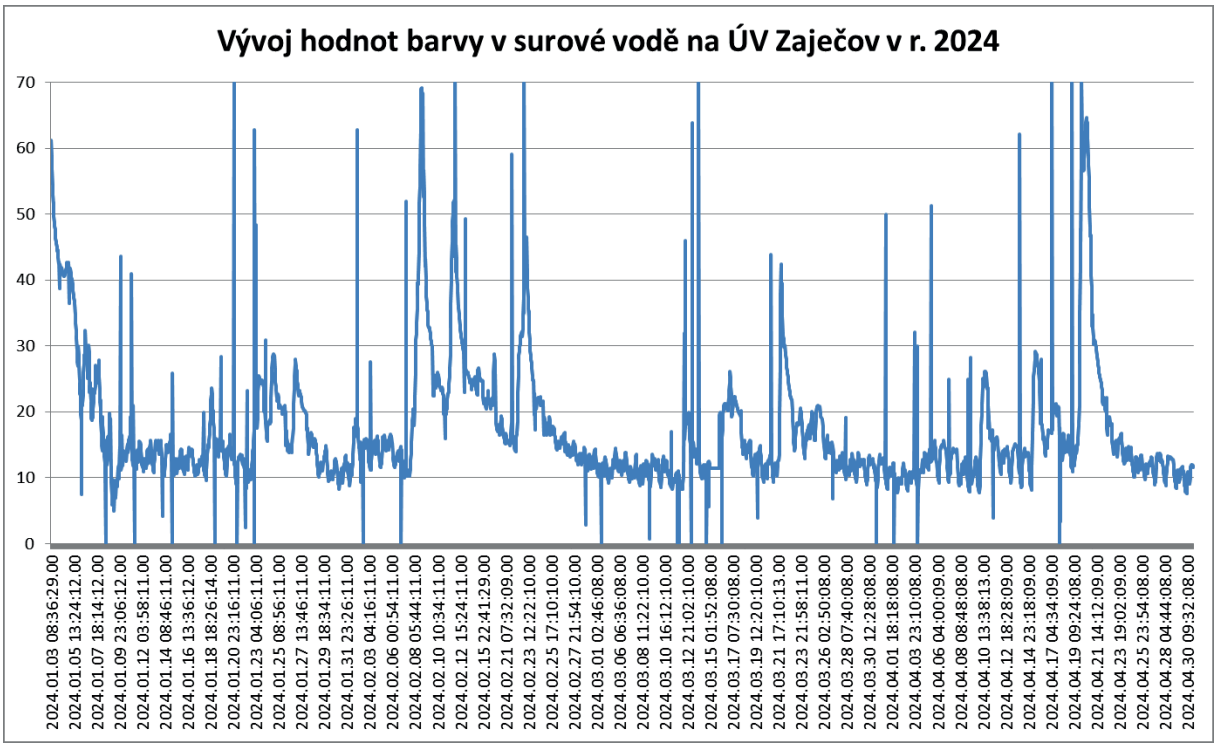
3. PROVOZ NANOFILTRACE NA ÚV ZAJEČOV

Jednotka NF je na ÚV Zaječov v provozu v době, kdy barva vody za tlakovým nerezovým pískovým filtrem TVK překročí hodnotu 10 mg Pt/l. V tabulce č. 2 jsou uvedeny minimální, maximální a průměrné hodnoty zákalu a barvy v období od dubna 2021 do dubna 2024. Graf č. 1 znázorňuje vývoj obsahu barvy v upravované vodě v roce 2024.

Tab. 2. Hodnoty kvality upravované vody na ÚV Zaječov v období od dubna 2021 do dubna 2024:

Parametr	Zákal surové vody ze zářezů	Zákal surové vody z Mourového potoka	Barva vody za pískovým filtrem TVK
Jednotky	NTU	NTU	mg Pt/l
průměrná hodnota	1,4	1,02	18,9
maximální hodnota	48	37,9	70
minimální hodnota	0,05	0,04	0,02

Oproti původnímu předpokladu, dle kterého měla být jednotka NF v provozu cca 2–3 měsíce v roce, je od dubna 2021 v provozu téměř denně. Na jaře v r. 2021 došlo při silném větru k vyvrácení stromů v blízkosti zářezů, a to vedlo ke zhoršení kvality surové vody v zářezech. Z toho důvodu je jednotka NF v podstatě v každodenním provozu.



Graf 1. Vývoj hodnot barvy v surové vodě na ÚV Zaječov během roku 2024

Rychlost nátoku upravované vody na jednotku NF je nastavena na hodnotu 15 m^3/hod, produkce upravené vody (permeátu) je cca 12 m^3/hod. Množství koncentrátu, který odtéká do odpadu je regulováno na cca 3 m^3/hod. Recirkulací protéká cca 8 m^3/hod. Jak dochází k postupnému zanášení membrán, průtok recyklátu se postupně snižuje. Vzhledem k tomu, že došlo k výraznému zhoršení jakosti surové vody ve zdrojích, je jednotka NF v provozu v podstatě každodenně. To znamená, že cca 92% pitné vody vyrobené na úpravně vody Zaječov bylo od instalace zařízení do dubna 2024 vyrobeno s využitím jednotky NF.

Jednotka NF je v podstatě v nepřetržitém provozu, kvůli čemuž je třeba provádět chemické čištění membrán pravidelně každý týden. Vzhledem ke složení upravované vody je pro chemické čistění membrán zvolený roztok hydroxidu sodného. V rámci zkušebního provozu bylo také vyzkoušeno kyselé chemické čištění roztokem kyseliny sírové a také byl vyzkoušen průmyslově vyráběný surfaktant pro zásadité čištění. Kyselý CIP se ukázal jako zcela nadbytečný. Zásaditý

CIP pomocí průmyslového surfaktantu byl méně účinný než zásaditý CIP prováděný pomocí hydroxidu sodného. Odpadní voda z provedeného CIP je akumulována v neutralizační nádrži, kde je pH odpadní vody neutralizováno pomocí automatického dávkování kyseliny sírové na hodnotu pH 6,5–7,5, takto zneutralizovaná voda je pak likvidována.

Vzhledem k výrazně vyšší míře využití jednotky nanofiltrace dosáhla v roce 2023 tlaková ztráta na NF hraničních hodnot a tak byla provedena výměna membrán na nejvíce zatíženém 1. stupni NF. Dále byl posílen stupeň předčištění. Za rukávový filtr RF byl na nátok upravované vody na jednotku NF doplněn nerezový svíčkový filtr SF s jemností filtrace 1–5 µm. Dále bylo na nátoku surové vody do malého vodojemu instalováno dávkování koagulantu. Dávkování koagulantu je řízeno aktuální hodnotou zákalu surové vody ze zářezů. Koagulant je dávkován v případě, že zákal surové vody překročí hodnotu 10 NTU.

Použité membrány byly následně zaslány k výrobci do USA na analýzu jejich stavu a rozbor zachyceného znečištění.

V rámci provozu úpravny bylo vypozorováno, že při úpravě vody na jednotce NF je pro hygienické zabezpečení vody třeba podstatně nižší dávka chlornanu sodného než v případě, kdy byla voda upravována pouze na pískovém a na odkyselovacích filtrech. Na membránách NF dochází také k odstranění mikrobiálního znečištění, z toho důvodu je pak následná spotřeba dezinfekčního prostředku významně nižší.

4. ZÁVĚR

Provoz jednotky NF je de facto každodenní, s tím souvisí potřeba pravidelného provádění chemického čištění membrán. Po 2,5 letech provozu v r. 2023 došlo ke zvýšení tlakové ztráty na membránách, a proto byla provedena částečná výměna membrán na nejvíce zatíženém 1. stupni nanofiltrace a zároveň byl posílen stupeň předčištění o jemnější mechanický filtr a dávkování koagulantu pro případ vysokého zákalu surové vody.

Provoz jednotky NF na ÚV Zaječov se osvědčil. Kvalita pitné vody je nyní stabilní, za dobu provozu cca 3,5 let nově instalované technologie na úpravu vody nedošlo ani jednou k překročení hodnot barvy, TOC nebo zákalu v pitné vodě na síti. Také ve sledovaném období nedošlo k výskytu nežádoucích trihalomethanů v pitné vodě.

Více než 90% vyrobené pitné vody na úpravně vody Zaječov je vyráběno pomocí jednotky nanofiltrace.

Díky úpravě vody na jednotce NF také není třeba dávkovat vysoké dávky dezinfekčního činidla, jelikož na jednotce je odstraňováno také mikrobiálního znečištění. Dezinfekční činidlo je dávkováno v minimálním množství pro zajištění hygienického zabezpečení pitné vody.
Zhoršení kvality surové vody ze zářezů během roku 2021 by bez instalace technologie na úpravu vody vč. membránové technologie s největší pravděpodobností vedlo k nutnosti odstavení těchto zdrojů pitné vody a obec Zaječov by byla nucena zajišťovat náhradní zásobování a vyhledat nové zdroje vody.

PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI S ÚPRAVOU SUROVÉ VODY PŘED KERAMICKOU MIKROFILTRACÍ: OPTIMALIZACE PROCESŮ A VLIV NA VÝKON TECHNOLOGICKÉ LINKY

Ing. Gabriela Müllerová [1], **Ing. Kryštof Hnojna** [2]

[1] *ENVI-PUR, s.r.o., Na Vlčovce 13/4, 160 00 Praha 6 – Dejvice*
[2] *ENVI-PUR, s.r.o., Wilsonova 420, 392 01*
e-mail: mullerova.gabriela@envi-pur.cz

1. ÚVOD

Keramická mikrofiltrace (KMF) se stala nedílnou součástí úpravy vody díky své vysoké účinnosti, dlouhé životnosti a kompaktnosti. Jedním ze základních parametrů sledovaných při úpravě vody pomocí membránových technologií je transmembránový tlak a permeabilita membrán. Tyto parametry definují míru zanesení membrán a mají zásadní vliv na jejich provozuschopnost. Při využití KMF jako jednotkového procesu pro úpravu povrchových vod se setkáváme s vysokým nárůstem zanesení membrán z důvodu přítomnosti NOM [1]. Tento problém lze zmírnit pomocí koagulace s použitím buď železných nebo hlinitých koagulantů, které zlepšují odstraňování NOM a tím snižují tvorbu trihalomethanů (THM) [2]. Výpočet správné dávky koagulantu je důležitým faktorem ovlivňujícím zanášení membrány při úpravě vod [10]. Kennedy a spol. uvádějí, že předúprava koagulací může zlepšit výkon membrány, protože částice se začlení do flokulí, které jsou větší než póry membrány; méně částic má šanci zablokovat póry membrány [8]. Meyn a Leiknes zkoumali použití koagulace/flokulace spojené s MF keramickou membránovou filtrací jako alternativního membránového procesu pro odstranění NOM za účelem výroby pitné vody. Provedené experimenty potvrzují, že kombinace koagulace/flokulace a keramické membránové filtrace je efektivní a spolehlivou možností pro úpravu pitné vody z povrchových vod s vysokými koncentracemi NOM. Velmi dobré odstranění DOC a barvy lze dosáhnout při relativně nízkých dávkách koagulantu. Toto odstranění však silně závisí nejen na zvolené dávce koagulantu, ale i na hodnotě pH během koagulace [9]. Použití membránové separace místo konvenčních technik úpravy také umožňuje mnohem kratší dobu flokulace – řádově 15–60 s, a tím i kompaktnější zařízení. To je způsobeno podmikronovou velikostí pórů filtračních membrán, což vyžaduje tvorbu flokulí pouze o velikosti kolem 2 μm [6].

Nicméně, pouze předúprava koagulací není v mnoha případech schopna samostatně zabraňovat nadměrnému znečištění membrány, proto jsou potřeba další nebo alternativní metody [11]. Pro optimalizaci procesu koagulace/keramická mikrofiltrace byla jako doplňující stupeň navržena předoxidace. Xia, Zahng a kol. se zabývali charakteristikami znečištění membrán a účinkem předoxidace na úpravu vody při filtraci surové vody z řeky Jang-c'-ťiang pomocí kombinovaného procesu předoxidace, koagulace a KMF. Výsledky studie ukazují, že zařazení předoxidace před koagulací a KMF snižuje zanášení membrány při kontinuální filtraci povrchové vody. Byly uvedeny dva hlavní důvody, proč oxidační činidla mohla podporovat účinnost úpravy vody a zmírňovat zanášení membrán. Za prvé rozkládaly a transformovaly znečišťující látky surové vody prostřednictvím oxidace. Za druhé měnily molekulární strukturu organické látky a posilovaly koagulační efekt [7].

Tento příspěvek se zabývá praktickou aplikací vlivu různých druhů hlinitých koagulantů, rychlostních gradientů flokulace a typů předoxidace na rychlost zanášení keramických membrán.

2. METODIKA

Testování vlivu zanášení KMF probíhalo v zimním období pomocí modelové jednotky se surovou vodou z povrchového zdroje. Průměrné hodnoty kvality surové vody jsou uvedeny v tab. 1. Testování bylo pro lepší orientaci rozděleno do čtyř fází.

