

**envi****pur**  
hospodaříme s vodou

**W&ET**  
Team

**CzWA**<sup>®</sup>

16. pokračování konferencí  
**Pitná voda z údolních nádrží**

# **PITNÁ VODA** **2022**

## **SBORNÍK** **PŘEDNÁŠEK**

**23. - 26. 5. 2022**  
Hotel Dvořák 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, 2022

Editor: Ing. Pavel Dobiáš, Ph.D.

**ISBN: 978-80-905059-9-5** (vázáno; online; pdf)

# GENERÁLNÍ PARTNEŘI KONFERENCE



Pražské vodovody  
a kanalizace



PRAŽSKÁ  
VODOHOSPODÁŘSKÁ  
SPOLEČNOST a.s.



**GRUNDFOS**



## MEDIÁLNÍ PARTNEŘI



## HLAVNÍ PARTNEŘI KONFERENCE



## PARTNEŘI KONFERENCE



# OBSAH

---

O konferenci Pitná voda 2022 .....	7
Základní informace .....	8
Ohlédnutí za tříletou historií konferencí „Pitná voda“ .....	9
doc. Ing. Petr DOLEJŠ, CSc.	
Legislativní úprava zajištění pitné vody pro zásobování obyvatelstva .....	19
JUDr. Zdeněk HORÁČEK, Ph.D.	
Atomový zákon ve vodárenství, při úpravě a nakládání s vodou .....	23
Ing. Růžena ŠINÁGLOVÁ, RNDr. Ivana ŽENATÁ	
Dálkové odečty vodoměrů .....	27
Ing. Pavel KILIÁN	
Vodní mikroturbíny pro vodárenství .....	28
Dr. Ing. Petr NOWAK, Ing. Eva BÍLKOVÁ, Ing. Jiří SOUČEK	
Posouzení rizik systému zásobování pitnou vodou trochu jinak .....	36
Ing. Eva ORSZULIKOVÁ	
Instalace zákaloměrů na stěžejních úpravnách vody .....	43
Ing. Lenka CAROVÁ MÁTOVÁ, Ph.D.	
Zpracování rizikových analýz ve skupině Severočeská voda .....	50
Ing. Michaela VRÁTNÁ	
Zkušenosti se zpracováváním provozních řádů vodovodů s rizikovou analýzou .....	56
Ing. Zdeňka JEDLIČKOVÁ, Ing. Luboš MAZEL	
Výsledky národního monitoringu výskytu PFAS v pitné vodě v ČR .....	64
Ing. Filip KOTAL, Ph.D., Ing. Darina DVOŘÁKOVÁ, Ph.D., MUDr. František KOŽIŠEK, CSc., prof. Ing. Jana PULKRABOVÁ, Ph.D., MUDr. Hana JELIGOVÁ, Ing. Lenka MAYEROVÁ, Ph.D.	
Účinnost odstranění EDTA ze surové vody(z řeky Úhlavy) vprocesu úpravy na ÚV Plzeň .....	70
Ing. Martina KLIMTOVÁ	
Výskyt léčiv i v pitných vodách .....	76
Ing. Taťána HALEŠOVÁ, Ing. Marta VÁCLAVÍKOVÁ, Ph.D., Mgr. Daniela TOMEŠOVÁ, Ing. Zuzana BÍLKOVÁ, Ph.D.	
Hledání vhodné strategie přístupu k léčivům v pitné vodě .....	81
MUDr. František KOŽIŠEK, CSc., Mgr. Petr PUMANN, MUDr. Hana JELIGOVÁ, Mgr. Jiří PAUL, MBA	
Sledování separace metabolitů pesticidních látek na GAU na ÚV Chlumec nad Cidlinou .....	87
Ing. Kateřina TESAŘÍKOVÁ, Ing. Pavel KRÁL, Ph.D.	



# OBSAH

---

<b>Odstraňování mikropolutantů využitím pokročilých sorpčních materiálů určených pro filtry pro domácnost.....</b>	<b>95</b>
Ing. Tomáš LEDERER, Ph.D., Ing. Michal KOMÁREK, Ph.D., Bc. Petra ŠUBRTOVÁ, Mgr. Milena JOHNOVÁ	
<b>Prvotné získanie údajov o výskyte vybraných novo zaradených ukazovateľov v revidovanej smernici pre pitnú vodu vo vybraných vodárenských zdrojoch.....</b>	<b>103</b>
Ing. Anna VAJÍČEKOVÁ, Ph.D., Ing. Karol MUNKA, Ph.D., Ing. Stanislava KECSKÉSOVÁ, Ph.D., Ing. Margita SLOVINSKÁ, Ing., Dr. rer. nat. Peter TARÁBEK, Mgr. Alena MATIS	
<b>Jak provozovatelé vodovodů informují o kvalitě pitné vody a řeší stížnosti na ni.....</b>	<b>109</b>
Mgr. Jiří PAUL, MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc., Mgr. Petr PUMANN, MUDr. Hana JELIGOVÁ	
<b>Kauza falešně pozitivních výsledků THM v pitné vodě a její dopad do vodárenské, hygienické a laboratorní praxe .....</b>	<b>117</b>
Ing. Radka HUŠKOVÁ, MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc., Ing. Marek MICHNA	
<b>Příčiny zvýšeného počtu vzorků s nepřijatelnou chutí v letech 2018–2021 .....</b>	<b>123</b>
Mgr. Petr PUMANN, MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc., Ing. Lenka MAYEROVÁ, Ph.D., Ing. Daniel Weyessa GARI, Ph.D.	
<b>Dotazníkové šetření mezi úspěšnými žadateli o podporu z programu Dešťovka .....</b>	<b>129</b>
RNDr. Šárka BOBKOVÁ, Ph.D., Jakub HRBEK, Mgr. Petr PUMANN, Ing. Martina MYŠÁKOVÁ, MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.	
<b>Obohacovanie pitnej vody o Ca a Mg, Devičie .....</b>	<b>134</b>
doc. RNDr. Stanislav RAPANT, DrSc., Mgr. Veronika CVEČKOVÁ, Ph.D.	
<b>Vplyv chemického zloženia podzemnej/pitnej vody na zdravotný stav obyvateľov Slovenskej republiky .....</b>	<b>145</b>
doc. RNDr. Stanislav RAPANT, DrSc., Mgr. Veronika CVEČKOVÁ, Ph.D.	
<b>Zdravotný stav obyvateľov SR v závislosti od rôznej tvrdosti vody .....</b>	<b>157</b>
Mgr. Veronika CVEČKOVÁ, Ph.D., Ing. Mária LETKOVÍČOVÁ, Mgr., MUDr. Viktor KOSMOVSKÝ, MPH, MAH, doc. RNDr. Stanislav RAPANT, DrSc.	
<b>Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? .....</b>	<b>163</b>
MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.	
<b>Poloprevádzkové skúšky stvrzovania vody v UV Tatranská Lesná.....</b>	<b>175</b>
prof. Ing. Ján ILAVSKÝ, Ph.D., prof. Ing. Danka BARLOKOVÁ, Ph.D.	
<b>Somatické kolifágy – indikátor eliminace enterických virů.....</b>	<b>182</b>
RNDr. Dana BAUDIŠOVÁ, Ph.D., MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.	
<b>Biologické metódy: od mikroskopie k PCR .....</b>	<b>188</b>
RNDr. Viera NAGYOVÁ, PhD., Mgr. Lucia CHOMOVÁ, PhD., Ing. Hana NÉMOVÁ	



# OBSAH

---

<b>Zabezpečenie surveillance legionelóz v Slovenskej republike . . . . .</b>	<b>195</b>
Mgr., Ing. Zuzana SIROTNÁ, MPH, MHA, Mgr. Barbora KOTVASOVÁ, RNDr. Anna KALIŇÁKOVÁ, Ph.D., Mgr. Andrea GAŽIOVÁ	
<b>Optimalizace praní filtrů se zrnitou filtrační náplní – poznatky z poloprovozu . . . . .</b>	<b>201</b>
Ing. Pavel DOBIÁŠ, Ph.D.), doc. Ing. Petr DOLEJŠ, CSc.	
<b>Budeme ještě uvažovat o filtroch bez hladinové regulace?</b>	
<b>Ohlédnutí za různými řešeními regulace filtrů. . . . .</b>	<b>211</b>
Ing. Jiří KRATĚNA, Ph.D., Ing. Lukáš PÍSEK, Ing. Jindřich ŠESTÁK	
<b>Složení a účinnost odstranění organických látek na ÚV Studená . . . . .</b>	<b>219</b>
doc. Ing. Petr PORCAL, Ph.D., Ing. Jiří JAROŠÍK, Ing. Jiří STARA	
<b>ÚV Holedeč – poznatky z rekonstrukce a zkušebního provozu . . . . .</b>	<b>225</b>
Ing. František FEDOR, Ing. Soňa PILZOVÁ, Ing. Radka PEČENÁ	
<b>Vliv stupně sorpce na GAU na kvalitu pitné vody na úpravně vody Želivka . . . . .</b>	<b>231</b>
Ing. Josef PARKÁN, Ing. Eva RIEDEROVÁ, Ing. Michal FIALA, Ing. Jiří MRKVA	
<b>Úpravna vody Podolí – současný provoz a poloprovozní zařízení . . . . .</b>	<b>239</b>
Ing. Zuzana NOVÁKOVÁ, Ph.D., Ing. Jana ZUZÁKOVÁ, Ing. Petr SÝKORA, Ph.D., Ing. Petr BUREŠ, Ing. Kateřina KOHOUTOVÁ	
<b>Změny na úpravně vody Hradec Králové – Orlice pohledem provozu a technologa . . . . .</b>	<b>246</b>
Ing. Pavel Král, Ph.D., Ing. Kateřina Tesaříková, Michal Chvojka	
<b>Dostavba úpravny vody Špindlerův Mlýn – předprojektová a projektová příprava . . . . .</b>	<b>254</b>
Milan DRDA, Ing. Petra HRUŠKOVÁ, Ing. Pavel DOBIÁŠ, Ph.D.	
<b>Provoz, optimalizace a využití kapacitní deionizační jednotky. . . . .</b>	<b>259</b>
Bc. Jan VESPALEC, Ing. Martina ŠVÁBOVÁ, Mgr. Martina REPKOVÁ, Ph.D.	
<b>Vývoj a hodnocení kombinovaného filtračního elementu tvořeného nanovlákkennou kompozitní přízí a uhlíkovým jádrem . . . . .</b>	<b>267</b>
Ing. Michal KOMÁREK, Ph.D.	
<b>Využitie tlakových membránových procesov pre recykláciu mestských odpadových vôd . . . . .</b>	<b>276</b>
Ing. Marek MINICH, Mgr. Martina REPKOVÁ Ph.D., Ing. Lucie BÁBORSKÁ	
<b>Úprava podzemnej vody technologií membránové filtrace . . . . .</b>	<b>284</b>
Ing. Petra HRUŠKOVÁ, Mgr. Tomáš BRABENEC, Ing. Kryštof HNOJNA	
<b>Technológie úpravy morskej vody na pitnú – Švédsko . . . . .</b>	<b>292</b>
Ing. Mikuláš KRESCANKO, Dr. Ing. Vít SOVA	



# O KONFERENCI PITNÁ VODA 2022

---

Konference **Pitná voda 2022** s historickým podtitulem Pitná voda z údolních nádrží je tradiční odborná konference, jejíchž předchozích patnáct ročníků pořádala firma **W&ET Team, České Budějovice**.

Letošní, 16. pokračování této konference, která je odbornou veřejností velmi dobře hodnocena, má poprvé jako hlavního pořadatele firmu **ENVI-PUR, s.r.o., Praha**. To je hlavní novinka letošního pokračování, na kterém se však nadále odborně podílí i firma **W&ET Team, České Budějovice**.

**Konference Pitná voda** se bude věnovat celé šíři problematiky pitné vody. Vedle vzájemných vztahů mezi technologiemi úpravy pitné vody a ději probíhajícími v údolních nádržích, tocích a jejich povodí, bude zahrnovat také technologii úpravy podzemní vody, problematiku hygieny pitné vody, legislativu, vliv nových polutantů na kvalitu pitné vody i nové technologické postupy pro úpravu surové vody, jejíž kvalita je čím dál více komplikovaná a požadavky na vodu určenou k lidské spotřebě jsou stále vyšší.

**Kvalita pitné vody** je závislá na mnoha přírodních, technických a organizačních faktorech, které se vzájemně ovlivňují. Proto je žádoucí optimálně koordinovat technologická opatření v úpravnách se zásahy na nádržích, tocích a v jejich povodí. K tomu je nezbytné vzájemné pochopení odborníků různých disciplín, včetně argumentování někdy odlišných přístupů a snaha ke spolupráci pro dosažení společného cíle – kvalitní pitné vody.

**Konference** je určena provozovatelům a vlastníkům úpraven vody, pracovníkům podniků Povodí, pracovníkům z oborů hygieny, chemie a technologie vody, limnologie, zdravotního inženýrství, hydrotechniky, dále pracovníkům projektových a konzultačních organizací a orgánům státní správy a samosprávy měst a obcí i dalším, kterých se problematika pitné vody dotýká.

**Program konference** je vystavěn na ověřeném programovém schématu, ve kterém se účastníci mohou těšit na komplexnější pohled na různorodou problematiku od pozvaných přednášejících, setkání pracovních skupin ke speciálním tématům, diskusi ke každé přednesené přednášce ihned po jejím odeznění, informační výstavku progresivních firem, jejichž nabídka a činnost souvisí s problematikou konference.

**Hlavním cílem** konference **Pitná voda** je setkání odborníků různých profesí v oborech spojených s pitnou vodou a výměna cenných znalostí a zkušeností.



# ZÁKLADNÍ INFORMACE

---

## POŘÁDÁ

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

## PŘÍPRAVNÝ VÝBOR KONFERENCE

<b>Ing. Pavel Dobiáš, Ph.D.</b>	ENVI-PUR, s.r.o., Praha a W&ET Team, České Budějovice
<i>Předseda přípravného výboru</i>	
<b>doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.</b>	W&ET Team, České Budějovice
<b>Ing. Josef Drbohlav</b>	Sweco Hydroprojekt, a.s., Praha
<b>Milan Drda</b>	ENVI-PUR, s.r.o., Praha
<b>RNDr. Jindřich Duras, Ph.D.</b>	Povodí Vltavy, státní podnik, pracoviště Plzeň
<b>Ing. Ivan Eis</b>	Severočeská servisní a.s., Teplice
<b>Ing. Pavel Hucko, CSc.</b>	Slovenský vodohospodářský podnik, š.p., OZ Bratislava
<b>Ing. Radka Hušková</b>	Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Praha
<b>prof. Ing. Václav Janda, CSc.</b>	Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
<b>MUDr. František Kožíšek, CSc.</b>	Státní zdravotní ústav, Praha
<b>RNDr. Marek Liška, Ph.D.</b>	Povodí Vltavy, státní podnik
<b>Ing. Jana Michalová</b>	Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., Teplice
<b>Mgr. Jiří Paul, MBA</b>	Vodovody a kanalizace Beroun a.s.
<b>Mgr. Mark Rieder</b>	Český hydrometeorologický ústav, Praha
<b>doc. Ing. Marek Růžička, DSc.</b>	Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.
<b>dipl. Tech. Viliam Šimko</b>	Viliam Šimko-VODATECH, Bratislava
<b>Petra Volavá</b>	ENVI-PUR, s.r.o., Praha

## ORGANIZAČNÍ A ODBORNÍ GARANTI KONFERENCE

*Organizační garant*  
**Petra Volavá**  
ENVI-PUR, s.r.o., Praha  
telefon: +420 737 240 809  
e-mail: [pitnavoda@envi-pur.cz](mailto:pitnavoda@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](mailto:dobias.pavel@envi-pur.cz)  
**doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.**  
W&ET Team, České Budějovice  
e-mail: [petr.dolejs@wet-team.cz](mailto:petr.dolejs@wet-team.cz)



# **OHLÉDNUTÍ ZA TŘICETILETOU HISTORIÍ KONFERENCÍ „PITNÁ VODA“**

**doc. Ing. Petr DOLEJŠ, CSc.**

W&ET Team, České Budějovice  
E-mail: [petr.dolejs@wet-team.cz](mailto:petr.dolejs@wet-team.cz)

## **ÚVOD**

Konference je vlastně o komunikaci. Pokud něco umíte, naučili jste se, pochopili jste nějaké souvislosti, možnosti řešení problému, je užitečné či bohulibé to sdělit ostatním. Někomu dalšímu je tak možné pomoci v nesnázích, ušetřit mu čas a úsilí, aby na to přišel sám, nebo starosti, pokud by na to nepřišel. A když už jste vynaložili vlastní energii na něco užitečného přijít, je také hezké, pokud to příjemce, který to využije, také ocení. Třeba, že vám někdy později řekne, že mu to pomohlo či se obrátí pro radu, jak něco ještě dál vylepšit či si dobrou radu objedná, protože tuší, že by ji mohl dostat. Na druhou stranu si tu a tam sám pro sebe říkám: „Proboha, proč jste se někoho nezeptali?“ Investují se desítky milionů a pro investory je zatěžko (či je to nenapadne, nebo možná ani nechtejí), aby poslali záměr či projekt na dvě, tři či čtyři adresy a získali k tomu za pár korun nějaký další názor. Ale to je jiný příběh.

Koncept objevování pravdy na základě předchozích objevů byl v historii zpětně vysledován až do 12. století a je přičítán Bernardu z Chartres. Jeho nejznámější vyjádření v angličtině pochází od Issaca Newtona z roku 1675: „Pokud jsem viděl dále, je to tím, že jsem stál na ramenou obrů.“ Připomínám to proto, že v tomto historickém ohlédnutí chci zmínit i získanou inspiraci a vyjádřit poděkování těm, od kterých jsem se učil. Nemusí to být jen génius typu Newtona, kdo uzná či prohlásí něco takového. I my, zcela běžní lidi, bychom si měli uvědomovat, že pokud vidíme kolem sebe o kousek dál, je to i díky tomu, co nás v minulosti někdo naučil. A že to, co víme, co jsme si „osahali“ vlastníma rukama a rozumem můžeme předávat zase dál.

Při studiu oboru technologie vody na VŠCHT v Praze jsme se např. při přednáškách z technické hydrobiologie dozvěděli od prof. RNDr. Vladimíra Sládečka i mnoho dalších zajímavých věcí. Zmínil jednou třeba slavné heslo Michaela Faradaye, kterým se on sám řítil: „Work, finish, publish“. A to je typ myšlenek, které si člověk zapamatuje na celý život a snaží se jimi následně i řídit. Publikování toho, co jsem zjistil, je důležité nejenom proto, že je tak možné dávat průběžně ostatním na vědomí dosažený pokrok, poznatky či data, ale zůstane to tím zachováno pro další, kteří se budou oboru věnovat v budoucnosti.

Sdělování informací na konferencích je významnou složkou snahy publikovat, k čemu jsem se dopracoval, jaké to mělo vstupní podmínky, metodiku experimentů, co fungovalo či co nefungovalo atd. Možnost komunikace s autorem o tématu jím předneseného sdělení je jak odborně, tak společensky unikátní a nedá se srovnávat s tím, pokud si stejně sdělení člověk čte „jen“ v tištěné publikaci tj. v časopise či knize. K interakci mezi autorem a posluchačem jsou právě konference určeny a jsou nenahraditelné. Z toho hlediska je více než smutné, jak většina vysokých škol či ústavy akademie v posledních letech hodnotí vědeckou práci, kdy publikacím na domácích konferencích nedávají téměř žádné bodové hodnocení a tím přímo odrazují, aby se pracovníci těchto institucí účastnili odborných konferencí. Ti, kteří přijedou, jsou téměř hrdinové dnešní doby, protože za to doma pochvalu od nadřízených těžko dostanou. Přitom pokud řeší granty vypsané za české koruny a mají při tom zajištěné

současně institucionální financování (čili středu nad hlavou, přístroje, cestovní výlohy atp.), ale jejich výsledky si můžete koupit jen v impaktovaném časopisu, je to podle mne v podstatě zneužívání rozpočtových prostředků státu na vědu a výzkum. Myslím, že musí přijít doba, kdy bude platit: „My vás za to platíme, tak nám řekněte, co jste za to pro nás udělali“. O to víc jsem si vždy vážil těch, kteří neohrnují nos nad domácí konferencí a přijedou z vysokých škol či akademie s jejich příspěvky.

Ještě jako student jsem začátkem sedmdesátých let zažil semináře z technické hydrobiologie na pracovišti Katedry technologie vody VŠCHT v Trojanově ulici, které tam byly organizované Vladimírem a Alenkou Sládečkovými. Byly tak úspěšné, že od roku 1984 byly pořádány na Novotného lánce již jako konference „Aktuální otázky vodárenské biologie“ ve spolupráci s Ing. Josefem Šťastným z MŽP ČR. Ten měl také velké zásluhy na tom, že v oboru vodního hospodářství byly vydávány metodické informace již od doby existence tehdejšího MLVH (Ministerstva lesního a vodního hospodářství ČSR). Ty slouží na mnoha úpravnách pitné vody dodnes, byť byla většina vydána v sedmdesátých a osmdesátých letech.

Dalšími odbornými akcemi, které je potřeba připomenout z doby minulé, je konference „AQUA Příbram“, kterou vynikajícím způsobem organizoval vodárenský nestor Dipl. tech. Karel Kohn, majitel firmy INFORM - CONSULT - AQUA, s.r.o.

Na Slovensku je potřeba jistě zmínit konferenci Hydrochémia, která má opravdu dlouhou tradici od poloviny sedmdesátých let, a kterou organizuje bratislavský VÚVH. Tato konference přetrvala i do dnešní doby.

Dva obdivuhodní vodárníci na Slovensku (Ing. Janka Buchlovičová a Dipl. tech. Viliam Šimko) organizovali od roku 1999 sesterskou konferenci Pitná voda. Napřed jako pracovníci firmy Hydrotechnológia Bratislava s.r.o., později už jako firma VodaTím s.r.o. Ing. Janky Buchlovičové. Abychom umožnili účast na obou konferencích pracovníkům jak z ČR, tak SR, domluvili jsme se na střídání konferencí Pitná voda – v sudém roce v ČR (v Táboře) a v lichém roce na Slovensku (v Trenč. Teplicích). Bohužel předčasnou smrtí Janky Buchlovičové a koronavirem se tento rytmus střídání trochu narušil, ale věřím, že bude nadále pokračovat i v příštích letech.