Tab. 1. Průměrné hodnoty kvality surové vody v průběhu testování

$CHSK_{Mn}$	3,0	mg/l
$KNK_{4,5}$	2,5	mmol/l
pH	7,44	
Konduktivita	67,4	mS/m
TOC	4,9	mg/l
DOC	5,5	mg/l
ABS 254 nm	0,075	E/cm
Zákal	3,9	ZF(n)
Barva	11	mg/l Pt
Teplota	4,5	°C

Obr. 1. Keramická mikrofiltrační jednotka

První fází pokusů bylo vybrání optimálních technologických parametrů procesu koagulace. Byl definován vliv typu a množství koagulantu a vliv pH na efektivitu koagulace. Dle předchozích provozních zkušeností byl vybrán koagulant síran hlinitý a PAX 19 XL. Následně bylo pomocí tzv. centrifugační koagulačních testů provedeno porovnání předpolymerovaných hlinitých koagulantů Flokor s různou koncentrací Al a bazicitou (možná alternativa k PAX 18 a PAX 19 XL). Byli vytipováni čtyři vhodní zástupci koagulantů Flokor na základě předchozích zkušeností s jejich použitím v technologii úpravy vody, a to Flokor 1,2A, Flokor 1,5A, FlokorD15 a FlokorDM17H. V odebraném vzorku byla stanovena zbytková absorbance A254 a A387, pro optimální dávku koagulantu byla stanovena spektrofotometricky hodnota zbytkového hliníku.

Následující fáze probíhaly na modelové KMF (obr. 1) s charakteristikou Q_{max} = 5 m^3/h, gross fluxmax = 200 $l/m^2/h$ (okamžitý průtok tekutiny vztažený na jednotkovou plochu membrány) byla vystrojena jedním keramickým membránový elementem s povrchem membrány 25 m^2, nominální velikostí pórů 0,1 µm, průměrem kanálků 2,5 mm a celkovým počtem kanálků 2000.

Filtrace přes keramický membránový element probíhala v režimu přímé filtrace („dead-end"). Před a za filtrační jednotkou byla umístěna tlaková čidla pro zaznamenávání nárůst transmembránového tlaku (TMP). Délka filtračního cyklu a frekvence čištění zanesené membrány byla řízena podle ukazatele TMP. Druhá až čtvrtá fáze probíhala při konstantním průtoku 1,8 m^3/h a teplotě okolo 4,5 °C surové vody modelovou KMF s délkou filtračního cyklu 120 minut mezi zpětnými proplachy. Porovnání míry foulingu KMF bylo provedeno pomocí lineární regrese.

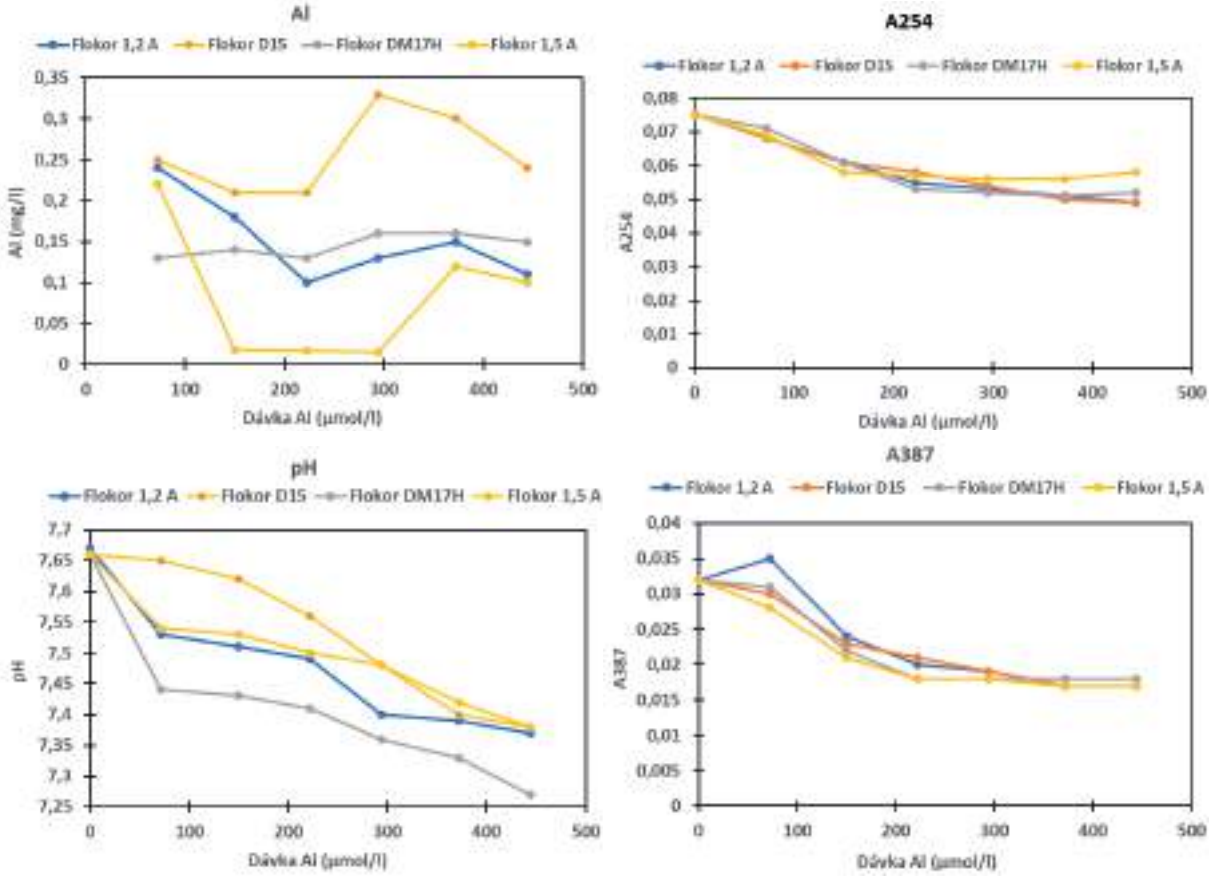
Druhou fází pokusu bylo ověření vlivu doby flokulace na zlepšení výkonu membránových jednotek u vybraných koagulantů. Porovnání bylo prováděno při různé době zdržení ve flokulaci a aplikovaném gradientu s koagulací síranu hlinitého a PAX 19 XL. Vzhledem k tomu, že byl použit poloprovozní trubkový flokulátor bylo možné dosáhnout jen takového středního rychlostního gradientu, který byl závislý na aplikovaném průtoku vody a geometrii modelového flokulátoru. Testovány byly tři typy flokulátorů s rychlostním gradientem 99 s^{-1} s dobou zdržení 2,8 minut a 8,5 minut, a 268 s^{-1} s dobou zdržení 2,8 minut.

Třetí fází pokusu bylo ověření vlivu koagulace a pH na rychlosti zanášení KMF. Byly testovány čtyři vybrané koagulanty na základě výsledků koagulačních zkoušek, a to síran hlinitý, PAX 19 XL, Flokor 1,2A a Flokor 1,5A. Dávka Al pro koagulanty síran hlinitý a PAX 19 XL byla zvolena 5 mg/l, pro koagulanty Flokor 1,2A a Flokor 1,5A byla zvolena dávka Al 6 mg/l. Nejprve byly otestovány při výše zmíněném nastavení provozní jednotky koagulanty bez úpravy pH, následoval test s úpravou pH na hodnotu 7. Pro úpravu pH v případě síranu hlinitého a PAX 19 XL byl použit chlornan sodný, pro Flokory 1,2 A a 1,5 A byla použita kyselina sírová.

Čtvrtou a poslední fázi pokusu tvořil test předoxidace oxidačními činidly NaClO a ClO_2 na základně předchozích provozních zkušeností. NaClO byl dávkován v koncentraci 1,0 mg/l, ClO_2 byl dávkován v koncentraci 0,5 mg/l. Test probíhal s koagulací PAX 19 XL.

3. VÝSLEDKY A DISKUSE

Před studiemi membránové filtrace byly nastaveny optimální parametry procesu koagulace, tj. dávka činidla a pH vody. Pro síran hlinitý byla zvolena optimální dávka koagulantu s koncentraci Al 4,0–5,0 mg/l a PAX 19 XL s koncentrací Al 4,5 mg/l. Experimentálně, pomocí centrifugačního koagulačního testu, byly určeny optimání dávky koangulatů typu flokor. Na obr. 2 jsou uvedeny průběhy základní ukazatelů na jejichž základě byla účinnost těchto koagulantů hodnocena. Jedná se o zbytkovou UV absorbanci, zbytkovou koncentraci koagulantu a pH v závislosti na aplikované dávce koagulantu. Na základě výsledků koagulačních testů byly vybrány dva koagulanty Flokor 1,5A a Flokor 1,2A pro testování na modelové jednotce. Z koagulačních testů vyplynulo, že optimální dávka koagulantu bude okolo 250 µmol/l. To odpovídá koncentraci Al 6,75 mg/l.



Obr. 2. Průběh koagulačních testů. Vlevo nahoře zbytková koncentrace koagulantu, vlevo dole pH, vpravo zbytková UV absorbance.

Prvním modelovým testem bylo provedeno srovnání, zda by změna doby zdržení nějakým významným způsobem přispěla ke zlepšení výkonu membránových jednotek. Byla provedena série testů jejichž parametry jsou uvedeny v tab. 2. Jako koagulant byl použit síran hlinitý s dávkou Al 5 mg/l, koagulační pH bylo udržováno kolem hodnoty 6,5 a teplota surové vody okolo 4,5 °C.

Tab. 2. *Nastavení podmínek flokulace se síranem hlinitým.*

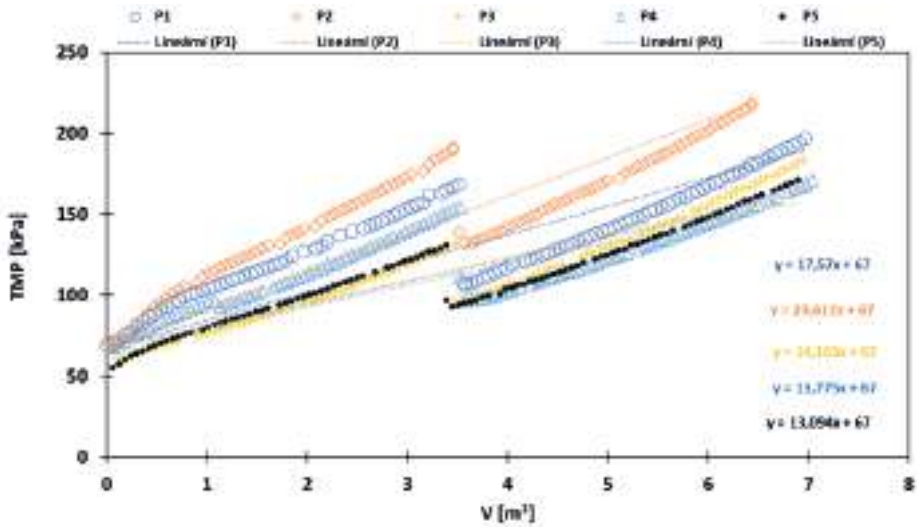
pokus	Q (m^3/h)	G (s^{-1})	DT (min)	Směrnice rovnice lineární regrese (viz obr. 1)
P1	1,8	99	8,5	17,57
P2	1,8	99	8,5	23,61
P3	1,8	268	2,8	14,16
P4	1,8	99	2,8	13,78
P5*	1,8	99	2,8	13,09

** úprava homogenizace dávkovaného koagulantu*

Na obr. 3. je uveden trend nárůstu tlakové ztráty (TMP) na membráně při aplikovaných podmínkách předúpravy, které jsou popsány v tab. 2.

Z obrázku lze odvodit poměrně malý rozdíl mezi vlivem doby zdržení a aplikovaného gradientu. Nejnižší rychlost nárůstu tlakové ztráty lze přiřadit pokus P4 a P5. Zde vidíme, že by nejpomaleji mohla tlaková ztráta na membráně narůstat při teoretické době zdržení 3 minuty a při středním rychlostním gradientu 99 s^{-1}. Hodnota rychlostního gradientu je poměrně nízká a tyto hodnoty v řádu desítek s^{-1} jsou typické i pro konvenční flokulační reaktory. Na druhou stranu při pokusu P3 byl aplikován poměrně vysoký střední rychlostní gradient s krátkou dobou zdržení a rychlost nárůstu tlakové ztráty na membráně se výrazněji nelišila od experimentálního nastavení P4 a P5. Naopak nižší gradient a delší doba zdržení (P1 a P2 – opakování pokusu) způsobuje rychlejší nárůst tlakové ztráty.

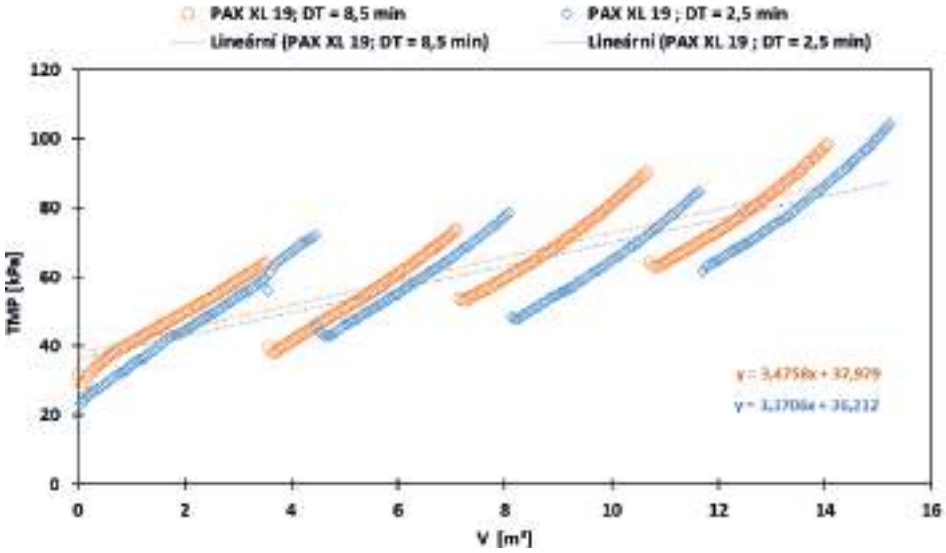
Celkově je však nutné konstatovat, že nedošlo k potvrzení významných rozdílů mezi dobou zdržení ve flokulaci ani aplikovaných středních rychlostních gradientů.



Obr. 3. *Vliv podmínek flokulace na fouling KMF při použití koagulantu síran hlinitý.*

Dalším krokem směrem k nalezení podmínek pro lepší výkon KMF a ověření výše tvrzeného bylo použití předpolymerovaného hlinitého koagulantu PAX 19 XL při různé době zdržení v předřazené flokulaci při středním rychlostním gradientu 99 s^{-1}.

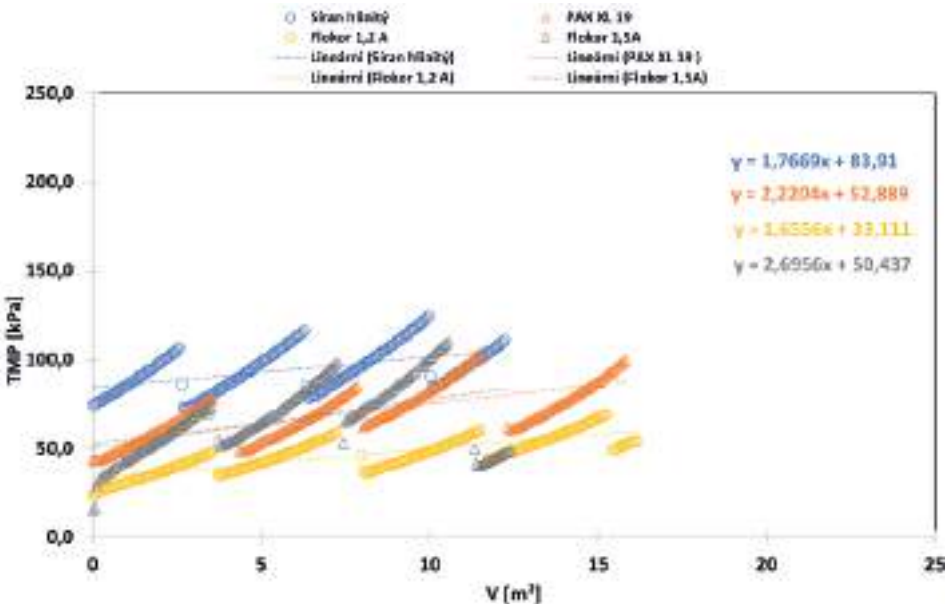
Na obr. 4. jsou uvedeny průběhy permeability. Lze vysledovat, že i s koagulantem PAX 19 XL zřejmě nehraje významnou roli aplikovaná doba zdržení ve flokulaci podobně jako tomu bylo u pokusů se síranem hlinitým. I když i zde je možné zaznamenat mírný rozdíl ve prospěch kratší doby zdržení ve flokulaci.



Obr. 4. Vliv podmínek flokulace na fouling KMF při použití koagulantu PAX 19 XL

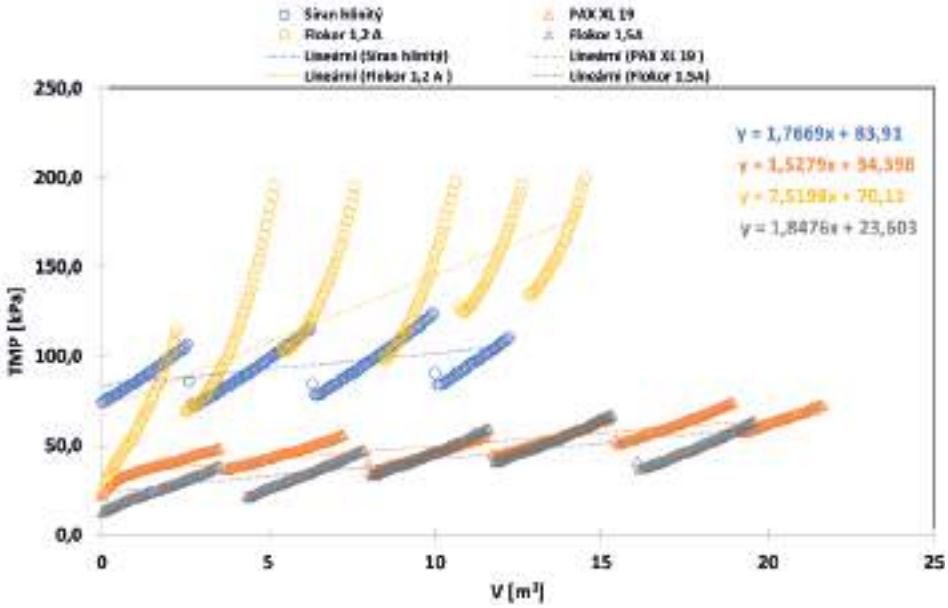
Jelikož byl vliv doby zdržení ve flokulaci ověřen pro dva koagulanty, a výsledky ukazovaly na stejný závěr, bylo přikročeno k další fázi testování, tedy ověření vlivu koagulace a pH na rychlosti zanášení KMF.

Na obr. 5. je znázorněn výsledek testování vlivu koagulace hlinitých koagulantů bez úpravy pH na zanášení KMF. Z obrázku je patrné, že k nejmenším nárůstům tlakové ztráty docházelo při koagulaci Flokorem 1,2A. Podobných výsledků bylo dosahováno i s koagulací síranem hlinitým.



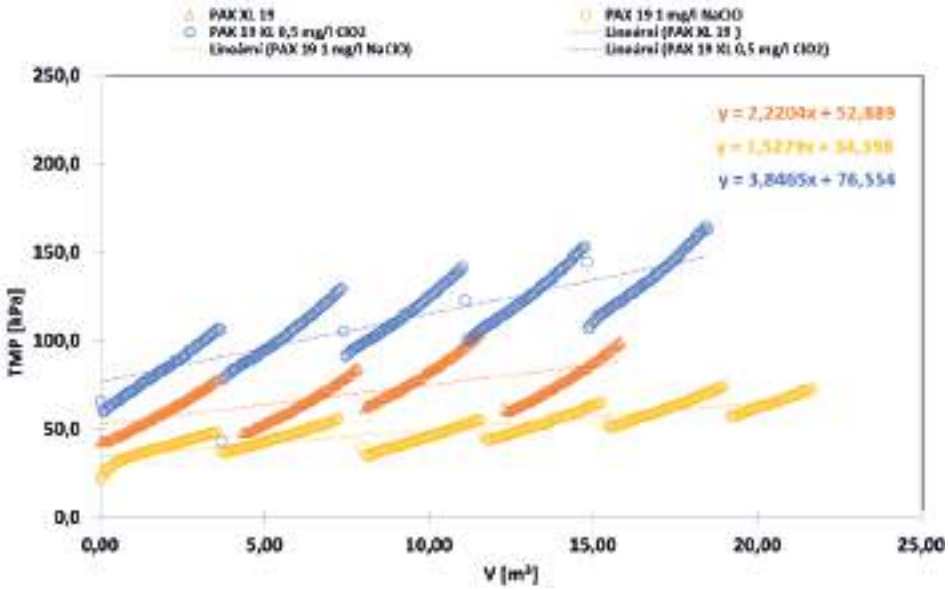
Obr. 5. Test vlivu koagulace hlinitých koagulantů bez úpravy pH.

Na obr. 6. je znázorněn výsledek testování vlivu koagulace hlinitých koagulantů na zanášení KMF s úpravou pH na hodnotu 7. Z grafu je patrné, že k nejmenším nárůstům tlakové ztráty docházelo při koagulaci PAX 19 XL s úpravou pH pomocí chlornanu sodného. Úprava pH v případě PAX 19 XL a Flokor 1,5A vedla k prodloužení doby foulingu KMF. Oproti tomu v případě Flokoru 1,2A došlo úpravou pH k výraznému zhoršení foulingu KMF. Podobných, však mírně vyšších oproti PAX 19 XL, výsledků bylo dosahováno i v případě koagulace síranem hlinitým a Flokorem 1,5A.



Obr. 6. *Test vlivu koagulace hlinitých koagulantů s úpravou pH na hodnotu 7.*

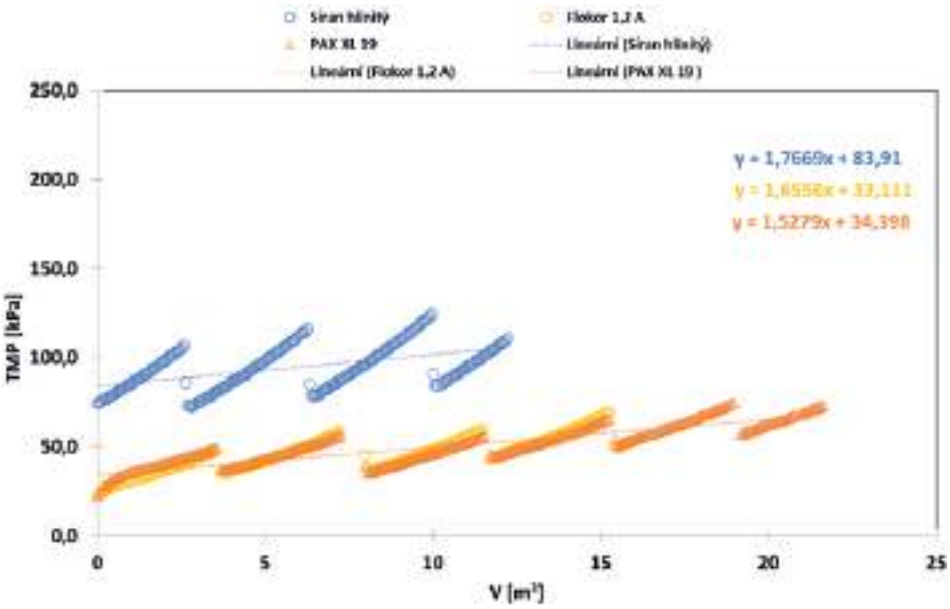
Poslední test tvořilo porovnání předoxidace v případě koagulace PAX 19 XL. Byla provedena trojice testů s dávkou Al 5 mg/l, a to bez oxidačního činidla, s 1 mg/l NaClO a s 0,5 mg/l ClO_2. Z výsledků (obr. 7) je patrné, že nejlepších výsledků bylo dosahováno v případě předoxidace NaClO. Naopak předoxidace ClO_2 vedla ke zkrácení doby zanášení KMF.



Obr. 7. *Test předoxidace při koagulaci PAX 19 XL*

Na obr. 8. je uvedeno srovnání průběhu vývoje TMP na KMF pro nejlépe hodnocené výsledky jednotlivých testů. Trendy průběhu TMP pro Flokor 1,2A pro PAX XL19 s přídavkem NaClO jsou velmi podobné a není úplně snadné mezi nimi najít významnější rozdíl. Naopak při ilustračním srovnáním s průběhem vývoje TMP při použití síranu hlinitého je možné říci, že předpolymerovaný hlinitý koagulant by mohl být efektivním přínosem pro provoz KMF v zimním období.

Výhodou předpolymerovaných koagulantů oproti síranu hlinitému může být i fakt, že roztoky obsahují významně vyšší koncentraci Al, čímž se sníží potřeba větších kapacit dávkovacích čerpadel a celková roční spotřeba (výhoda pro provozovatele). V případě koagulatů typu flokor může být výhodou i cenová dostupnost. Další obecně známou výhodou předpolymerovaných hlinitých koagulantů je i fakt, že jejich účinek není tak významně závislý na pH a teplotě vody. Z toho by mohl plynout i další efekt, že by mohlo dojít k úspoře roztoku kyseliny a hydroxidu, protože by mohla klesnout jejich spotřeba z důvodu menší potřeby upravovat hodnotu pH.