## JAK VZNIKLA HLVNÍ MYŠLENKA KONFERENCE

Historické odborné akce, které jsem zmínil v úvodu, byly pro mne nejenom možností tam přednášet a setkávat se s kolegy, které jsem jako začátečník v oboru ještě většinou vůbec neznal, ale také byly velkou budoucí inspirací pro organizování odborného setkání vlastními silami.

Druhým aspektem pro myšlenku také uspořádat vlastní odbornou akci bylo, že do Ústavu krajinné ekologie ČSAV, do kterého jsem nastoupil v roce 1979, byla začleněna jako samostatný úsek bývalá Hydrobiologická laboratoř ČSAV. To bylo největší hydrobiologické pracoviště v republice. Již dlouhé roky pracovalo na limnologickém sledování údolní nádrže Slapy a poté, co bylo rozhodnuto přestěhovat koncem sedmdesátých let čtyři biologické ústavy ČSAV z Prahy do Českých Budějovic, aby byl umožněn jejich rozvoj (což se následně plně osvědčilo), začalo toto hydrobiologické pracoviště také se sledováním a výzkumem na vodárenské nádrži Rímov. Zatímco Slapy neměly z vodárenského hlediska téměř význam, zcela opačná situace byla v případě ÚN Rímov. Ta měla zásobovat z ÚV Plav nejenom velkou část jihočeského kraje, ale voda měla být dodávána např. až na Příbramsko. Hydrobiologická laboratoř ČSAV již dlouhodobě rozvíjela teorii biomanipulace rybí obsádkou, která měla mít za cíl zlepšení kvality vody v nádrži. Tento cíl je zcela nepochybně ve vodárenské nádrži

klíčový, a proto se přímo nabízelo propojit limnologické studium se studiem upravitelnosti surové vody z nádrže. Tomu se v osmdesátých letech na světě skoro nikdo nevěnoval. Pojem jako IWRM – Integrated Water Resources Management se objevil téměř až o dvacet let později [1].

Velikou inspirací pro možnost propojení studia nádrží a úpravy pitné vody byla také existence Wahnbachtalsperrenverband (WTV) a vědecká činnost tehdejšího šéfa výzkumu prof. Dr. Heinze Bernhardta, který tam pracoval mezi roky 1957–1994, od roku 1960 jako technický ředitel. Prof. H. Bernhardta znali a vysoce uznávali ve světě jak hydrobiologové, tak vodárníci [2–4]. WTV zásobuje 800 tis. obyvatel v oblasti Bonnu. Tamní řešení zásobování z vodárenské nádrže je světově zcela unikátní. Většina přítoku do nádrže prochází technologickou linkou předúpravy surové vody z přednádrže, jejímž hlavním cílem je snížení koncentrace fosforu. Tako předupravená voda tvoří pak přítok většiny vody do hlavní nádrže, ze které je upravována pitná voda. Hlavní nádrž se díky zařazení předúpravy v roce 1977 stala ze silně eutrofní téměř oligotrofní. Prof. H. Bernhardt se tak vlastně stal celosvětově pionýrem v chápání povodí nádrže, vlastní nádrže a úpravy vody jako jednoho systému. To mne silně ovlivnilo a inspirovalo. Tady je odkaz na krátké video, které trochu lépe objasní unikátnost tamního řešení (<https://youtu.be/K6kJJvTQ6-s>). K osobě prof. H. Bernhardta se ještě vrátím.

Předchozí odstavce jsou jistě dostatečně ilustrativní, aby osvětlily další chod událostí. Po obhájení mojí vodárenské disertace [5] a přechodu na pracoviště s vysokou koncentrací limnologů, které se nachází vzdušnou čarou 10 km od jedné z nejvýznamnějších vodárenských nádrží v ČR, a na které již začal probíhat intenzivní, zejména limnologický výzkum je ideálním místem pro komplexní rozvoj poznání v soustavě povodí-nádrž-úpravna pitné vody. Když to jde tak úspěšně už někde jinde v zahraničí (WTV), proč by to nešlo také u nás?

S touto představou a záměrem udělat na téma „povodí-nádrž-úpravna pitné vody“ odbornou akci jsem zašel někdy začátkem roku 1983 za spřátelenými kolegy z Jihočeských vodovodů a kanalizací (JiVaK) v Českých Budějovicích. Kolegyně RNDr. Petra Porcalová se nápadu ujala a vyjednala „slyšení“ u pana náměstka ředitele Ing. K. Charváta. Tomu se myšlenka zalíbila a nabídla možnost uspořádat celou akci v krásném prostředí velkého sálu přímo v relativně nové budově JiVaK. Konferenci jsme nazvali „Hydrobiologie a kvalita vody údolních nádrží“. Byla uspořádána ve dnech 6. – 9. února 1984 vědeckotechnickou společností (VTS) podnikového ředitelství JiVaK a pobočkou VTS Jihočeského biologického centra ČSAV, kterou jsme kvůli tomu rychle založili. I když už ta druhá jmenovaná asi třicet let neexistuje, její razítko mám na památku ještě v zásuvce.

Konference byla úspěšná. Proč tedy nezkusit udělat podobnou konferenci jako mezinárodní? Chvíli se mi to zdálo jako poněkud šílená myšlenka, nicméně zalíbila se zejména doc. RNDr. Milanu Straškrabovi, který byl tou dobou již opravdu světoznámý a do přípravy konference se pustil s obrovskou vervou jemu vlastní. Hydrobiologické pracoviště mělo dlouhodobé a velmi dobré kontakty se zahraničními kolegy, tušili jsme, že by jistě na takovou akci přijeli. Konferenci jsme nazvali "Reservoir Limnology and Water Quality" a šli s nápadem napřed na vedení ústavu a po schválení na vedení ČSAV. Milan Straškraba se stal předsedou přípravného výboru a věnoval se hlavně programovým věcem, já si jako místopředseda vzal na starost část organizačních záležitostí. Konference se konala v roce 1987 a byla pro nás začínající výzkumníky vitaným setkáním s mnoha zahraničními kolegy. Konala se v Českých Budějovicích a byla celkově také velmi úspěšná. Jako kulturní a společenský bonbónek, který hlavně zahraniční účastníky velmi zaujal, byl večerní houslový koncert tehdy teprve čtrnáctiletého českobudějovického rodáka Pavla Šporcla.

Nicméně snaha, aby kolegové z limnologické části spektra byť jen „preparativně“ reagovali na možnou návaznost získávaných poznatků směrem ke kvalitě pitné vody, byla téměř bez odezvy. Historicky byli většinově nasměrováni k tomu, co se učilo ve škole a nějaké procesy úpravy pitné vody byly pro většinu akademicky orientovaných zcela z jiné planety. Zjistil jsem to třeba na ČS limnologické konferenci, kde jsem měl příspěvek: „Od limnologie k pitné vodě, aneb patří upravitelnost k parametrům kvality surové vody?“ [6]. Přitom jsme třeba s kolegou Josefem Hejzarem ukazovali, jaké možnosti by mohly být při využití limnologických poznatků z vodárenské nádrže pro zlepšení následné úpravy a kvality pitné vody [7]. Jako vynikající pionýrské počiny chci v této souvislosti zmínit práci a publikace kolegů Ing. Jana Jindry a Ing. Jiřího Stary, kteří se zabývali separovatelností různých typů organismů při úpravě vody [8, 9]. Je velká škoda, že nemohli v tomto směru udělat více práce, a že se jejich výsledky nedostaly do mezinárodních publikací. To je přesně zaměření výzkumu, který by měl být podporovaný bohatými vědeckými granty, nebo ještě raději přímo vodárenskými společnostmi. Ale v dnešním stavu našeho vodního hospodářství se již nic takového nedá zorganizovat. Bohužel.

Bylo tedy jasné, že tudy cesta nepovede. To je tedy historie ještě před tím, než vznikla řada konferencí, kterou následně znáte jako Pitná voda (Tábor) s podtitulem „Pitná voda z údolních nádrží“.

## HISTORICKÝ PŘEHLED KONFERENCÍ „PITNÁ VODA“ (TÁBOR)

Někdy na přelomu roku 1989 a 90 jsem se mj. setkal s předsedou České vědeckotechnické vodohospodářské společnosti, významným hydrotechnikem a vedoucím katedry na ČVUT prof. Ing. Vojtěchem Brožou a zeptal se ho na jeho názor, co si myslí o nápadu pokusit se spojit na jedné odborné akci „velkovodaře“, kteří se věnují údolním nádržím, limnology, vodárníky a hygieniky na konferenci věnované zásobování pitnou vodou z údolních nádrží, která má jistě svá specifika. Panu profesorovi se nápad líbil a byl v prvních rocích konference nejenom velikou oporou, ale také se jí účastnil spolu s některými jeho spolupracovníky. Navrhl dokonce název první konference, která se jmenovala „Nádrže jako zdroj pitné vody“.

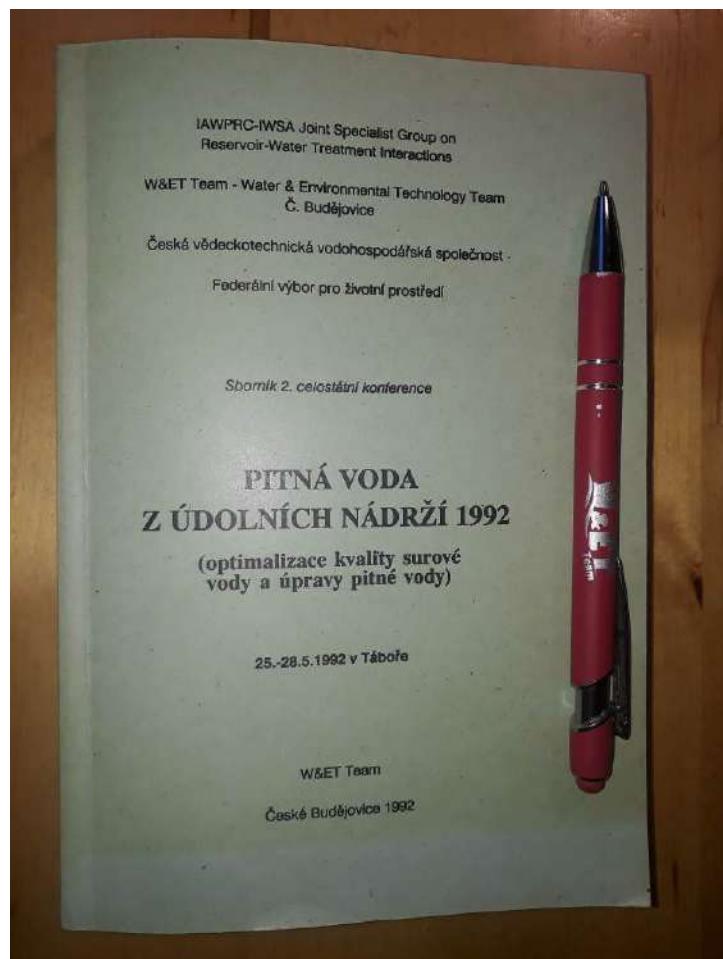
Konference byla od samého začátku určena provozovatelům a vlastníkům úpraven vody, pracovníkům podniků Povodí, pracovníkům z oborů hygieny, chemie a technologie vody, limnologie, zdravotního inženýrství, hydrotechniky, dále pracovníkům projektových a konzultačních organizací a orgánům státní správy a samosprávy měst a obcí i dalším, kterých se problematika pitné vody dotýká. Snahou vždy bylo, aby přinesla mezioborové interakce, kterých se podle mého názoru nedostává dodnes. Dokonce bych neváhal říci, že je jich s postupem času spíše méně než více. Konference si kladla vždy také náročné programové cíle – původnost přednášených sdělení a jejich dobrou odbornou kvalitu. Také jsme v programu vždy důsledně oddělovali odborná sdělení od firemních prezentací. To je zcela jasná praxe na jakékoli kvalitní mezinárodní konferenci (tedy skutečně mezinárodní, ne takové, která si tak klamavě říká, protože má v programu několik účastníků ze Slovenska a jednacím jazykem je pouze čeština a slovenština). Účast firem z oboru je samozřejmě vždy vítaná, účastníci mohou navazovat se zástupci firem užitečné obchodní kontakty, avšak firemní reklamní sdělení mají vždy svoji oddělenou sekci.