Obr. 8. Přehled nejlépe hodnocených výsledků jednotlivých testů

4. ZÁVĚRY

Výsledky našeho výzkumu naznačují, že chemická předúprava vody hraje klíčovou roli v účinnosti keramických mikrofiltrací. Správná volba koagulantů, úpravy pH a typů předoxidace v předúpravě vody před KMF může vést k účinnějšímu využití těchto technologií ve vodním hospodářství.

Závěr tohoto studia ukazuje na několik klíčových poznatků získaných během jednotlivých fází experimentu:

Optimalizace procesu koagulace: V první fázi experimentů byly identifikovány optimální parametry koagulace, přičemž se ukázalo, že provedení koagulačních zkoušek pro správné navržení dávky koagulatu a potřebu úpravy pH je nezbytné pro návrh předúpravy surové vody před KMF. Dále bylo zjištěnu, že vyšší molekulová hmotnost koagulantů má tendenci vést k tvorbě stabilnějších sraženin. Na druhou stranu u KMF neplatí, že koagulační testy stačí na definitivní volbu koagulantu, jeho dávky a koagulačního pH tak, jak je zvykem u filtrů se zrnitou náplní.

Vždy je nutné ještě výběr, který vzešel z koagulačních testů, otestovat a popřípadě dále zoptimalizovat v reálném provozu s přihlédnutím k zanášení membrán.

Vliv doby flokulace: Druhá fáze experimentů zkoumala vliv doby flokulace na výkon KMF. Zjištění naznačila, že doba zdržení ve flokulaci a aplikovaný rychlostní gradient nemají významný vliv na výkon KMF.

Vliv koagulace a pH: Třetí fáze experimentů se zaměřila na vliv koagulace a pH na zanášení KMF. Bylo zjištěno, že předpolymerované hlinité koagulanty, zejména PAX 19 XL, mohou efektivně snižovat zanášení KMF.

Předoxidace: Poslední fáze experimentu zkoumala vliv předoxidace na výkon KMF. Z výsledků vyplývá, že předoxidace může mít významný vliv na odstranění či přeměnu organických látek a bakterií z vody a tím přispět ke zlepšení účinnosti koagulace a zvýšení výkonu membrán. V kombinaci s kyselými koagulanty zároveň napomáhá k optimalizaci pH a tím dále zlepšuje koagulační účinnost.

Celkově tyto závěry naznačují, že předpolymerované hlinité koagulanty, jako je PAX 19 XL, mají potenciál zlepšit výkon KMF při úpravě vody, zejména v chladnějším období. Tento výzkum poskytuje důležité poznatky pro optimalizaci provozu KMF a může přispět k lepší účinnosti úpravy vody v různých provozech.

SEZNAM LITERATURY

1. Krystyna K., Bodzek M., Rajca M., 2006. A coagulation–MF system for water treatment using ceramic membranes. Desalination [online]. 2006. Vol. 198, p. 92–101. DOI 10.1016/j.desal.2006.09.014. Available from https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.014
2. Pikkarainen A. T., Judd S. J., Jokela J., Gillberg L., 2003. Pre-coagulation for microfiltration of an upland surface water. Water Research [online]. 2003. Vol. 38, no. 2, p. 455–465. DOI 10.1016/j.watres.2003.09.030. Available from https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.09.030
3. Park P., Lee C., Choi S., Choo K., Kim S., Yoon C., 2002. Effect of the removal of DOMs on the performance of a coagulation–UF membrane system for drinking water production. Desalination [online]. 2002. Vol. 145, p. 237–245. DOI 10.1016/S0011-9164(02)00418-6. Available from https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00418-6
4. Mo L., Huang X., 2003. Fouling characteristics and cleaning strategies in a coagulation–microfiltration combination process for water purification. Desalination [online]. 2003. Vol. 159, p. 1–9. DOI 10.1016/S0011-9164(03)90040-3. Available from https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)90040-3
5. Bodzek M., Konieczny K., Dudziak M., 2004. Biologically active micropollutants of natural waters. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN [online]. 2004. Vol. 27, p. 310–333. DOI 10.1016/j.desal.2006.09.014. Available from https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.014
6. Judd S.J., Hillis P., 2001. Optimisation of combined coagulation and microfiltration for water treatment. Water Research [online]. 2001. Vol. 35, p. 2895–2904. DOI 10.1016/S0043-1354(00)00586-8. Available from https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00586-8
7. Xia S., Zhang X., Zhao Y., Tan F.J., Li P., Liu Y., 2021. Effect of Pre-Oxidation on Coagulation/Ceramic Membrane Treatment of Yangtze River Water. Membranes [online]. 2021. Vol. 11, p. 369. DOI 10.3390/membranes11050369. Available from https://doi.org/10.3390/membranes11050369
8. Kennedy M., Zhizhong L., Febrina E., Van Hoof S., Shippers J., 2009. Effects of Coagulation on Filtration Mechanisms in Dead-End Ultrafiltration. Water Sci. Technol. Water Supply [online]. 2009. Vol. 3, p. 109. Available from https://www.proquest.com/docview/1943126141?accountid=119841&sourcetype=Scholarly%20Journals

9. Meyn T., Leiknes O.T., 2010. Comparison of Optional Process Configurations and Operating Conditions for Ceramic Membrane MF Coupled with Coagulation/Flocculation Pre-treatment for the Removal of NOM in Drinking Water Production. J. Water Supply. Res. Technol. AQUA [online]. 2010. Vol. 59, p. 2–3. DOI 10.2166/aqua.2010.044. Available from https://doi.org/10.2166/aqua.2010.044

10. Park K., Kim P., Kim H.G., Kim J., 2019. Membrane Fouling Mechanisms in Combined Microfiltration-Coagulation of Algal Rich Water Applying Ceramic Membranes. Membranes [online]. 2019. Vol. 9, p. 33. DOI 10.3390/membranes9020033. Available from https://doi.org/10.3390/membranes9020033

11. Yu W.Z., Xu L., Qu J.H., Graham N., 2014. Investigation of pre-coagulation and powder activate carbon adsorption on ultrafiltration membrane fouling. J. Membr. Sci. [online]. 2014. Vol. 459, p. 157–166. DOI 10.1016/j.memsci.2014.02.005. Available from https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.02.005

OSTROVNÉ SYSTÉMY A TECHNOLÓGIA NÚDZOVÉHO ZÁSOBOVANIA PITNOU VODOU

Ing. Mikuláš Krescanko [1], prof. Ing. Danka Barloková [2]

[1] ProMinent Slovensko, s.r.o., Roľnícka 21, 831 07 Bratislava
e-mail: krescanko.mikulas@prominent.com
[2] Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava
e-mail: danka.barlokova@stuba.sk

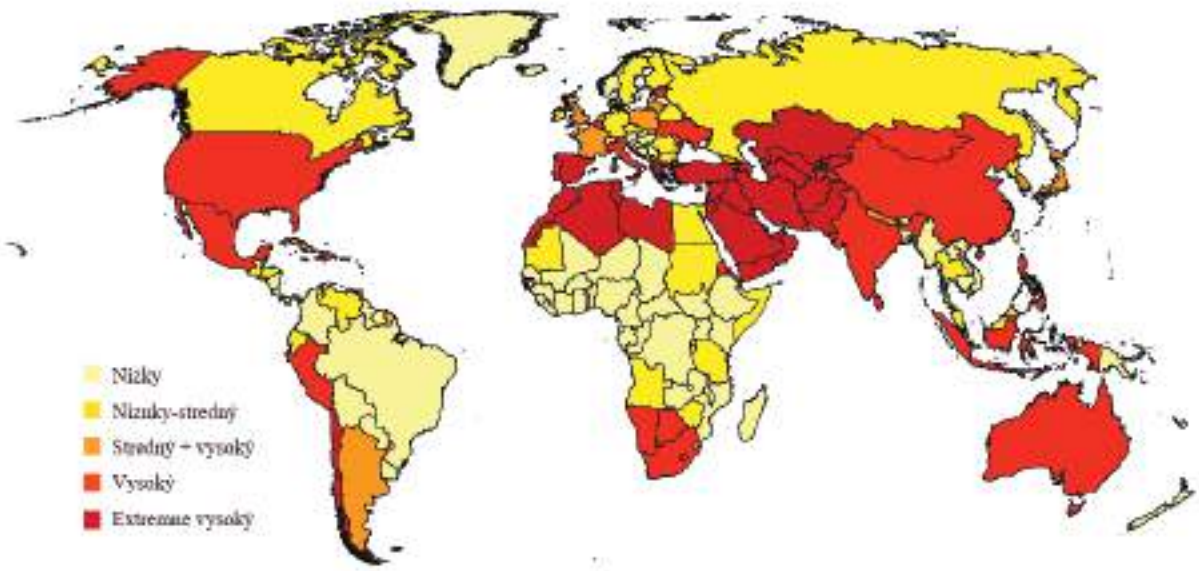
Abstrakt: Aktuálne vojnové konflikty a klimatické zmeny sprevádzané živelnými katastrofami nás motivovali zamyslieť sa nad riešeniami dostupnosti pitnej vody pre obyvateľstvo zasiahnuté ich dôsledkami. Hodnota zdravotne nezávadnej pitnej vody je nevyčísliteľná a jej dostupnosť kľúčová pre prežitie ako také. Pri narušení štandardného zásobovania, náhlej kontaminácii alebo strate vodných zdrojov, sú alternatívou havarijného zásobovania IN-SITU technológie úpravy vody. Kľúčovými atribútmi technického riešenia týchto systémov sú mobilita, kompaktnosť, jednoduchá obslužnosť, so zreteľom kapacitne pokryť životný a hygienický štandard a dôstojné prežitie núdzou skúšaného obyvateľstva. Pri výbere nosnej technológie týchto systémov volíme membránový separačný proces doplnený podľa potreby o stupeň koagulácie, sorpcie a dezinfekcie. Charakteristickým znakom pre ostrovný systém je aj nezávislosť od externých dodávok energií vďaka hybridnému fotovoltaickému zdroju s napojením záložného generátora elektrickej energie. Cieľovou skupinou nie sú len vzdialené lokality skúšané extrémnymi životnými podmienkami, ale sú aj rýchlou a efektívnou odpoveďou na náhradné alebo núdzové zásobovanie vodou v našom geografickom priestore.

Abstract: *Current war conflicts and climate change accompanied by natural disasters have motivated us to reflect on solutions to the availability of drinking water for populations affected by their consequences. The value of safe drinking water is incalculable and its availability crucial for survival as such. When the standard supply is disrupted, sudden contamination or loss of water sources, IN-SITU water treatment technologies are the alternative to emergency supply. The key attributes of the technical design of these systems are mobility, compactness, ease of serviceability, with a view to covering the living and sanitation standards and the survival with dignity of the population in need. In selecting the supporting technology for these systems, we choose a membrane separation process supplemented by a degree of coagulation, sorption and disinfection as appropriate. Another characteristic feature of the island system is its independence from external energy supply thanks to a hybrid photovoltaic source with connection to a back-up power generator. The target group is not only remote locations tested by extreme living conditions, but they are also a quick and efficient answer to spare or emergency water supply in our geographical area.*

1. ÚVOD

Svet čelí bezprecedentnej vodnej kríze. Nové údaje z WRI's Aquaduct Water Risk Atlas uvádzajú, že 25 krajín – jedna štvrtina svetovej populácie – je v súčasnosti vystavených extrémne vysokému vodnému stresu. Celosvetovo sú približne 4 miliardy ľudí, polovica svetovej populácie, vystavené vodnému stresu aspoň jeden mesiac v roku. Do roku 2050 by sa toto číslo mohlo priblížiť k 60 %. [1] Vodný stres vyjadruje a meria pomer celkového dopytu po vode k dostupným obnoviteľným zásobám povrchovej vody a podzemnej vody. Vyššie hodnoty vodného stresu vyjadrujú väčšiu konkurenciu medzi používateľmi. Ide o opačnú

hodnotu dostupnosti vodného zdroja. Na konferencii Pitná voda 2022 – Tábor, som prezentoval dvojicu úspešných projektov odsoľovacích staníc inštalovaných na švédskych ostrovoch Öland a Gotland. Ostrovy dlhodobo trpeli znižovaním hladiny spodných vôd a sezónnym vodným stresom. Podľa dátových údajov projektu AQUEDUCT 4.0 je aktuálna miera vodného stresu v pásme nízkeho (10–20%) a stredného (20–40%) rizika. Je to už stav porovnateľný so Slovenskou a Českou republikou. Verím, že aj inštalované odsoľovacie stanice s inštalovanou kapacitou 10 500 m^3/h zlepšili bilanciu vodných zdrojov voči dopytu. Nie je ničím zvláštnym, že aj krajiny Európy a EÚ sú postihnuté vysokou, až mimoriadne vysokou, mierou vodného stresu. Nie sú to len tropické a subtropické pásma a oblasti Stredozemného mora (Španielsko, Taliansko, Grécko, Turecko, Cyprus). Aj severnejšie položené štáty (Francúzsko, Belgicko, Poľsko, Nemecko, Ukrajina, Litva a ďalšie) majú oblasti so zvýšeným vodným stresom. V porovnaním s rozvojovým svetom majú však menované krajiny finančné prostriedky a vedecko technickú základňu pre efektívny boj proti nepriaznivým klimatickým a vodným podmienkam (hromadné zásobovania obyvateľstva, veľkokapacitnou úpravou jestvujúcich vodných zdrojov). Aktuálnym trendom je aj zavádzanie politiky cirkulárnej ekonomiky a hospodárenia s vodou.