**První konference** s názvem „Nádrže jako zdroj pitné vody (optimalizace kvality surové vody a úpravy pitné vody)“ se konala v 14. – 16. 3. 1990 v krásném, tehdy nově vybudovaném Domě techniky ČSVTS v Prachaticích. Zúčastnilo se jí 165 účastníků, sborník obsahoval 34 příspěvků a měl 208 stran. Ta již tehdy ukázala, jak je důležité osobní setkávání. Bylo to v době, kdy nebyl ještě k dispozici ani fax a komunikace na dálku probíhala buď papírovou poštou, nebo telefonem z pevné linky (naštěstí již s mezeměstskou předvolbou). Sešlo se nás tehdy večer pár přátel a dali jsme hlavy dohromady, jestli by nebylo dobré založit nějaký spolek vodárenských odborníků. Několik měsíců po konferenci

v Prachaticích vznikl SOVAK. Chvíli jsem se domníval, že by to byla možnost, jak se sdružit po odborné stránce. Avšak ukázalo se, že tato organizace má zájem jen o sdružování jednotlivých firem VaK a nemá zájem o individuální členy, natož výzkumníky. Takže nezbylo než si založit něco vlastními silami.

Zašel jsem za kamarádem právníkem a dali jsme dohromady stanovy nového spolku ve smyslu §2 zákona č. 83/1990 Sb., o sdružování občanů, v platném znění, jako sdružení fyzických osob v odvětví vodního hospodářství. Přípravný výbor jsme utvořili ve složení Petr Dolejš, Václav Janda a Jaroslav Rudovský a byli jsme registrováni pod názvem Československá asociace vodárenských expertů (ČSAVE) registrací u Ministerstva vnitra ČSSR dne 30. 9. 1991. Před tím jsme již osloвили pár představitelů rezortů. Jako jediný se o naši práci zajímal a podpořil nás tehdejší předseda Federálního výboru pro životní prostředí (FVŽP) a vynikající člověk, Ing. Josef Vavroušek. Pozval nás, abychom ustavující valnou hromadu uspořádali u něj na FVŽP a také ji dne 2. 10. 1991 osobně zahájil. Sešlo se nás tehdy 31 zakládajících členů ČSAVE. Jsme rádi, že jsme tímto krokem inspirovali i kolegy z oblasti čistírenství, kteří registrovali jejich AČE o 14 měsíců později dne 1. 12. 1992. Před několika lety jsme se sešli všichni v CzWA a vytvořili tak opravdu silnou odbornou organizaci.

**Druhá konference** se konala již v Táboře v květnu 1992. Celkový počet účastníků na této konferenci dosáhl počtu 264. Sborník obsahoval 68 příspěvků a měl 514 stran. Na obr. 1 je titulní strana sborníku. K tomu, co je na ní, uvedu z historie další souvislosti.



Obr. 1. Obálka sborníku druhé konference Pitná voda z roku 1992

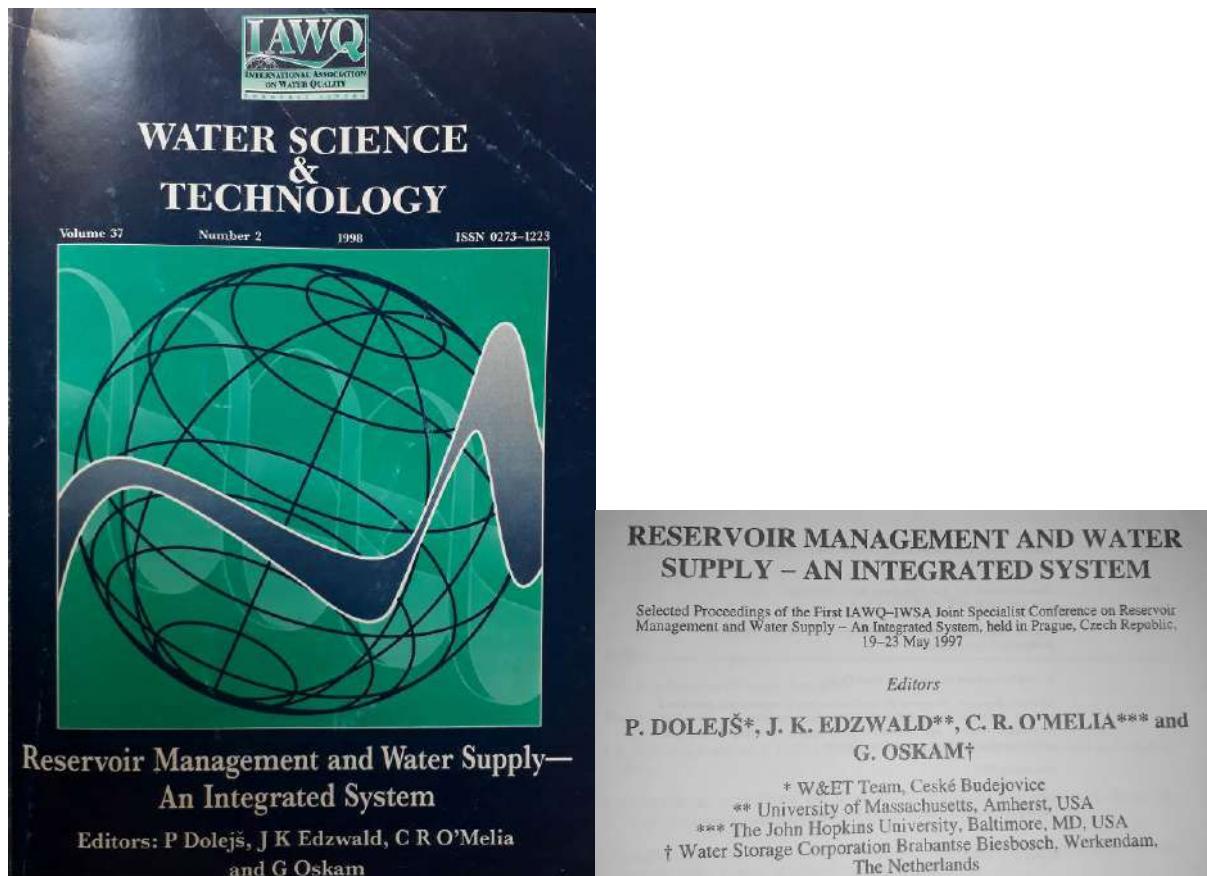
Vrátím se napřed ještě o dva roky zpět. V roce 1990 jsem měl to štěstí, že mi byl přijat příspěvek na konferenci IAWPRC-IWSA Joint Specialised Conference "Coagulation, Flocculation, Filtration, Sedimentation and Flotation", která se konala 24. – 26. dubna 1990 ve švédském Jönköpingu [10], čili zhruba měsíc po konferenci v Prachaticích. Pro mne, mladého a málo zkušeného vodárníka s minimem účasti na velkých zahraničních konferencích, to byla akce snů. Sešel se na ní výkvět vodárenského výzkumu z celého světa, osobnosti, jejichž publikace jsem zatím jen četl a případně citoval v mých publikacích. Editory sborníku rozšířených konferenčních abstraktů byli – prof. Heinz Bernhardt a prof. Ken Ives. Oba dva se již tehdy i u nás dostali do učebnic. A ani nevím, jakou náhodou se stalo, že jsem se s nimi oběma najednou sešel u jednoho stolu při společném obědě.

Tady musím udělat ale ještě jednu důležitou odbočku. Dnešní IWA (International Water Association) vznikla spojením dvou dřívějších organizací. První byla IAWPRC (International Association on Water Pollution Research and Control), která byla spíše čistírensky zaměřená a také více orientovaná na výzkum. Druhá byla IWSA (International Water Supply Association), která byla zaměřená na zásobování pitnou vodou a neměla mezi členy tak dobré vědecké zázemí, protože byla spíše manažersky orientovaná. Tady je potřeba zmínit, že v IAWPRC měl velmi významné postavení tehdejší vedoucí katedry technologie vody a prostředí na VŠCHT v Praze, prof. Ing. Petr Grau, na které jsem studoval i obhajoval disertaci. V rámci IAWPRC (později přejmenované na IAWQ) působil jako člen výkonného výboru asociace (1984–88), byl vice-prezidentem v letech 1988–1990 a prezidentem v letech 1990–94. Koncem osmdesátých let čím dále více probleskovaly zprávy, že obě asociace, které měly obě sídlo v Londýně, uvažují po postupném sbližování. Výrazem toho bylo založení právě té první „joint specialist group“, která pořádala konferenci v Jönköpingu. Já osobně jsem považoval ono sbližování obou asociací také za velmi rozumné a tak mě napadlo, jestli integrační snaha o pochopení širších souvislostí v zásobování pitnou vodou by nemohla být další oblastí, která by mohla využít pro dobro věci odborníků a organizačního zázemí z obou asociací. Nemohu si dnes vzpomenout, jestli mě myšlenka na založení nové „joint specialist group“ napadla až při konferenci ve Švédsku, či dokonce až při společném obědě s Heinzem Bernhardtem nebo jestli jsem tam jel už s předběžným souhlasem prezidenta IAWPRC, prof. P. Graua. Prof. Bernhardtovi se v Jönköpingu myšlenka hned zalíbila. Navrhul, že by pro tuto novou skupinu dělal spolupředsedu za IWSA, a když jsem se ho ptal, koho by navrhoval či vybral jako druhého spolupředsedu za IAWPRC, tak se na mne podíval a řekl, no přeci to budeš dělat ty.

S prof. Petrem Grauem velmi dobře spolupracoval také výkonný ředitel sekretariátu IAWPRC Tony Milburn, který byl organizačně úžasně schopný a komunikativní a byla radost s ním něco dávat dohromady. A tak jsme se po pár měsících sešli asi v osmi lidech ze světa na zakládajícím setkání této druhé IAWPRC-IWSA joint specialist group nazvané pracovně Reservoir-Water Treatment Interactions na katedře technologie vody a prostředí VŠCHT v Praze. Vrátím se k tomu ještě v popisu čtvrté konference.

**Třetí konference** se konala až v roce 1995, protože jsem byl na přelomu let 1992–3 téměř rok jako visiting scientist ve Francii a nestačili bychom ji dříve připravit. Místo konání bylo to opět v Táboře. Celkový počet účastníků byl 265, sborník obsahoval 64 příspěvků a měl 442 stran. Od této třetí konference až do dnešních dnů se na podpoře konference významně podílely zejména dvě firmy – Severočeská vodárenská společnost, a.s. (SVS) a Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. (SČVK), které mj. dlouhodobě považuji za nejvíce proinovační firmy v našem vodárenství. Budu jmenovat alespoň jednoho zástupce těchto firem, kterému patří největší dík za to, že se konference rozvíjela a stala se největší konferencí o pitné vodě u nás a na Slovensku. Je jím Ing. František Páclalt.

**Čtvrtá mezinárodní konference IAWQ-IWSA** (*Reservoir Management and Water Supply – an Integrated System*), která se konala v r. 1997 v Praze za účasti 231 účastníků ze 32 zemí pěti kontinentů. Celkem na ní zaznělo 100 příspěvků, vydaných ve dvoudílném sborníku (619 str.). Vybrané příspěvky byly v r. 1998 publikovány v prestižním časopisu *IAWQ Water Science and Technology*, vydávaném nakladatelstvím Pergamon/Elsevier Science, v monotematickém čísle o 379 stranách (obr. 2). Toto byla zřejmě první velká mezinárodní vodárenská konference, která se u nás konala v druhé polovině minulého století.



**Obr. 2. Obálka a titulní strana časopisu Water Science & Technology, ve kterém vyšly vybrané příspěvky z mezinárodní konference IAWQ-IWSA Reservoir Management and Water Supply - an Integrated System, která se konala v r. 1997 v Praze**

**Pátou konferenci** v roce 1999 jsme částečně nově pojmenovali *Pitná voda*, neboť jsme tím chtěli dát prostor i vztahům mezi povodím, vodním tokem a úpravnou, které „postrádají“ údolní nádrž. Proto konference nyní zahrnuje i úpravu podzemních vod. Sborník obsahoval 65 příspěvků a měl 405 stran. Na konferenci vystoupili také dva zahraniční účastníci, Dr. Ján Barica, DrSc. (National Water Research Institute, Burlington, Kanada) a Stanislav O. Potapenko (Microbiological Systems Ltd., Kyjev, Ukrajina).

**Šestá konference** se konala v roce 2001, sborník měl 408 stran a obsahoval 71 příspěvků. Na konferenci vystoupil se dvěma příspěvků také James Manwaring (Executive Director, American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, USA). První měl název General benefits of, and the need for, an industry sponsored research program (Obecné přínosy a potřeba výzkumného programu podporovaného vodárenskými firmami) a druhý The AWWA Research Foundation's current research priorities (Současné výzkumné priority Výzkumné nadace americké vodárenské asociace – AWWARF).

A jak se nám podařilo pozvat tak významného člověka na naši konferenci? Vysvětlím to. Od roku 1992 jsem byl zvaný jako jeden ze dvou vodárníků ze zemí střední a východní Evropy (byl znán ještě prof. Géza Ollos z Maďarska), na semináře „Emerging Technologies“, které pořádala pro pozvané odborníky ze světa právě Výzkumná nadace americké vodárenské asociace – AWWARF. Vždy se tak sešlo kolem třiceti lidí z celého světa a musím říct, že to byla velmi přínosná setkání. Snažil jsem se poznatky využít a informovat u nás v několika publikacích a přednáškách o cílech, prioritách, organizování a financování vodárenského výzkumu v rozvinutém zahraničí [11, 12], ale prakticky o to nebyl u nás nikde zájem. Pozval jsem tedy Jamese Manwaringa, aby osobně pohovořil o tom, jak funguje AWWARF, kterou on osobně v USA zakládal. Od svého vzniku v roce 1986 do roku 2000 AWWARF financovala 600 výzkumných projektů, jejichž celková hodnota přesahovala 190 mil. USD. Stejným trendem pokračuje v práci dodnes. Před několika roky se přejmenovala na Water Research Foundation – WRF. Nic se ale u nás od té doby dodnes nezměnilo a osobně považuji kvalitu našeho vodárenského výzkumu dlouhodobě za ubohou, neodpovídající dosažené úrovni oboru, jakou měl před několika desítkami let. Kolega, vrstevník a jeden z našich špičkových vodárenských technologů Ing. Jan Jindra to charakterizoval slovy: „Co naši dědečkové uměli a co my jsme zapomněli“.

**Sedmá konference** se konala v r. 2004, sborník měl 429 stránek a celkem 67 příspěvků. Na této konferenci jsme poprvé zařadili do programu také 5 přednášek pozvaných přednázejících, které se zabývaly klíčovými problémy oboru. V průběhu konference jsme pak poprvé zorganizovali i setkání třech ad-hoc odborných diskusních skupin k aktuálním tématům. Od tohoto roku se stala významným spoluorganizátorem konference také firma ENVI-PUR, s.r.o. Další ročníky tak velké akce bychom si bez jejího podílu nedovedli představit a tak je celkem pochopitelné, že se stala nástupcem a hlavním organizátorem dalších konferencí počínaje rokem 2022. V sedmém ročníku měla konference také dva zahraniční přednázející. Andrew Eades (The F. B. Leopold Company Inc., UK) přednesl přednášku Converting nozzle floors to GAC contactors (Přestavba filtrů s mezidny na filtry s aktivním uhlím) a Thomas Masaryk Getting, P.E., DEE (The F. B. Leopold Company Inc., USA) přednesl přednášku Rehabilitation of filters (Rekonstrukce vodárenských filtrů). Oba přednázející byli sice zaměstnáni u dodavatelské inženýrské firmy se slavnou tradicí (Andy Eades tam přešel po mnoha letech, kdy pracoval ve výzkumném středisku Thames Water, kde byl např. hlavním autorem vynálezu COCO-DAFF procesu), ale oba jsou výzkumníci s obdivuhodným seznamem odborných publikací a dlouhým přehledem citací jejich prací ve vědeckých publikacích.

**Osmá konference** se uskutečnila v r. 2006 již tradičně v Táboře, ale na nové lokalitě – ve zcela novém hotelu Dvořák. Od té doby se konference konají na tomto místě. Sborník měl 444 stran a obsahoval 73 příspěvků, včetně pěti příspěvků pozvaných přednázejících. Byla také přednesena jedna přednáška zahraničního autora – Zkušenosti s flotací (DAF) z různých zemí světa, kterou měl Andrew Eades (The F. B. Leopold Co., UK). Bylo to poté, kdy byla na ÚV Mostiště velmi úspěšně realizována první flotace rozpuštěným vzduchem pro úpravu pitné vody ve střední a východní Evropě [13, 14]. Já sám jsem se s DAF poprvé seznámil v provozním měřítku v roce 1987 na úpravně vody v Turku v rámci pozvání na přednáškové turné do Finska. V roce 1993 jsem měl možnost experimentálně pracovat několik týdnů na poloprovozním modelu DAF v Anglii. Tam jsem si výzkumně ověřil, jaký ohromný potenciál pro úpravu pitné vody tento proces představuje. Od té doby se datovala moje snaha, aby se tento proces uplatnil v praxi i u nás. Cesta k první realizaci DAF na našem území však trvala ještě více než deset let. Stalo se to zejména díky tomu, že provozovatel úpravny vody Mostiště (VAS, a.s. Brno, divize Žďár nad Sázavou) se projevil jako další proinovační firma, která se nebojí být tím prvním, kdo k takovému kroku sáhne a firma ENVI-PUR s.r.o. byla schopná tuto zcela pionýrskou dodávku realizovat.

**Devátá konference** se konala v roce 2008. Sborník měl 454 stran a obsahoval 71 příspěvků, včetně 5 příspěvků pozvaných přednášejících. Ze zahraničí přijeli přednést příspěvek Požadavky na kvalitu povrchových vod v souvislosti s ochranou – příspěvek IAWR k provádění rámcové vodní směrnice EU Klaus Lindner, Franz-Josef Wirtz (IAWR, Německo).

**Desátá konference** byla v roce 2010, sborník měl 361 stran a obsahoval 62 příspěvků (z toho 3 pozvané přednášky). Na této konferenci jsme měli poprvé přednášejícího z Japonska. Koji Hattori P.E.jp (METAWATER Co., Ltd., Japan) prezentoval přednášku Operation of ceramic membrane filtration systems for drinking water treatment in Japan (Použití keramických mikrofiltračních membrán pro úpravu pitné vody v Japonsku).

**Jedenáctá konference** v roce 2012 měla 360stránkový sborník s 57 příspěvky (z toho dvěma pozvanými). **Dvanáctá** byla v r. 2014, sborník měl 357 stran a obsahoval s celkem 72 příspěvků, z toho byly 3 pozvané přednášky. **Třináctá** konference byla v r. 2016, sborník měl 344 stran a 52 příspěvků (5 pozvaných). **Čtrnáctá** konference se konala v roce 2018 a byla zatím poslední, která se konala v tradičním formátu. Sborník obsahoval 50 příspěvků a měl celkem 302 stran.

**Patnáctou konferenci** plánovanou na květen 2020 jsme museli kvůli koronaviru napřed dvakrát odložit, než jsme ji v klasickém formátu odvolali a vydali jsme následně jen elektronický sborník komentovaných prezentací.

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem autorům příspěvků, kteří v průběhu minulých třiceti let přispívali do programu všech předcházejících konferencí. Bez nich by konference samozřejmě nebyla. Také děkuji všem, kteří na konferenci přijeli jako účastníci a tím nám umožnili konference organizovat. Poděkování patří také všem spoluorganizátorům a sponzorům, kteří přispěli jak organizační prací, tak do rozpočtu konference, abychom mohli třeba pozvat seniory či studenty na konferenci bez vložného. V neposlední řadě děkuji za nás všechny Ing. Nataše Kalouskové, CSc. za pečlivé editování všech sborníků konference i za velký podíl na organizační práci, která byla vždy s konferencí spojená.

## SEZNAM LITERATURY

1. Butterworth J., Soussan J.: Water Supply and Sanitation & Integrated Water Resources Management: why seek better integration? WHIRL project workshop on 'Water Supply & Sanitation and Watershed Development: positive and negative interactions', Andhra Pradesh, India, 5-14 May 2001.
2. Bernhardt H., Clasen J.: Separation of microorganisms from water and wastewater. Presentations at the IAWQ-IWSA Workshop on Removal of Microorganisms from Water and Wastewater. Amsterdam 1995.
3. Bernhardt H., Hoyer, O., Lüsse B.: Untersuchungen zur Beeinflusung der Flockung und Flockenabtrennung durch angenährige organische Substanzen. Z. Wasser-Abwasser-Forsch, Vol. 18, p. 18-30 (1985).
4. Bernhardt, H., Hoyer, O., Lüsse, B. and Schell, H. (1991). Investigations on the influence of algal-derived organic substances on flocculation and filtration. In: Treatment of Drinking Water for Organic Contaminants, P. H. Huck and P. Toft (Eds.), Pergamon Press, pp. 185-215.
5. Dolejš P.: Interakce teploty a technologických parametrů při úpravě huminových vod. Kandidátská disertační práce, FTPV VŠCHT Praha, Katedra technologie vody a prostředí (1980).