Obr. 1. *Vodný stres na úrovni krajiny v roku 2040 podľa scenára Business-As-Usual; WRI – Aqueduct Projected Water Stredd Country Rankings; 2015*

Prístup k pitnej vode nie je limitovaný len klimatickými podmienkami, suchom alebo vyčerpateľnosťou. Samostatnou kapitolou rizík vodného stresu sú oblasti s narušením hromadného zásobovania z dôvodu prírodnej katastrofy alebo vojnového konfliktu. Z histórie (bohužiaľ aj v súčasnosti) sú známe prípady zníženého prístupu k pitnej vody a následnej epidémie (Cholera, Kryptosporidióza, Salmonelóza, Dyzentéria). Pre tieto prípady sú cielené systémy núdzového zásobovania pitnou vodou. Ďalším cieľom aplikácie systémov núdzového alebo nízko kapacitného zásobovania vodou sú rurálne, vidiecke oblasti, atakované vodným stresom. Typickými predstaviteľmi sú vidiecke oblasti, kde nie je možné napojenie na hromadné zásobovanie vodou, prípadne v dôsledku ľudskej činnosti došlo k znečisteniu jestvujúcich vodných zdrojov. Príkladom môžu byť bývalé banské osady s vysokým podielom As (Arzén), Sb (Antimón) alebo agrárne regióny s vysokou kontamináciou pesticídmi. Podľa štúdie OSN [2] je 2,2 mld. ľudí bez prístupu k pitnej vode. Z toho 1,3 mld. ľudí obýva vidiecke oblastí a 0,9 mld. mestá.

Títo ľudia predstavujú globálny dopyt po zabezpečení vody v podmienkach núdze.

2. MEMBRÁNOVÉ TECHNOLÓGIE – SRDCE ZARIADENIA

Pri analýze požiadaviek na technológiu núdzového zásobovania a výroby pitnej vody sme zvolili ako nosnú technológiu – membránový proces ultrafiltrácie (UF). Membrány UF majú separačnú schopnosť na úrovni 0,02 µm, čo zabezpečí redukciu koloidného znečistenia spôsobujúceho zákal vody. Výsledkom je filtrát so zákalom <0,2 NTU. Proces UF účinne redukuje aj mikrobiálnu kontamináciu na úrovni – baktérie 99,9999 %, vírusy 99,99 %. Významné v prípade UF je, že kvalita filtrátu je konštantná, bez ohľadu na kolísanie kvality surovej vody. Voda zaťažená nerozpustným podielom, hlavne anorganického pôvodu a mikrobiológiou (najčastejšie v prípade podzemného zdroja vody) je upraviteľná procesom jednostupňovej UF na kvalitatívne požiadavky pitnej vody podľa WHO [3]. V prípadoch zvýšenej kontaminácie vody s organickými látkami, humínovými a fulvovými kyselinami, najmä v prípadoch povrchových zdrojov, je technológia vybavená procesom in-line koagulácie. Koagulácia v prípade ultrafiltrácie nie je primárne určená pre dosiahnutie kvality vody, ale na stabilizáciu membrán v prevádzkovej kondícii. Keďže humínové a fulvové kyseliny sú veľkostne zhodné s pórom membrán, atakujú póry a spôsobujú zjavné zanášanie membrány. Procesom in-line koagulácie s reakčným časom 60–120 sec. vznikajú mikrovločky týchto organických látok väčšie ako póry. Tým sa redukuje zanášanie membrán. Pri analýze vody je doporučené stanoviť niektorú z hodnôt ukazovateľa organického uhlíku vo vode: COD_{Cr}, COD_{Mn}, **DOC**, TOC. Pre vyjadrenie koncentrácie humínových látok doporučujeme [4] využtie DOC v mg/l. Jednoduchšie je stanoviť organický uhlík obsiahnutý v týchto látkach, než ich samotné hmotnostné jednotky. Humínové látky obsahujú asi 50% organického uhlíku.

Napriek procesu koagulácie a účinného separačného procesu sa nedá kvantifikovať miera odstránenia organického uhlíka (DOC) ultrafiltráciou. Redukcia závisí na charaktere znečistenia suspenzie vstupujúcej do ultrafiltrácie. In-line koagulácia nie je ekvivalentom konvenčnej koagulačnej filtrácie so stanovenou dávkou koagulantu z chemickej spotreby kyslíka (COD) a následnou dlhou ortokinetickou fázou koagulácie. V prípade UF je dávka koagulačného činidla (Me^{3+} – kov) výrazne znížená, čo nepostačuje pre nábojovú neutralizáciu zeta potenciálu organickej disperzie. Organické látky spolu s kovmi koagulantu však vstupujú do väčších komplexov, pretože humínové látky sú komplexotvorné. Okrem komplexov môžu byť väzby s kovom aj na báze adsorpcie. Miera odstránenia organických látok je súhrnom popísaných reakcií nábojovej neutralizácie, tvorby komplexov a adsorpcie. Výsledkom „koagulačnej UF" je redukcia DOC, avšak ako sprievodný, nie primárny očakávaný výsledok úpravy vody. Pri vodách s vysokým organickým znečistením môže byť zaradený následný sorpčný stupeň s použitím filtra s granulovaným aktívnym uhlím (GAC). Sorpčná kapacita GAC filtra za koaguláciou a UF je pomerne vysoká. Vstupujúca voda je zbavená nerozpustných látok a organických látok s vyššou molekulovou hmotnosťou v prospech ostatných organických látok schopných sorbovať na GAC (napr. pesticidy) [4]. Alternatívnym riešením k GAC je zaradenie ďalšieho membránového stupňa, nanofiltrácie (NF) alebo reverznej osmózy (RO). S nárastom tlaku pre pridaný membránový stupeň je však potrebné kalkulovať nie len pri návrhu solárneho ostrovného systému. V odľahlých oblastiach nemusí byť k dispozícii 3-fázová elektrická sieť s dostatočnou kapacitou!

V prípade aplikácie nanofiltrácie je riešením jednostupňová Hollow-fiber nanofiltrácia, ktorá spája prednosť dutých vlákien s napájaním surovou vodou bez špecifickej predúpravy a separačnej schopnosti nanofiltrácie (MWCO 800–400 Da). Svoj význam má stupeň NF pri riešení kontaminácie vody biocídmi a ich metabolitmi (pesticídy, insekticídy, herbicídy...), alebo PFAS – polyfluoroalkylové látky, flourované perzistentné organické látky z výroby fluóropolymérových povlakov a produktov (Teflon, Gore-Tex). PFAS sú chemikálie s tendenciou akumulácie v životnom prostredí a bioakumulácie s potenciálnym rizikom pre životné prostredie a ľudské zdravie.

Posledným zástupcom membránových technológii využiteľných úprave pitnej vody je spomínaná reverzná osmóza s potenciálom odsolenia vody (TDS) na úrovni monovalentných iónov. Upravená voda reverznou osmózou vyžaduje spätnú remineralizáciu (Ca, Mg, HCO_3) na doporučenú úroveň pre ľudskú spotrebu. V závislosti k obsahu rozpustných soli (TDS) vo vode je úmerný prevádzkový tlak zariadenia. Ak si situácia vyžaduje odsolenie vody alebo odstránenie nebezpečnej kontaminácie latkami s malou molekulovou hmotnosťou (MWCO < 400 Da) je proces UF-RO vhodným riešením. V takomto prípade však doporučujem modelovanie zariadenia z konkrétneho chemického rozboru surovej vody.

Pre garanciu mikrobiálnej bezpečnosti distribuovanej / akumulovanej vody a v zhode so štandardmi pre pitnú vodu [3], je do filtrátu proporcionálne k prietoku dávkovaný NaClO. Vyhýbame sa aplikácii dávkovania NaClO pred technológiu UF, ak to nevyžaduje proces úpravy (oxidácia). Najmä pri zvýšenom organickom znečistení (povrchové vody) a chlorácii dochádza k tvorbe trihalogénmetanu (THM). Z 2,5 mg humínových látok pri chlorácii môže vzniknúť až 30 µg THM [4]. Ďalším nepriaznivým javom je zvýšenie zanášania membrány organickými látkami, ktoré vznikli štiepením väčších organických molekúl. Zvýši sa aj podiel intracelulárnych organických látok z mikrobiálnej kontaminácie po narušení bunkových stien chlóráciou. Vzniknuté organické produkty chlorácie sú povahy malých molekúl, polysacharidov a bielkovín s veľkou afinitou k povrchu pórov a veľkosťou dovoľujúcou penetrovať póry UF membrán.

Ďalšou pomerne často vyskytujúcou kontamináciou vodných zdrojov je železo a mangán. Proces ultrafiltrácie veľmi efektívne redukuje železo v podobe koloidnej disperzie. V závislosti na pH surovej vody a prítomnosti oxidačného činidla oxidujú ióny Fe a Mn do vyšších oxidačných stupňov a zlúčenín s malým koeficientom rozpustnosti. V prípade UF je problémom rôzna rýchlosť oxidácie železa a mangánu. Všeobecne železo oxiduje rýchlo a štandardne postačuje vzdušný kyslík ako oxidačné činidlo. V prípade mangánu vzdušný kyslík nie je dostatočný k oxidácii [5]. Komplikáciou je častý spoločný výskyt Fe a Mn. Konvenčná technológia redukcie Fe/Mn má riešenie s použitím filtrácie cez aktivované lôžko (preparované vyššími oxidmi mangánu alebo s prímesou MnO_2 (Pyrolusite). Oxidačné reakcie na povrchu zrna sú katalyticky urýchlené a dochádza k oxidácii mangánu. Ak voda obsahuje vyšší podiel železa, stáva sa, že hydroxid železitý inhibuje katalytické účinky hydratovaného oxidu manganičitého. Taktiež kalová tvorba železa je vysoká čo znižuje dĺžku filtračného cyklu Fe/Mn filtra z dôvodu nárastu tlakovej straty. Konvenčné prístupy pozostávajú z nízkej filtračnej rýchlosti (3–8 m/h), alebo v použití viac vrstvových alebo dvoj komorových filtroch. Už pri malých kapacitách nadobúda konvenčné zariadenie veľké rozmery. Kompaktnosť technológie postavenej na membránach má veľký význam pre mobilitu a celkové rozmery a váhu zariadenia. Preto sme navrhli a overili analógiu konvenčnej technológie dvoj- komorových filtrov s použitím membrán. Železo je oxidované vzdušným kyslíkom prisávaným ejektorom. Vzdušný kyslík vstupuje do reakcie so železom za vzniku hydroxidu železitého. Pre UF nie je problémom koloidný charakter vzniknutého hydroxidu železitého. Železo je separované na stopové úrovne (štandardne 0,02–0,05 mg/l). Výhodou použitia oxidácie vzdušným kyslíkom v podmienkach núdzového zásobovania je absencia chemikálie nízka stechiometrická dávka O_2 pre oxidáciu (Fe 0,14 mg/mg; Mn 0,29 mg/mg). Zároveň prebytok kyslíka môže vstupovať do paralelných reakcií oxidácie a úpravy pH.

Filtrát UF zbavený iónov železa prechádza na filtráciu s katalytickým lôžkom (MnO_2) s kontinuálnou alebo diskontinuálnou regeneráciou dávkovaním $KMnO_4$ alebo NaClO [6]. Na lôžku prebieha samotná katalytická reakcia. Výsledky podlimitných hodnôt Mn sme dosahovali aj pri ochudobnenom lôžku a vysokých filtračných rýchlostiach až 20m/h.

V závere tejto kapitoly sa venujem odstraňovaniu Arzénu (As), ktorý je najčastejšou príčinou úpravy v oblastiach do ktorých boli distribuované naše zariadenia pre núdzové zásobovanie

vodou. Ide hlavne o seizmicky a geotermálne aktívne oblasti Južnej Ameriky (Čile, Peru, Bolívia, Ekvádor). Arzénom sú atakované aj nivy riek s naplaveným sedimentom z mladších pohorí (Bangladéš, India, Vietnam, Čína, Nepál, Pakistan, Taliansko, Maďarsko, Thaiwan, Japonsko, Botswana, Cameroon, USA). Tento výskyt As postihuje veľké oblasti. Je komplikovaný aj súčasným výskytom **Mn**, NH_4, HCO_3 a Fe. Zároveň nízkou úrovňou SO_4 a NO_3. Z pohľadu súbežnej úpravy Mn a As je komplikácia na strane pH. K redukcii As dochádza v kyslej a Mn v zásaditej oblasti. V menšej miere je výskyt As daný alkalickou desorpciou, sprevádzanou aj výluhmi ďalších toxických iónov F, B, Mo, Se (Argentína, Španielsko, Čína, USA), alebo sulfidovou oxidáciou s vysokou hladinou síranov a nízkym pH. Sú to aj oblasti výskytom vzácnych kovov ako zlato, cín (Ghana, Burkina Faso, Thajsko, India, Turecko, Fínsko, Mexiko, Kanada, USA) Úroveň As v upravovaných vodných zdrojoch dosahuje 70–200 µg/l As na vstupe. Stanovený limit pre pitnú vodu je 10 µg/l. Ten vychádza len zo štúdií WHO zohľadňujúcich riziko rakoviny. Doporučenie WHO je minimalizovať obsah As v pitnej vode najviac ako sa dá [7].

Odstránenie Arzénu je možná a zároveň efektívna s použitím UF membrán. Arzén sa veľmi značne sorbuje na hydratovaných oxidoch Fe a Al, pričom As^{V} sa podstatne viac zadržiava než As^{III}. Optimum adsorpcie As^{V} leží v kyslej oblasti pH , pretože As^{V} sa tu vyskytuje prevažne ako anión a jeho adsorpcia vyžaduje, naopak, kladné nabitý povrch hydratovaného oxidu. Menšia adsorpcia As^{III} je pravdepodobne spôsobená tým, že je za rovnakých podmienok prítomný prevažne v neiónovej forme. Preto je výhodné previesť oxidáciou všetky formy arzénu na As^{V}. Ďalším dôvodom je menšia rozpustnosť arzeničitanu železitého ako arzenitanu železitého. Účinnejšia je adsorpcia na hydratovanom oxide železitom než hlinitom [4]. Dosahované výsledky redukcie arzénu ultrafiltráciou, s predradenou oxidáciou (NaClO) a dávkovaním železitého koagulantu ($FeCl_3$), sú prekvapivé. Arzén vo filtráte je takmer u všetkých aplikácii na limite stanovenia (<1 µg/l As). Proces prípravy suspenzie prebieha v reakčnej nádrži so zádržnou dobou 120sec. Dávka koagulantu sa v návrhu stanovuje ako 1mg/l Fe^{3+} na 20µg/l As. Oxidácia vo väčšine prípadov postačuje na úrovni hygienického zabezpečenia vody chlóraciou 0,3–0,5 mg/l Cl. Kyslý charakter použitého koagulantu $FeCl_3$ takmer vo všetkých prípadoch postačuje na korekciu pH do optimálnej oblasti. Bežne ustálená dávka Fe pri dávkovaní $FeCl_3$ je medzi 2,5–3,5 mg/l Fe^{3+}. Redukcia arzénu ultrafiltráciou je pomerne komfortná úprava. Upravované sú hlavne podzemné zdroje vody so zanedbateľným organickým znečistením, vplývajúcim na pokles permeability membrány.

3. POŽIADAVKY NA TECHNOLÓGIU

Spoločnými znakmi pre technológiu, ktorá musí zabezpečiť služby v podmienkach núdze, sú hlavne mobilita, jednoduchosť ovládania a pokrytie širšieho spektra kvality surovej vody. Ďalším znakom je limitovaný výkon úpravne vody, potrebný na pokrytie životných potrieb. Dostupnosť kvalitnej pitnej vody má prioritu pred kapacitou úpravne.

Extrémnym podmienkam nepodlieha len obyvateľstvo, ale aj technologické zariadenie. Pri návrhu musí byť braná do úvahy teplota prostredia, vlhkosť, nadmorská výška, ale aj korózne prostredie alebo seizmická aktivita v oblasti inštalácie.

Dôležitým kritériom návrhu sú aj logistické požiadavky v zhode s medzinárodnými štandardmi ISO a CSC (International Convention for Safe Containers). Z povahy zariadenia sú relevantné aj NATO štandardy STANAG pre logistiku špeciálnej techniky. Zariadenie po doprave na miesto inštalácie musí byť v krátkej dobe uvedené do prevádzky podľa možností v režime plug & play.

4. NASADENIE OSTROVNÝCH SYSTÉMOV – TECHNICKÉ RIEŠENIE

V roku 2023 sme inštalovali štyri ostrovné systémy v Južnej Amerike (Chile) a Afrike (Guinea). Technológia na báze ultrafiltrácie je inštalovaná v 8-stopom ISO kontajneri, napájanom výhradne solárnym zdrojom energie. Perifériou Ultrafiltrácie sú jednotka neutralizácie odpadových vôd z chemického prania membrán CEB a súbor dávkovania štvorice procesných chemikálií (NaOH, H_2S0_4, $FeCl_3$ a NaClO). U trojice zariadení inštalovaných v Chile je technológia aplikovaná na primárne odstránenie arzénu. Koagulant a NaClO sú dávkované pred reakčnú nádrž pre prípravu suspenzie pred UF. Srdcom technológie je kompaktné zariadenie UF s prevádzkovaným výkonom 2 m^3/h, typ ProMinent UFDJ 4.6. Toto zariadenie nevyžaduje externú perifériu pre pracieho tanku a pracieho čerpadla, čím sa ideálne hodí pre kompaktné kontajnerové riešenia. UF membrány INGE Dizzer MB0,9 s filtračnou plochou 6 m^2 sú inštalované v tlakových moduloch s možnosťou jednoduchej výmeny. Výrobne sú k dispozícii tri modely týchto zariadení s 4, 6 a 8 membránami s nominálnou kapacitou 1 800 l/h až 3 600 l/h (flux 75 $lm^{-1}h^{-1}$). Maximálny hydraulický výkon zariadenia je limitovaný prevádzkovým flux 90 $lm^{-1}h^{-1}$. Proces riadenia technológie úpravy je plne automatický s lokálnym aj vzdialeným prístupom prostredníctvom 4G siete. Filtračný cyklus je riadený v režime času alebo pretečeného množstva so sledovaním limitov TMP (trans membrane pressure) a Pn (permeabilita). Diagnostika kondície membrán je zabezpečená meraním prietoku, vstupného a výstupného tlaku, teploty a výpočtom parametrov TMP, Flux, Permeabilita. Riadenie má adaptovaný aj na manažment využitia zdrojov elektrickej energie a vybíjania akumulátorov. Riadi sa odpínanie a inštalovaná záťaž periférnych zariadení ako klimatizácia, čerpanie, pauzovanie technológie pri vybití batérií.
Energiu zabezpečuje 8–10 solárnych panelov s jednotkovým výkonom 400Wp, celkovým max. výkonom 3,2–4 kWp.

Obr. 2. *Ostrovný systém v Chile (2023). Trojica jednotiek je inštalovaná v extrémnych podmienkach vulkanického pohoria v nadmorských výškach nad 4000 m.n.m. Zariadenia zabezpečujú redukciu arzénu. Zariadenia vytvárajú sieť čerpacích bodov pitnej vody pre distribuovanej obyvateľom cisternami.*

Obr. 3. *Zabezpečenie pitnej vody pre zdravotné zariadenie v meste Kaback, Guinea, Západná Afrika.*

5. ZÁVER A CIELE K VÝSKUMU A DISKUSII

Príspevok má za cieľ poukázať na akútny celosvetový dopyt po tomto type zariadení. Dopyt zvyšuje globálny vodný stres, ktorý si u nás často mylne vysvetľujeme ako symptóm chudoby. Vodný stres nie je následkom chudoby, ale často jeho primárnou príčinou. Subjektívne sa pre mňa stal dopyt po pitnej vode výzvou nachádzať progresívne technické riešenia, ktoré už reálne prinášajú svoje ovocie a merateľné výsledky. Ďalším krokom vo výskume a vývoji zariadení tohto typu je detailnejšie zmapovanie ich potenciálu pri úprave vody. Návrh štandardných postupov pre spoľahlivú prevádzku technológie, unifikácia s adaptáciou získaných poznatkov z aplikácií zjednoduší hromadnú výrobu a nasadenie týchto zariadení. Pretože nezávadná pitná voda bude pre stále menej ľudí na svete samozrejmosťou.

ZOZNAM LITERATÚRY

[1] S. Kuzma, M. F. Bierkens, S. Lakshman, T. Luo, L. Saccoccia, E. H. Sutanudjaja a R. Van Beek, „Aqueduct 4.0: Updated decision-relevant global water risk indicators," WRI, Washington, DC, 2023.

[2] United Nations, „The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace.," UNESCO, Paris, 2024.

[3] WHO, Guidelines for drinking-water quality, Geneva: WHO, 2022.

[4] P. Pitter, HYDROCHEMIE, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009.

[5] V. Janda, „Odželezování a odmanganování," rev. Laboratórní metody v technologii vody, Praha, VŠCHT v Praze, 1997.

[6] Inversand Company, „GREENSANDPLUS Technical data," Inversand Company, Clayton, 2013.

[7] WHO, „Arsenic Primer – Guidance on the Investigation & Migration of Arsenic Contamination", UNICEF, New York, 2018.

KONTEJNEROVÉ VODOJEMY A OSTATNÍ PRVKY VODOHOSPODÁŘSKÉ INFRASTRUKTURY, UDRŽITELNÁ CESTA ROZVOJE A MODERNIZACE VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

Tomáš Sklenárik [1], Michal Ryneš [2]

[1] ELMONTIA a.s., Nepasice 132, 503 46 Třebechovice pod Orebem
e-mail: tomas.sklenarik@elmontia.cz

[2] STAVEBNÍ PODPORA s.r.o., Dragounská 130, 390 01 Klatovy
e-mail: rynes@stavebni-podpora.cz

1. KONTEJNER JAKO ZÁKLADNÍ STAVEBNÍ KÁMEM

Kontejnerizací se zabýváme již skoro 20 let. Integrovali jsme různá technologická zařízení od velínů, rozvoden, bioplynových stanic, testovacích komor až po bateriové úložiště. Naše zařízení využívají zákazníci po celém světě.

Základní myšlenka je vždy stejná: Ekonomické a udržitelné řešení. Co si pod tím představit? Zařízení, technologie nebo vaše potřeby osazené v 1x použitém lodním kontejneru.

Předmětem našich řešení jsou především tyto prvky vodohospodářské infrastruktury:
- kontejnerové vodojemy,
- kontejnerové ATS stanice s akumulací vody,
- armaturní komory,
- nouzové zásobování pitnou vodou,
- uskladňovací nádrže (voda, užitková voda, kal, požární zásobník),
- úpravny vody,
- dešťové zdrže.

2. KONTEJNEROVÝ VODOJEM

Vodojem je základní kámen vodovodního systému. Bez akumulace vody na jednom nebo více místech, nelze zajistit požadovanou funkčnost vodovodní soustavy. V České republice používáme tisíce vodojemů v různém stavu. To je ten hlavní důvod, proč jsme jako ELMONTIA investovali peníze do výzkumu a vývoje kontejnerového vodojemu.

Výsledkem našeho vývoje je modelová řada kontejnerových vodojemů MRAK:
- MRAK_20 s kapacitou až 24 m^3,
- MRAK_40 s kapacitou až 45 m^3.

Jedná se o modulární řešení a kombinací lze dosáhnout jakýkoliv objem.

3. OBEC DLOUHÁ VES – PRŮKOPNÍK INOVATIVNÍCH ŘEŠENÍ

Obec Dlouhá Ves je majitelem a provozovatelem vodovodní soustavy v obci. Tato soustava se skládá z:

- Zdroj vody – vrty
- Vodojem před spotřebištěm
- Spotřebiště

Předmětem našeho řešení bylo navýšení kapacity vodojemu (zásoby pitné vody) v areálu stávajícího vodojemu. Současný vodojem o kapacitě cca 100 m3 byl vyhotoven před rokem 1980. Vodojem je betonový, vykazuje známky opotřebení odpovídající stáří. Kapacita vodojemu je na hraně denní potřeby obce. V obci je plánovaná další výstavba obytných budov, která se výrazně projeví v odběru pitné vody. Zároveň jsou v obci původní nemovitosti, které doposud nejsou na vodovodní řad připojeny a z kapacitních důvodů nemohou být.

Obr. 1. *Vodojem v Dlouhé Vsi před instalací MRAK_20*

V současné době probíhá realizace nového zdroje pitné vody pro obec. Jedná se o půdní zářez, který bude propojen s vodojemem.

Instalací kontejnerového vodojemu si obec zajistila:

- Rozšíření akumulace vody.
- Záložní vodojem v případě odstávky / čištění / poruchy hlavního vodojemu.
- Snadné připojení nového zdroje pitné vody, včetně technologie úpravy vody.

Po několika schůzkách a po vzájemné shodě s investorem jsme navrhli použít MRAK_20. Jedná se o kontejnerový vodojem včetně technické místnosti pro následnou úpravu pitné vody z nového zdroje o objemu 23 m^3. Rozměry kontejneru jsou: 6058x2430x2900 mm. Základem je „single used" CSC certifikovaný kontejner 1x použitý pro námořní přepravu. Jedná se o ekologické řešení, které nemá dodatečné materiálové požadavky.

Předpokládaná životnost navrhovaného řešení je 40+ let. Naše řešení počítá se šesti měsíčním zkušebním provozem a zárukou 24 měsíců po uplynutí zkušebního provozu.