6. Dolejš P.: Od limnologie k pitné vodě, aneb patří upravitelnost k parametrům kvality surové vody? Sborník VIII konference ČS limnologické společnosti, 250-253. ČSLS, Chlum u Třeboně 1988.
7. Dolejš P., Hejzlar J.: Prostorové rozložení rozpustěných organických látek v údolní nádrži Římov a jejich separatelnost koagulací. Sborník konference "Aktuální otázky vodárenské biologie", 41-52. ČSVTS MLVH ČR, Praha 1987.
8. Stara J., Jindra J.: Výsledky provozního sledování separace bioestonu. Sborník konference Pitná voda z údolních nádrží, Tábor 1992, s. 393-400, W&ET Team, České Budějovice 1992.
9. Jindra J., Stara J.: Odstraňování bioestonu při úpravě povrchové vody. Sborník semináře Aktuální otázky Vodárenské biologie, ČVT VHS MŽP ČR, Praha 1993.
10. Dolejš P.: Influence of concentration of humic substances and acid neutralizing capacity on the coagulation performance and stoichiometry. Extended abstracts IAWPRC-IWSA Joint Specialised Conference "Coagulation, Flocculation, Filtration, Sedimentation and Flotation" 4 p. 24-26 April 1990, Jönköping 1990.
11. Dolejš P.: Seminář AWWARF „Nové technologie ve vodárenství IX“ . SOVAK, 9, č.10, s. 26-28. (2000).
12. Dolejš P.: Vodárenský výzkum a inovace v Austrálii. SOVAK, 13, č. 7-8, 211-213 (2004).
13. Dolejš P., Dobiáš P., Mazel L.: Provozní výsledky první vodárenské flotace v ČR realizované na UV Mostiště. Sborník konference Vodárenská biologie 2006, s. 92-97. Praha 31.1.-2.2.2006. VŠCHT Praha a Ekomonitor, s.r.o. Chrudim, Praha 2006. (ISBN 80-86832-17-1)
14. Dolejš P.: Flotace rozpustěným vzduchem (DAF) pro úpravu pitné vody a její první provozní realizace v ČR. Vodní hospodářství 56, č. 4, s. 99-101 (2006).

# **LEGISLATIVNÍ ÚPRAVA ZAJIŠTĚNÍ PITNÉ VODY PRO ZÁSOBOVÁNÍ OBYVATELSTVA**

**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](mailto:zdenek@zdenekhoracek.cz)

## **ÚVOD**

V poslední době se se stále častějšími suchými obdobími na straně jedné a masivním developmentem v území na straně druhé začínají sledovat a rozvíjet legislativní předpoklady pro zajištění pitné vody pro zásobování obyvatelstva, zejména diskuse nad stanovením jednoznačného veřejného zájmu v této oblasti.

Český právní řád však stále (ještě) vychází z předpokladu, že výsledný převažující veřejný zájem pro konkrétní situaci je výsledkem střetu a harmonizace všech dotčených veřejných zájmů. Teprve jejich vyhodnocení v konkrétních okolnostech daného případu rozhoduje o výsledném převažujícím veřejném zájmu.

## **ZÁKLADNÍ PRÁVNÍ VÝCHODISKA**

Rezoluce OSN 64/292 ze dne 28.7.2010 uznává právo na vodu vhodnou k pití a hygieně jako základní lidské práva a vyzývá státy a mezinárodní organizace k poskytnutí prostředků k zajištění tohoto práva. Silnější dokument k podpoře zajištění pitné vody pro zásobování obyvatelstva prozatím na mezinárodní úrovni nevznikl.

Na české ústavní úrovni odpovídající předpis k zajištění pitné vody pro zásobování obyvatelstva chybí, pouze čl. 7 Ústavy České republiky stanovuje, že *stát dbá o šetrné využívání přírodních zdrojů a ochranu přírodního bohatství*.

Návrh ústavního zákona o ochraně vody a vodních zdrojů byl dne 16.9.2020 předložen skupinou poslanců k projednání Poslanecké sněmovně Parlamentu ČR, avšak neprošel ani prvním čtením a projednávání sněmovního tisku bylo ukončeno s koncem předešlého volebního období 2017-2021. Tento návrh obsahoval čl. 3 Pitná voda, podle něhož *každý má právo v místě svého bydliště na přístup k pitné vodě pro zajištění základních životních potřeb z vodovodu pro veřejnou potřebu, anebo na pitnou vodu z veřejně dostupných zdrojů, za sociálně a ekonomicky přijatelných podmínek*.

Důvodová zpráva k návrhu uvedeného čl. 3 ústavního zákona o ochraně vody a vodních zdrojů potom uváděla, že *ve výsledku by měl zákon o obcích stanovit povinnost obcí zajistit přístup svých obyvatel k pitné vodě, a to buď prostřednictvím vodovodů pro veřejnou potřebu, pokud bude toto řešení ekonomicky akceptovatelné, nebo obecně přístupem k veřejně přístupnému zdroji pitné vody, kterým se rozumí například i obecní studna (vrt) nebo rezervoár se zajištěnou nezávadnou pitnou vodou*. To zřejmě odráželo skutečnost, že podle současné právní úpravy nemají obce ani vodárenské společnosti povinnost budovat nové zdroje vody a související vodárenskou infrastrukturu; to zajišťují ti, v jejichž zájmu k územnímu rozvoji a potřeb dochází. Podle § 26 odst. 1 písm. a) zákona č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizačích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon

o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů, totiž pouze *obce v samostatné působnosti dbají o rozvoj vodovodů a kanalizací, odpovídající potřebám obce, zajištěním jeho zapracování do závazné části územně plánovací dokumentace obce v souladu s plánem rozvoje vodovodů a kanalizací*.

V současném českém právním prostředí upravuje právní vztahy k vodám v přírodním prostředí zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, právní vztahy vnikající při zásobování obyvatelstva pitnou vodou veřejnými vodovody zákon o vodovodech a kanalizacích a právní požadavky na kvalitu vody pro lidskou spotřebu zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů.

Pro úplnost lze uvést, že zákon o ochraně veřejného zdraví definuje v ustanovení § 3 odst. 1 pitnou vodu jako veškerou vodu *v původním stavu nebo po úpravě, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství, voda, která je určena k péči o tělo, k čištění předmětů, které svým určením přicházejí do styku s potravinami nebo lidským tělem, a k dalším účelům lidské spotřeby, a to bez ohledu na její původ, skupenství a způsob jejího dodávání*.

## **LEGISLATIVNÍ PŘEDPOKLADY**

Podle § 1 odst. 1 vodního zákona jeho účelem je též *přispívat k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou*. Podle § 1 odst. 2 zákona o vodovodech a kanalizacích *vodovody a kanalizace pro veřejnou potřebu se zřizují a provozují ve veřejném zájmu*.

Vodní zákon počítá s podzemní vodou jako přednostním vodním zdrojem pro výrobu pitné vody (§ 29 odst. 1). Zároveň stanoví, že *k jiným účelům může vodoprávní úřad povolit použití podzemní vody, jen není-li to na úkor uspokojování uvedených potřeb*. Vodní zákon dále preferuje výrobu pitné vody v vody podzemní ekonomicky, a to stanovením poplatku za odebrané množství podzemní vody pro zásobování pitnou vodou ve výši 2 Kč/m<sup>3</sup> oproti ostatnímu užití, kde poplatek činí 3 Kč/m<sup>3</sup>. Odběry povrchových vod takto rozlišeny nejsou.

Pro zdroje povrchových vod, které jsou využívány nebo u kterých se předpokládá jejich využití jako zdroje pitné vody, ukazatele a hodnoty jejich přípustného znečištění stanovila vláda nařízením č. 401/2015 Sb. (viz § 31 vodního zákona).

Zajištění pitné vody pro zásobování obyvatelstva nelze samozřejmě realizovat bez výstavby vodních zdrojů, upraven vody a související vodárenské infrastruktury. Proto i zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, uvádí mezi účely vyvlastnění v ustanovení § 170 odst. 1 písm. a) ve vazbě na vydanou územně plánovací dokumentaci *veřejně prospěšnou stavbu dopravní a technické infrastruktury, včetně plochy nezbytné k zajištění její výstavby a rádného užívání pro stanovený účel*. Ve stavebním zákoně se potom podle § 2 odst. 1 písm. m) bodu 2 rozumí *veřejnou infrastrukturou pozemky, stavby, zařízení, a to technická infrastruktura, kterou jsou vedení a stavby a s nimi provozně související zařízení technického vybavení, například vodovody, vodojemy apod.*

## KONCEPČNÍ PŘEDPOKLADY

Na zajištění pitné vody pro zásobování obyvatelstva se podílí rovněž plánovací dokumenty vodního hospodářství.

Účelem plánování v oblasti vod jako soustavné koncepční činnosti, kterou zajišťuje stát, je mimo jiné vymezit a vzájemně harmonizovat veřejné zájmy udržitelného užívání vodních zdrojů, zejména pro účely zásobování pitnou vodou [viz § 23 odst. 1 písm. c) vodního zákona].

Rovněž plán rozvoje vodovodů a kanalizací obsahuje podle § 4 odst. 1 zákona o vodovodech a kanalizacích *koncepci řešení zásobování pitnou vodou, včetně vymezení zdrojů povrchových a podzemních vod, uvažovaných pro účely úpravy na pitnou vodu, a koncepci odkanalizování a čištění odpadních vod na území daného kraje.*

Plány pro sucho potom stanovují jednotlivá opatření při vyhlášeném stavu nedostatku vody, která musí odpovídat významu způsobu užití vody (§ 87b odst. 4 vodního zákona). Zásobování obyvatelstva pitnou vodou je potom druhé za zajištěním funkčnosti kritické infrastruktury podle předpisů upravujících krizové řízení a dalších provozů poskytujících nezbytné služby.

## OCHRANA PITNÉ VODY

Se zajištěním pitné vody pro zásobování obyvatelstva se neoddiskutovatelně pojí její ochrana.

K ochraně vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti zdrojů podzemních nebo povrchových vod využívaných nebo využitelných pro zásobování pitnou vodou s průměrným odběrem více než 10 000 m<sup>3</sup> za rok a zdrojů podzemní vody pro výrobu balené kojenecké vody nebo pramenité vody stanoví vodoprávní úřad v souladu s § 30 odst. 1 vodního zákona ochranná pásmá opatřením obecné povahy. Vyžadují-li to závažné okolnosti, může vodoprávní úřad stanovit ochranná pásmá i pro vodní zdroje s nižší kapacitou. Stanovení ochranných pásem je vždy veřejným zájmem.

Ve vztahu k možnému znečištění zdrojů pitné vody živinami a dusičnanami stanovuje vodní zákon tzv. citlivé a zranitelné oblasti. Podle § 15 odst. 1 nařízení vlády č. 401/2015 Sb. *všechny útvary povrchových vod na území České republiky se vymezují jako citlivé oblasti.*

## MIMOŘÁDNÉ SITUACE

Zákony počítají s přímými řešeními mimořádného nedostatku vody a souvisejícími opatřeními. Podle § 109 odst. 1 vodního zákona mimo jiné *vyžaduje-li to veřejný zájem, zejména je-li přechodný nedostatek vody nebo je-li ohroženo zásobování obyvatelstva vodou může vodoprávní úřad rozhodnutím nebo opatřením obecné povahy bez náhrady upravit na dobu nezbytně nutnou povolená nakládání s vodami, popřípadě tato nakládání omezit nebo i zakázat.*

Obdobně podle § 15 odst. 4 zákona o vodovodech a kanalizacích *vyžaduje-li to veřejný zájem, především je-li přechodný nedostatek pitné vody, který nelze z důvodu technických kapacit nebo nedostatečných zdrojů vody nahradit, může vodoprávní úřad po projednání s obcí, vlastníkem a provozovatelem vodovodu vydat opatření obecné povahy o dočasném omezení užívání pitné vody z vodovodu pro veřejnou potřebu na dobu nejdéle 3 měsíců.*

## **PŘÍSTUP K VODĚ**

Zákon nezakotvuje přímý přístup k vodě za účelem jejího využívání jako pitné. Pouze zákon č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů, předpokládá smluvní služebnost práva na vodu v ustanovení § 1272 odst. 1, podle něhož lze sjednat, že *kdo má právo na vodu na cizím pozemku, má k ní také přístup*.