Základní vybavení kontejnerového vodojemu kontejneru:
- plastová PP izolovaná nádrž na pitnou vodu o objemu 23 m^3 (prvovýroba – určeno pro styk s pitnou vodou),
- připojovací armatury včetně prostupů, potrubí a uzavíracích armatur,
- výpust,
- vstupní poklopy,
- odvětrání,
- izolace technické místnosti,
- elektroinstalace včetně rozvodné skříně a servisní zásuvky 2x 230 V / 16 A,
- vnitřní osvětlení nádrže a technické místnosti,
- příprava pro další technologické vybavení (technická místnost).

Obr. 2. *Instalace vodojemu MRAK_20*

Obr. 3. *Vodojem před uvedením do provozu*

Obr. 4. *Vodojem po uvedení do provozu*

Při instalaci se potvrdili naše předpoklady, na které byl kladen důraz ve fázi výzkumu a vývoje. Nabídnout uživatelům a provozovatelům řešení, které lze snadno instalovat a v co nejkratším možném termínu začít používat. Dále byl při vývoji kladen důraz na kompaktnost celého zařízení a možnost instalace potřebné technologie na úpravu vody do jednoho objektu. Proto má náš vodojem technickou místnost. Rozměry této místnosti lze upravit dle požadavků zákazníka.

Hmotnost nenapuštěného MRAKu_20 se pohybuje kolem 6 tun. Manipulace s takovým břemenem je daleko snazší a mnohem levnější než usazovat a transportovat betonový monolit nebo betonovat požadovanou nádrž přímo na místě. Nejenom z pohledu investora se jedná o inovativní řešení. Nemusíte řešit žádné sekundární náklady jako u standartních vodojemů, a to především jeřáb, výkopy, betonáže nebo odvoz přebytečné zeminy. Rovněž nevzniká ani nadměrná dopravní zátěž poškozující okolní krajinu nebo sousedící pozemky. Manipulace s vodojemem MRAK je snadná a dostupnost místa instalace není limitem pro realizaci. Výše uvedená fotodokumentace potvrzuje i další nespornou výhodu, malé zástavbové rozměry. V tomto konkrétním případě plocha o rozměrech 6 x 2,6 m. Instalaci museli ustoupit pouze dvě vzrostlé břízy.

V polovině února 2024 jsme předali vodojem do užívání.

envi pur

NA TRHU 25 LET ZKUŠENOSTÍ A INOVACÍ

ENVI-PUR, s.r.o.
Na Vlčovce 13/4
160 00 Paha 6

+420 381 203 211
info@envi-pur.cz
www.envi-pur.cz

ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

- **Domovní a kontejnerové čistírny**
- **Obecní a průmyslové čistírny**
- **Membránové čistírny**
- **Aerační systémy, mechanické předčištění, odvodnění kalu**
- Lapáky tuků, odlučovače ropných látek
- Zdvihací zařízení a regulační hradítka
- Mikrobublinná flotace MiFlo
- Usazovací a dosazovací nádrže (kruhové, ClariVac)
- Elektrokoagulace

Čištění odpadních vod

ÚPRAVA VODY

- **Flotace DAF**
- **Drenážní systém Leopold**
- **Filtrační materiál Filtralite**
- **Membránová mikrofiltrace AMAYA**
- Granulované aktivní uhlí WG12
- Dezinfekce vody
- Odstranění mikropolutantů
- Čiřiče EP-C, lamelová separace
- Atmosferické i tlakové filtry

Úprava vody

Recyklace vody

RECYKLACE VODY

- **Membránové technologie**
- **Pokročilé oxidační procesy**
- **Sorpce na GAU**
- Poloprovozní testy
- Vodní audity

Ostatní služby

OSTATNÍ SLUŽBY

- **Vodní paprsek**
- **Laserový paprsek**
- Výroba z plastu a oceli na míru
- Ohraňovací lis

Dešťový program

DEŠŤOVÝ PROGRAM

- **Nádrže na děšťovou vodu**
- Příslušenství
- Vyřízení dotací

Pro všechny dodávané služby nabízíme zpracování komplexního řešení hospodaření s vodou na klíč.

Vyslechneme si vaše potřeby, přání a možnosti.

Přijedeme se podívat na místo realizace.

Připravíme návrh optimálního řešení na míru.

Ověříme účinnost navrženého řešení poloprovozním testováním.

Pomůžeme s projektovou dokumentací.

Provedeme instalaci a uvedení do plného provozu.

Zajistíme technickou podporu při provozu.

envi pur

Čištění odpadních vod

Recyklace vody

HOSPODAŘENÍ S VODOU V PRŮMYSLU

ENVI-PUR se vodou a s jejím hospodařením zabývá již 25 let. Víme přesně jak je voda pro průmyslové podniky důležitá a nenahraditelná. Zkušenosti z námi realizovaných vodních auditů a projektů nám stále více ukazují, že ne vždy je voda využívána efektivně, nesplňuje regulační požadavky a nelze ji vypouštět do komunálních čistíren odpadních vod. Naše osvědčené technologie umí znečištěnou vodu vyčistit, a když je potřeba tak i znovu využít v rámci podniku.

ENVI-PUR VÁM POMŮŽE

- **Splnit požadovanou kvalitu vypouštěné odpadní vody z podniku** – díky našim, na míru navrženým technologiím pro vámi vyprodukovanou odpadní vodu, budete splňovat potřebné odtokové parametry.
- **Opětovně používat vodu** – s vodou je potřeba dobře hospodařit, proč tedy nevyužít minimálně znečištěné odpadní vody či vyčištěné odpadní vody v rámci podniku, a znovu je využít např. jako vody technologické.
- **Vypracovat vodní audit** – najdeme pro vás to nejlepší řešení pro efektivní hospodaření s vodou. Vodní audit je komplexní analýzou vodního hospodářství.
- **Navrhnout a provést poloprovozní testy** – na základě vašich požadavků a zjištěných parametrů připravíme návrh vhodné technologie, jejíž účinnost ověříme během poloprovozního testování.
- **Vytvořit technologický záměr pro žádost o dotaci** – následně doporučíme naše osvědčené spolupracovníky, kteří vám pomohou se zpracováním žádosti i následnou administrací schváleného dotačního záměru.
- **Minimalizovat ekologické zatížení přírody** – voda je nejen klíčovou sloučeninou pro život na Zemi, ale také naprosto zásadní surovinou pro významnou část průmyslové výroby. Staňte se zodpovědnou a zelenou společností a hospodařte s vodou efektivně.

PRŮMYSLOVÉ OBORY, KDE POMÁHÁME

Automotive

Energetický

Farmaceutický

Chemický

Keramický a sklářský

Koželužný

Papírenský

Potravinářský

Rybářství a lesnictví

Textilní

Stavební

Strojírenský

NA TRHU 25 LET ZKUŠENOSTÍ A INOVACÍ

www.envi-pur.cz

NAUČÍME VÁS HOSPODAŘIT S VODOU

Kvalita průmyslových odpadních vod je velice různorodá dle typu průmyslu. Najít vhodný způsob čištění průmyslových odpadních vod zahrnuje komplexní přístup od laboratorních testů, přes ověření navrhovaných parametrů na poloprovozním zařízení, studii proveditelnosti a projekt, až po následnou realizaci.

CESTA K ČISTÉ VODĚ A ÚSPORÁM

Vyslechneme si
vaše potřeby, přání a možnosti.

Přijedeme
se podívat na místo realizace.

Připravíme návrh
optimálního řešení na míru.

Ověříme účinnost
navrženého řešení poloprovozním testováním.

Pomůžeme
s projektovou dokumentací.

Provedeme instalaci
a uvedení do plného provozu.

Zajistíme
technickou podporu při provozu.

PŘÍPADOVÉ STUDIE – VODY V PRŮMYSLU

Výrobce krmiv pro domácí mazlíčky

Česká republika

Zadání: *Nedostatek vody.*
Potřeba recyklace vody = úspora.

Nedostatečná kapacita vodovodního přivaděče pro potřeby výroby byla pro našeho klienta, který patří mezi největší výrobce krmiv pro domácí mazlíčky, důvodem, proč se na nás obrátit s požadavkem na recyklaci vody.

Velké množství pitné vody se používá během procesu sterilizace k ohřevu autoklávů. Tato odpadní voda, jejíž teplota se pohybuje mezi 40-50 °C, byla odváděna do kanalizace a na čistírnu odpadních vod.

Pro našeho klienta jsme zvolili, vzhledem k poměrně vysoké teplotě recyklované vody, technologii keramické membránové separace s předřazenou koagulací.

Odpadní voda z autoklávů je v současné době na této technologii recyklována a je v požadované kvalitě opětovně používána pro ohřev autoklávů. Denní množství recyklované vody je 90-120 m^3/d. To je objem, který se okamžitě projevil na snížení nákladů za vodné – není nutno odebírat pitnou vodu z řadu, a na stočném, protože se tato voda již nevypouští na ČOV, ale je recyklována.

Čištění odpadních vod z pivovaru

Švédsko

Zadání: *Přísné legislativní limity.*
Recyklace = úspora.
Nezávislost na městské ČOV.

Švédsko je země, která klade velký důraz na ochranu životního prostředí. Náš klient, pivovar s ročním výstavem piv 25 tis. hl/rok, nás oslovil s požadavkem na novou, vlastní čistírnu.

Prioritním cílem investora bylo splnit přísné odtokové limity, které požaduje švédská legislativa. Dalším cílem bylo uspořit náklady na pitnou vodu tím, že by se tam, kde je to možné, místo pitné vody využívala voda recyklovaná.

Tým technologů zvolil technologii membránového biologického reaktoru (MBR), která v provozu spolehlivě plní oba požadované cíle investora.

Pivovar vlastní čistírnou získal nezávislost na městské ČOV. Část odpadní vody recykluje a dále využívá ve svém provozu. Nevyužitou vyčištěnou vodu vypouští v dobré kvalitě do přilehlého potoka.

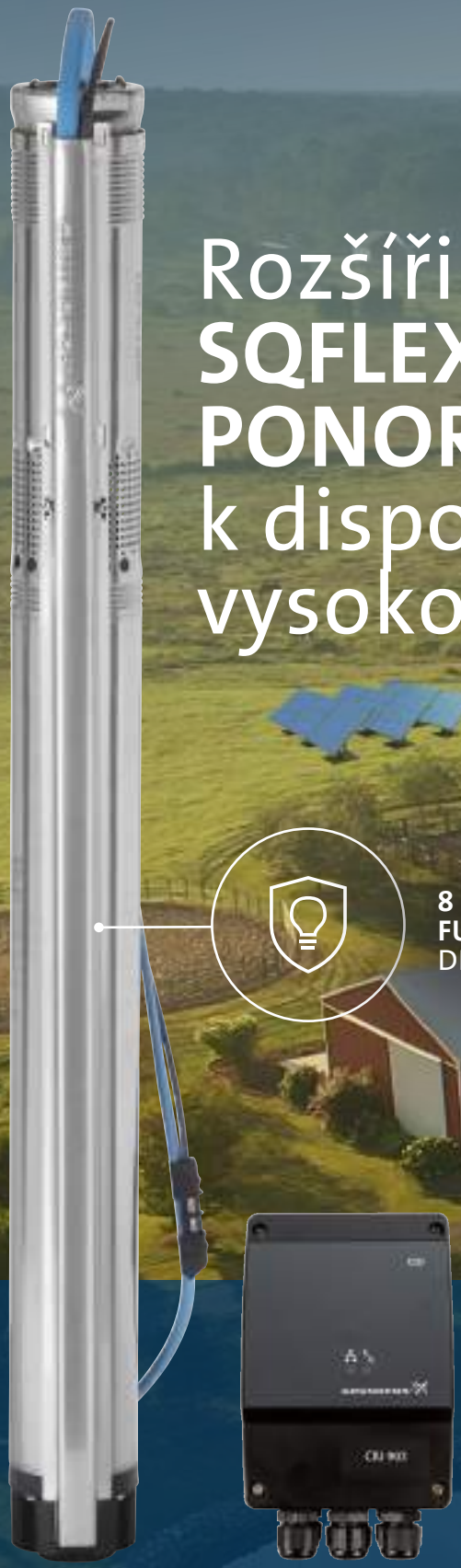
envi pur

ENVI-PUR, s.r.o.
Wilsonova 420
392 01 Soběslav

+420 381 203 211
info@envi-pur.cz
www.envi-pur.cz

PROZKOUMAT ROZSAH:
GRUNDFOS.COM / SQFLEX

Rozšířili jsme **SQFLEX SOLÁRNÍ PONORNÁ ČERPADLA** k dispozici nové vysokorychlostní modely



8 VESTAVĚNÝCH OCHRANNÝCH FUNKCÍ: SPOLEHLIVÝ PROVOZ A DLOUHÁ ŽIVOTNOST ČERPADLA

Získejte ještě větší pokrytí vaší potřeby čerpání vody na solární pohon s naší rozšířenou řadou ponorných čerpadel Grundfos SQFlex. Nyní k dispozici v 5 modelech se spirálovým rotorem (průměr 3") a 11 odstředivých modelech (průměr 3" a 4"), SQFlex je postaven s osvědčenou technologií na základě 40 let zkušeností solárního čerpání

- Nejširší rozsah napětí na trhu (30-300 VDC | 90-240 VAC)
- Vestavěný AC/DC střídač
- Integrovaná ochrana proti chodu nasucho
- Vestavěná ochrana proti přepětí/podpětí

GRUNDFOS

300 LET
Vodárenské věže

VÝSTAVA 300 LET VODÁRENSKÉ VĚŽE

náměstí Přemysla Otakara II., Č. Budějovice

9. - 28. července

areál Vodárenské věže, Mánesova ul., Č. Budějovice

30. července - 18. srpna

KOMENTOVANÉ PROHLÍDKY

Prohlídky Vodárenské věže a vodojemu

areál Vodárenské věže, Mánesova ul., Č. Budějovice

víkendy v červenci a v srpnu

PARNÍ STROJE NA VODÁRENSKÉ VĚŽI

areál Vodárenské věže, Mánesova ul., Č. Budějovice

21. července a 22. září

DIVADLO

"Kterak radní o stavbě Vodárenské věže, vodovodu
i Samsonovy kašny rozhodovali aneb 300 let tu stojí"

vodojem v areálu Vodárenské věže

1.,2.,22. a 25. července, 12., 26. a 28. srpna

Podrobný program a rezervace prohlídek najdete na www.vodarenskavezcb.cz

ČEVAK

technoprocur cz

Měřit zákal za filtry pod 0,300 NTU (dle vyhlášky 256/2023 Sb.)?
… se zákaloměry SIGRIST AquaScat 2 WTM žádný problém!

SIGRIST AquaScat 2 WTM iQ

Neocenitelný pomocník při úpravě vody

Bezkonkurenční přednosti:

- garantovaná přesnost +/- 0,001 FNU (NTU) nebo +/- 1,5% z měřené hodnoty
- zcela bezkontaktní měření ve volně padajícím paprsku vzorku (bezúdržbový provoz, vynikající stabilita)
- možnost významných úspor vody a energie na praní filtrů (rychlá návratnost investice)
- minimální provozní náklady
- roční kalibrace skleněným standardem (bez potřeby formazinu)
- atest pro styk s pitnou vodou
- plná záruka 10 let od uvedení do provozu*
- životnost delší než 20 let
- zápůjčka na 2 měsíce zcela zdarma
- možnost dlouhodobého pronájmu (bez nutnosti počáteční investice)
- osvědčené řešení měření zákalu – již více než 350 referencí v ČR

*při dodržování ročních servisních kontrol technikem TECHNOPROCUR CZ

sigrist photometer SWISS MADE

TECHNOPROCUR CZ – výhradní zastoupení a autorizovaný servis SIGRIST a SWAN pro ČR

Dodávky a servis analyzátorů pro maximálně efektivní řízení vodárenských technologií.
Návrhy, ověřovací kampaně a realizace optimalizačních řešení.
Technická podpora, poradenství.
Možnost krátkodobých i dlouhodobých pronájmů analyzátorů včetně GSM přenosu dat.

TECHNOPROCUR CZ, spol. s r.o.
Lipová 524, 252 43 Průhonice
tel.: 241 716 010, 241 716 024
e-mail: info@technoprocur.cz

Ing. Josef Pišan
aplikační specialista
mobil: 602 239 910
e-mail: josef.pisan@technoprocur.cz

www.technoprocur.cz

xylem
Let's Solve Water

WTW

Nové řešení pro Váš monitoring pitné vody.

Představujeme Vám náš nejnovější vývoj pro neustálé sledování kvality vaší vody.

info.cz@xylem.com
www.xylem.com

Váš partner na českém trhu:

Xylem Česká republika spol. s r.o.
Walterovo náměstí 329/3
158 00 Praha 5 - Jinonice

wilo

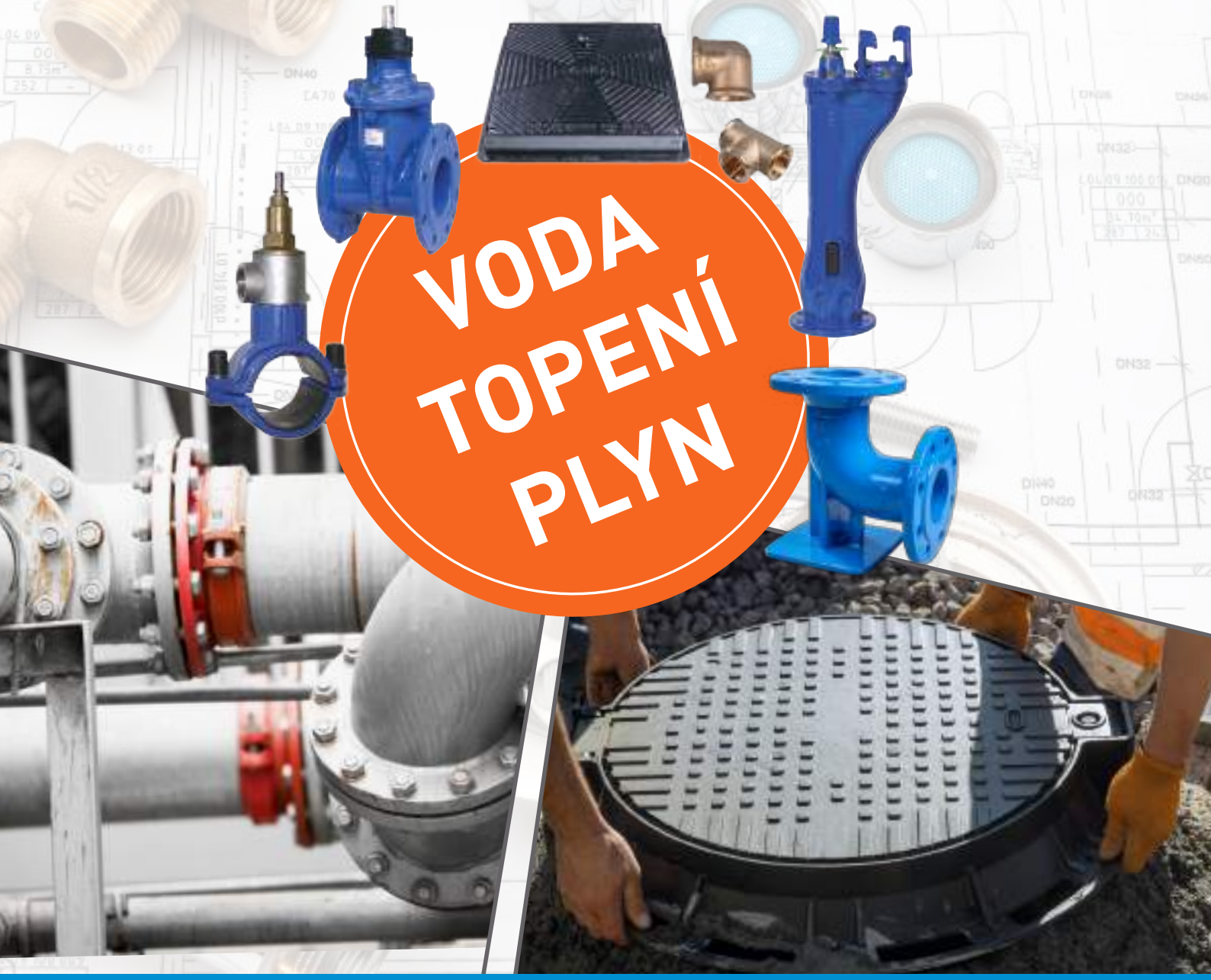
30 LET WILO CS

Cesta k udržitelnosti díky snížené spotřebě elektrické energie a CO_2

Join the ecolution.

HECKL

www.heckl.cz



VÝROBA A VELKOOBCHOD

16 POBOČEK: Kralupy nad Vltavou • Valašské Meziříčí • Karlovy Vary
Sokolov • Brno • Mělník • Cheb • Mariánské Lázně • Olomouc
Praha • Prostějov • Starý Plzenec • Tábor • Teplice
Týniště nad Orlicí • Moravská Třebová

Kontejnerové řešení vodohospodářské infrastruktury:

Vodojemy / ATS / Armaturní komory / Uskladňovací nádrže kalu / Prvky vodohospodářské infrastruktury

Proč?

kontejnerové řešení od ELMONTIA

- Mobilita
- Životnost a robustnost
- Snadná a rychlá instalace
- Možnost umístit kdekoliv ve vodovodní síti
- Jednoduchá obsluha a uživatelský komfort
- Snadná manipulace a přeprava (dostupnost místa instalace není limit pro realizaci)
- Certifikovaný materiál pro pitnou vodu
- Značná úspora stavebního materiálu
- Oddělená a izolovaná strojovna pro instalaci potřebné technologie
- Ochrana proti zamrznutí
- Možnost přizpůsobit okolí

ELMONTIA

ELMONTIA a.s.
Nepasice 132
CZ 503 46 Třebechovice pod Orebem
Tel.: +420 602 340 680
E-mail: sales@elmontia.cz

www.elmontia.cz

gdf

- Dispečerský systém pro vodárenství
- Zpracování projektové dokumentace
- Kompletní dodávka řídicího systému
- Dodávka motorické elektroinstalace
- Realizace na více než 4400 objektech

CDSP Hradec Králové

ÚV Vyškov Dědice

VDJ Radslavice

ÚV Hrobice

GDF spol. s r. o., Mostkov 28, 788 01 Oskava

tel.: 583 301 811 gdf@gdf.cz www.gdf.cz

VODOVODY A KANALIZACE
HRADEC KRÁLOVÉ, a.s.

Spolehlivý dodavatel pitné vody na Královéhradecku pro více než 172 000 obyvatel

www.vakhk.cz

Vodovody a kanalizace Hradec Králové, a.s.
Víta Nejedlého 893, 500 03 Hradec Králové

"Věřím, že dnes nás již nikdo nemusí přesvědčovat o problémech s vodou, které nás čekají, neboť mnohé již nastaly a jsou očividné. Ale co s tím?! Většina z nás o problému ví, mnozí věříme, že je třeba jej řešit a někteří již vědí, jak na to. Ano, chce to informace, znalost problematiky, zkušenosti v oboru. Kde tyhle vzácné ingredience pramení?... Přeci ve škole!"

Absolvent kurzu Martin Císař

ROZŠIŘTE SI KVALIFIKACI

Opět pro vás otevíráme studijní program VODOHOSPODÁŘSKÉ STAVBY A PROVOZOVÁNÍ VODOVODŮ A KANALIZACÍ. Další ročník začíná v říjnu 2024. Přihlášky lze podat již nyní.

Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, z.s. (SOVAK ČR) otevírá studijní program „Vodohospodářské stavby a provozování vodovodů a kanalizací" poosmé. Letos ve spolupráci se Střední školou stavební ve Vysokém Mýtě, která připravuje vodohospodáře více než 125 let a celoživotnímu vzdělávání se věnuje od roku 2005.

Cílem programu je naučit posluchače komplexní témata z oboru Vodohospodářské stavby na úrovni maturitního studia. Dojde tak ke zvýšení kvalifikační úrovně provozovatelů vodovodů a kanalizací i zainteresovaných pracovníků veřejné a státní správy. Představenstvo SOVAK ČR schválilo zastřešení tohoto studijního programu, který by měl představovat minimální standardní kvalifikační požadavek pro provozovatele vodovodů a kanalizací.

Více informací naleznete v brožuře o studijním programu Vodohospodářské stavby a provozování vodovodů a kanalizací, kterou naleznete na www.sovak.cz.

SOVAK
SDRUŽENÍ OBORU VODOVODŮ A KANALIZACÍ ČR

STAVEBNÍŠKOLA·CZ
VYSOKÉ MÝTO

Bližší informace vám ráda poskytne Veronika Doudová | doudova@sovak.cz | +420 727 915 325

Výstavba a rekonstrukce inženýrských sítí

- pokládka potrubí bez omezení dimenze, materiálu a tlakových řad
- bezvýkopové opravy vodovodů, kanalizací, plynovodů
- práce kanalizačními roboty

ZEPRIS

Na našich zkušenostech můžete stavět!

www.zepris.cz

envi pur

VÁŠ DODAVATEL EFEKTIVNÍCH ŘEŠENÍ
PRO ČISTOU VODU

NABÍZÍME:

- moderní a inovační technologie
- nejnovější systémy a postupy pro účinnou úpravu vody a čištění odpadních vod
- poloprovozní testování
- tým profesionálů

Úprava vody

+420 381 203 211
info@envi-pur.cz
www.envi-pur.cz

ČISTÁ VODA, NAŠE SPOLEČNÁ ODPOVĚDNOST

envi pur

VÁŠ DODAVATEL EFEKTIVNÍCH ŘEŠENÍ
PRO ČISTOU VODU

Čištění odpadních vod

NABÍZÍME:

- moderní čistírny odpadních vod pro široké spektrum klientů
- inovační technologie
- poloprovozní testování
- tým profesionálů

+420 381 203 211
info@envi-pur.cz
www.envi-pur.cz

ČISTÁ VODA, NAŠE SPOLEČNÁ ODPOVĚDNOST