## **ZÁVĚR**

Legislativní úprava zajištění pitné vody pro zásobování obyvatelstva se zdá poměrně jednoznačná a dostatečná. Nicméně je na praxi, jak úpravu uchopí a aplikuje, zejména v oblasti nalézání konkrétního převažujícího veřejného zájmu pro konkrétní situaci. Ne vždy je totiž zajištění pitné vody pro zásobování obyvatelstva dáván v konkrétních situacích dostatečný důraz a veřejný zájem.

To je samozřejmě způsobeno mimo jiné tím, že přetrvává ve společnosti stále představa, že vody je dost a ochranu si zaslouží zájmy jiné.

Poslední trendy, včetně diskuze na návrhem ústavního zákona o ochraně vody a vodních zdrojů, však ukazují, že lze v této oblasti očekávat změny a posílení legislativní úpravy zajištění pitné vody pro zásobování obyvatelstva.

# **ATOMOVÝ ZÁKON VE VODÁRENSTVÍ, PŘI ÚPRAVĚ A NAKLÁDÁNÍ S VODOU**

**Ing. Růžena ŠINÁGLOVÁ, RNDr. Ivana ŽENATÁ**

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Senovážné nám. 9, 110 00 Praha 1

E-mail: [ruzena.sinaglova@sujb.cz](mailto:ruzena.sinaglova@sujb.cz), [ivana.zenata@sujb.cz](mailto:ivana.zenata@sujb.cz)

## **ÚVOD**

Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon [1], a vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (vyhláška) [2], stanovují požadavky na kvalitu pitné vody určené pro veřejnou potřebu pocházející z podzemního zdroje, a také požadavky pro pracoviště, kde je s touto vodou nakládáno nebo kde je tato voda upravována. Požadavky na pracoviště podléhající požadavkům atomového zákona v oblasti přírodních zdrojů nesouvisí pouze s nakládáním nebo úpravou podzemních vod, oblasti vodárenství se mohou týkat i jiná atomovým zákonem sledovaná pracoviště. Atomový zákon rozlišuje dva druhy pracovišť podle tzv. expoziční situace, tj. podle v úvahu připadajících okolností, za jakých mohou být fyzické osoby nebo životní prostředí vystaveny účinkům ionizujícího záření. Expoziční situace mohou být buď plánované, které jsou spojené se záměrným využitím zdroje ionizujícího záření, nebo expoziční situace existující již v době, kdy se o případné regulaci ozáření rozhoduje. V oblasti přírodních zdrojů záření řadíme mezi plánované expoziční situace „*pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření*“, mezi existující expoziční situace náleží „*pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu*“. Úpravný vody mohou být obojím typem těchto pracovišť v závislosti na tom, jakým způsobem je s vodou z podzemních zdrojů nakládáno.

### **1. Požadavky atomového zákona pro pitnou vodu**

Atomový zákon a vyhláška stanovují povinnosti dodavatelům pitné vody pro veřejnou potřebu a výrobcům a dovozcům balené vody dodávané na trh v ČR, s výjimkou minerální vody, individuálního zásobování a vody pocházející výhradně z povrchových zdrojů. K témtoto povinnostem patří zajistit systematické měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě, vést evidenci výsledků měření a dalších údajů a tyto oznamovat Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) a další povinnosti stanovené v § 100 odst. 2 atomového zákona. Podle a 100 odst. 1 atomového zákona nesmí být pitná voda dodávána pro veřejnou potřebu, pokud je překročena nejvyšší přípustná hodnota objemové aktivity radonu 300 Bq/l, nebo překročeny referenční úrovně 100 Bq/l pro objemovou aktivitu radonu nebo 0,1 mSv/rok indikativní dávky bez provedení opatření, které sniže míru ozáření na úroveň tak nízkou, jak lze rozumně dosáhnout při zohlednění všech hospodářských a společenských hledisek.

Vodu z některých podzemních zdrojů lze pro veřejnou potřebu dodávat zcela bez úpravy, případně jen s hygienickým zabezpečením, převážnou většinu zdrojů pitné vody však lze využívat až po úpravě vlastností surové vody, aby tato voda mohla být následně do sítě dodávána jako voda pitná. Pokud surová voda z podzemního zdroje obsahuje přírodní radionuklid, mohou během její úpravy voda vznikat odpadní produkty, které je jsou jimi kontaminovány, protože k úpravě podzemní vody jsou používány i technologie, které jsou účinné i pro odstranění přírodních radionuklidů. Proto je třeba při úpravě vod z podzemních zdrojů věnovat pozornost také odpadním látkám, jako jsou filtrační náplně, vodárenské kaly a odpadní vody, ve kterých je třeba ověřit, zda obsah přírodních radionuklidů v nich splňuje

požadavky atomového zákona a vyhlášky pro případ jejich uvolnění z úpravny vody. Netýká se to jen těch technologií, kde jsou radionuklidy z vody odstraňovány záměrně (například uran), ale i technologií, které jsou primárně určeny k zachycení jiných láttek (železo, mangan, arsen, těžké kovy aj). Při úpravě vody z podzemních zdrojů je třeba věnovat pozornost, z hlediska možného ozáření z přírodních zdrojů, také pracovním podmínkám obsluhy úpraven vody.

## **2. Požadavky atomového zákona pro pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření – plánované expoziční situace**

Pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření jsou stanovena v § 93 odst. 1 atomového zákona. V oblasti vodárenství se mohou plánované expoziční situace vyskytovat

na pracovišti s materiélem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu (§ 93 odst. 1, písm. b) atomového zákona) a voda z podzemního zdroje je materiélem se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů. Tato pracoviště jsou označována také jako pracoviště NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials), jejich přesný výčet uvádí § 87 vyhlášky. Úpravny vody, kde dochází k úpravě vlastnosti podzemní vody, jsou pracovištěm uvedeným v § 87 písm. o) vyhlášky – provoz zařízení na úpravu vlastnosti podzemní vody nebo nakládání s vodárenskými kaly z úpravy vody z podzemního zdroje. Na těchto pracovištích je třeba ověřovat pracovní podmínky osob vykonávajících zde práce, a také vhodným způsobem nakládat s materiály, které jsou z těchto pracovišť uvolňovány. K tomuto typu pracovišť patří všechny úpravny vody, kde jsou umístěny technologie, kterými dochází k úpravě vlastnosti podzemní vody, s výjimkou těch úpraven vody, kde je instalována pouze technologie určená jen k odstranění radonu. V některých případech mohou být úpravny vody také pracovištěm uvedeným v § 87 písm. p) vyhlášky, pokud zde dochází k nakládání s materiélem, u kterého bylo prokázáno, že obsah přírodního radionuklidu v něm přesahuje uvolňovací úroveň. Provozovatelé takovýchto 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 provozovatelů patří:

- zajistit měření za účelem stanovení osobních dávek pracovníka a evidenci výsledků měření a osobních dávek pracovníka,
- oznamovat Úřadu informace o pracovišti, výsledcích měření a osobních dávkách pracovníka,
- zajistit optimalizaci radiační ochrany pracovníka, pokud je překročena stanovená úroveň,
- zajistit ochranu těhotné ženy podle § 64 odst. 3 atomového zákona a
- 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.

Pro tyto úpravny vody platí dále také podmínky stanovené v § 95 atomového zákona pro uvolňování radioaktivní látky. 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 Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost (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 případě, kdy nejsou překročeny uvolňovací úrovně stanovené v § 105 vyhlášky anebo 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 ostatních případech je možné uvolňovat radioaktivní látku jen na základě povolení SÚJB. Významné je zejména vypouštění odpadních vod do vod povrchových, odpadní voda vypouštěná do povrchových vod musí splňovat stanovené uvolňovací úrovně, aby nedocházelo k jejich kontaminaci při uvolňování radioaktivních látek z technologii úpravy vody zachycující radionuklidy. Často se tak děje u technologií, ve kterých dochází ke kumulaci radionuklidů v odpadní vodě zejména z proplachů (např. odstranění Fe, Mn, těžkých kovů aj.).

### **3. Požadavky atomového zákona pro pracoviště s možným zvýšeným ozářením z RADONU – EXISTUJÍCÍ expoziční situace**

Existující expoziční situace lze očekávat na pracovištích s možným zvýšeným ozářením z radonu. O která pracoviště se konkrétně jedná, je stanoveno v § 93 odst. 1 atomového zákona. Jsou to všechna pracoviště **umístěná v podzemí** na celém území ČR, dále **pracoviště, na kterých je čerpáním, shromažďováním nebo jiným obdobným způsobem nakládáno s vodou z podzemního zdroje** (zejména čerpací stanice, lázeňská zařízení, stáčírny, úpravný vody nebo vodojemy, apod.) a také **pracoviště umístěná v podzemním nebo prvním nadzemním podlaží budov, které splňují podmínky uvedené v příloze č. 25 vyhlášky** (pracoviště v budovách umístěných v katastru obcí se zvýšeným radonovým rizikem, k jejíž výstavbě bylo vydáno povolení před 28. 2. 1991). Základní povinnosti provozovatelů "radonových" pracovišť jsou stejné jako u pracovišť s plánovanými expozicemi, není zde však stanovena povinnost související s uvolňováním radioaktivních látek. U těchto pracovišť je možné upustit od měření za účelem stanovení osobních dávek pracovníků v těch případech, kdy celková pracovní doba pracovníka nepřesáhne 100 hodin za rok. Ve všech případech těchto pracovišť platí povinnost provozovatelů oznámit stanovené evidované údaje o pracovišti do evidence SUJB.

Ve vodárenství se nejčastěji setkáváme s existujícími expozičními situacemi na vodojemech, čerpacích stanicích a na takových úpravnách vody z podzemního zdroje, kde je s vodou nakládáno, aniž by docházelo k technologické úpravě jejich vlastností. Na rozdíl od plánovaných expozic nejsou tyto úpravné vody vybaveny technologiemi k úpravě vlastností vody. Patří sem také úpravné vody vybavené výhradně jen technologií odradonování, které řadíme k pracovištěm s možným zvýšeným ozářením z radonu. S ohledem na to, že většina úpraven vody pracuje v automatickém režimu s minimální obsluhou, jsou takové úpravné ve většině případů pouze evidovány a není na nich povinné provádět měření radonu pro určení osobních dávek pracovníků.

V oblasti vodárenství se mohou plánované expoziční situace vyskytovat také na pracovištích v podzemí, například při provádění běžné údržby a čištění kanalizačního potrubí, údržbě armatureních šachet nebo při odstraňování havárií na veřejné části stokové sítě. Podzemními pracovišti mohou být také prostory v podzemí vodních elektráren, strojovny atp., dále štoly pro obsluhu sypaných hrází vedené uvnitř hráze a také podzemní prohlídkové trasy

pro veřejnost s průvodcovskou službou. I zde platí možnost zproštění z měření v souvislosti s délkou celkové pracovní doby pracovníků, po kterou během roku provádějí konkrétní pracovní činnosti v podzemí.

Posledním typem „radonových“ pracovišť jsou pracoviště umístěná v budovách, může se např. jednat o technické, provozní i administrativní budovy. Zde již obvykle pracují zaměstnanci delší pracovní dobu než 100 hodin/rok a je tedy větší pravděpodobnost nutnosti zajistit měření radonu pro posouzení osobních dávek. Budovy s pracovišti, kterých se tato regulace ozáření týká, jsou budovy, které splňují podmínky uvedené v bodě A/1. a A/2. přílohy č. 25 vyhlášky, patří sem nejen pracoviště v budovách umístěných v katastrálním území obcí se zvýšeným radonovým rizikem, ale také ta pracoviště, kde, kde bylo měřením zjištěno překročení hodnoty  $300 \text{ Bq/m}^3$  objemové aktivity radonu bez ohledu na to, kde se takové pracoviště nachází.

## ZÁVĚR

Cílem příspěvku je informovat o tom, že v oblasti vodárenství se mohou vyskytovat pracoviště, na jejichž provozovatele jsou atomovým zákonem kladený požadavky k zajištění radiační ochrany pracovníků a životního prostředí. Jde o pracoviště v souvislosti s nakládáním a úpravou vody z podzemních zdrojů, o pracoviště v podzemí a o pracoviště umístěná v budovách splňující podmínky uvedené v příloze č. 25 vyhlášky, na kterých je třeba řešit pracovní podmínky zaměstnanců a případnou regulaci ozáření z přírodních zdrojů. Informace o povinnostech provozovatelů pracovišť jsou dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/prirodni-zdroje-ionizujiciho-zareni/informace-pro-provozovatele-pracovist>.

## SEZNAM LITERATURY

1. Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon
2. Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
3. Státní úřad pro jadernou bezpečnost (2017): Doporučení: Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů v pitné vodě pro veřejnou potřebu a v balené vodě, čj. SÚJB/OS/19078/2017, DR-RO-5.1(rev.0.0)
4. Státní úřad pro jadernou bezpečnost (2017): Doporučení: Stanovování osobních dávek pracovníků na pracovištích s materiélem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu, čj. SÚJB/OS/3914/2018, DR-RO-5.2(rev.0.0)
5. Státní úřad pro jadernou bezpečnost (2017): Doporučení: Stanovování osobních dávek pracovníků na pracovištích s možným zvýšeným ozářením z radonu, čj. SÚJB/OS/3924/2018, DR-RO-5.2(rev.0.0)
6. Státní úřad pro jadernou bezpečnost (2017): Doporučení: Postupy k identifikaci pracovišť pro implementaci čl. 54 odst. 2 písm. a) směrnice Rady EU 213/59/EUROATOM, SÚJB, červen 2017
7. Státní úřad pro jadernou bezpečnost (2017): 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)
8. <https://www.radonovyprogram.cz/pracoviste/>
9. <https://www.radonovyprogram.cz/pracoviste//registrace-pracoviste>

# DÁLKOVÉ ODEČTY VODOMĚRŮ

Ing. Pavel KILIÁN

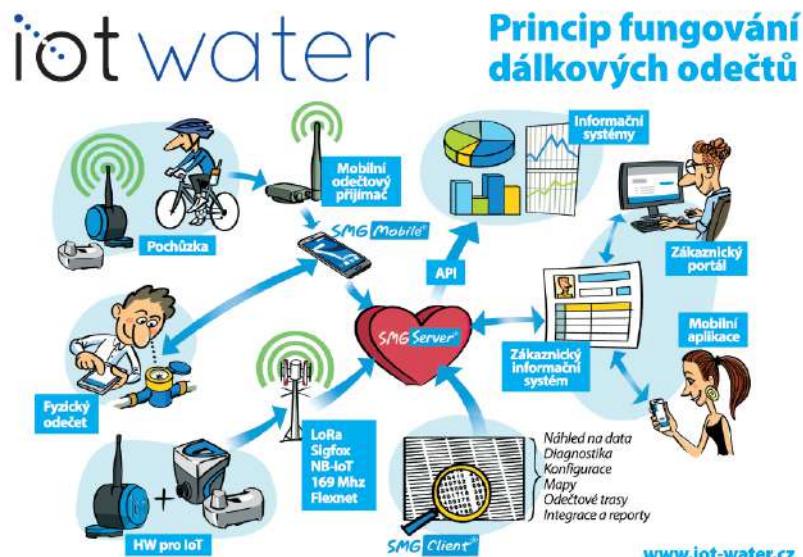
IoT.water a.s., Sokolovská 100/94, 186 00 Praha 8 – Karlín  
E-mail: [pavel.kilian@iot-water.cz](mailto:pavel.kilian@iot-water.cz)

V dnešní době již není mnoho vodárenských společností, které by ještě neslyšely o technologiích dálkových odečtů. Investice do těchto systémů se ze strany vodáren zvyšují a hlavními důvody jsou zejména možnost větší kontroly nad provozovanou sítí a zjednodušení procesu fakturace na základě odečtených dat. Stejně tak odpadá nutnost navštěvovat odběrná místa kvůli odečtu vodoměru, což je žádoucí například u nebezpečných šachet či velkoodběratelů, případně pak v situacích, kdy je možnost navštěvovat odběrná místa limitována např. koronavirovými opatřeními. S tím také souvisí potřeba stávající procesy na vodárně digitalizovat.

Mezi další výhody dálkových odečtů se bezpochyby řadí informační hlášení o aktuálních stavech na vodoměru, ze kterých lze odvodit případné poruchy, jako např. prasklé potrubí, trvalý únik či zpětný tok. Mohou se takto identifikovat havárie na vodovodu, nebo také odhalit černé odběry ze sítě.

Vodárna pak tyto informace může poskytovat svému zákazníkovi např. přes zákaznický portál nebo mobilní aplikaci, o které je v poslední době rostoucí zájem. Přes zmiňovaný portál či mobilní aplikaci mohou koncoví odběratelé například sledovat svoji spotřebu (i historicky) a dostávat informační hlášení v případě překročení nastavených limitů prostřednictvím e-mailu nebo SMS. Zákazník tak tedy obdrží notifikace například v případě protékající toalety nebo prasklého potrubí.

Smart metering je v České republice zatím stále v začátcích. Velké vodárenské společnosti již většinou do této technologie několik málo let investují, nicméně většina těch menších se s dálkovými odečty teprve seznamuje. Společnost IoT.water je tu pro ty, kteří budou chtít světem dálkových odečtů provést.



Obr. 1. Princip fungování dálkových odečtů

# VODNÍ MIKROTURBÍNY PRO VODÁRENSTVÍ

**Dr. Ing. Petr NOWAK, Ing. Eva BÍLKOVÁ, Ing. Jiří SOUČEK<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, Katedra Hydrotechniky,  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice  
E-mail: [nowak@fsv.cvut.cz](mailto:nowak@fsv.cvut.cz)

## ÚVOD

Ekonomicky významnou oblastí jsou a budou energetické úspory při úpravě a dopravě vody včetně energetického využití zbytkových spádů v systémech dopravy surové i pitné vody.

Článek dokumentuje dosavadní provozní zkušenosti s provozem Peltonových vodních turbín na systémech pitné vody včetně ekonomického rozboru, tj. investiční náročnosti, výroby elektrické energie a nároků na údržbu a provoz.

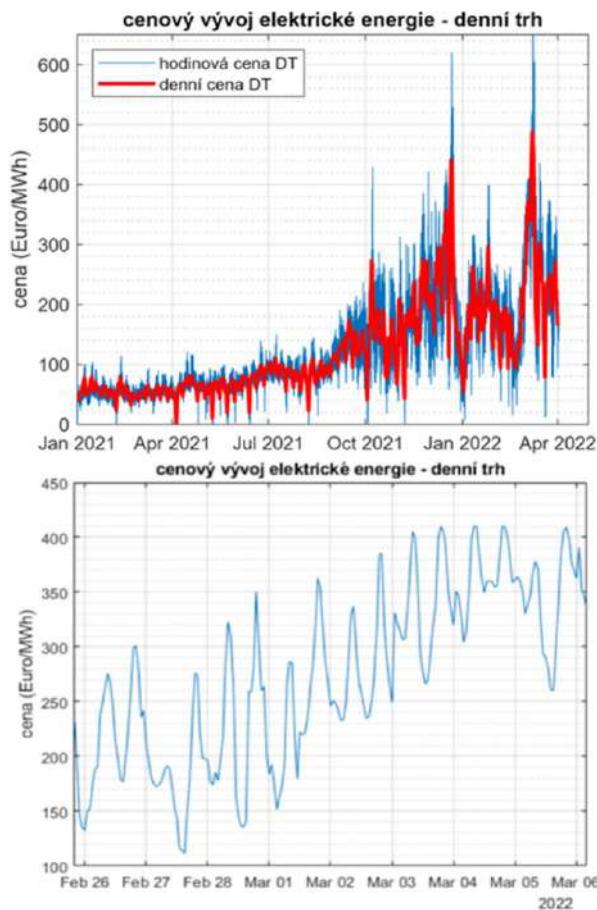
Na dobré provozní zkušenosti s Peltonovými vysokospádovými turbínami navázal výzkumný projekt nového konceptu nízkospádové reakční axiální spirálové turbíny s regulovatelným radiálním rozváděčem a proměnnými provozními otáčkami generátoru. Tento inovativní koncept soustrojí je vhodný i pro nízkospádové instalace ve vodárenských systémech. Projekt byl realizován ve spolupráci s firmou Elzaco v rámci výzkumného grantového úkolu. Koncept soustrojí je představen z hlediska strojně technologického (celé soustrojí je vyrobeno z nerezového materiálu) včetně rámcového popisu elektrické části (instalovaný generátor a frekvenční měnič se střídačem a výstupním EMC filtrem).

Průtokové a momentové charakteristiky dokládají velmi široký regulační rozsah průtoku s vysokou účinností turbíny i při výrazném kolísání čistého spádu. Optimalizace tvaru hydraulického obvodu reakčních turbín představuje novou cestu při návrhu turbín s nízkými instalovanými výkony.

## ENERGETICKÁ NÁROČNOST

Události posledních dní ukázaly na nezbytnost zvýšení energetické soběstačnosti celé Evropy. Ceny surovin výrazně stoupaly společně s cenami prakticky všech forem energií. Velmi výrazně stoupaly ceny elektrické energie – od počátku roku 2021 na čtyř až pětinásobek (obr. 1). V blízké budoucnosti se výrazný pokles cen energií neočekává.

S ohledem na zvýšený podíl fotovoltaických elektráren a další vlivy se rovněž velmi zvýšilo rozkolísání hodinových cen na krátkodobém trhu s elektřinou (viz obr. 1 – zdroj: OTE, a.s.). Protože jsou běžné velmi výrazné výkyvy hodinové ceny elektrické energie nejen pro spotřebu ale i pro výrobu, lze doporučit firmám s velkou spotřebou elektrické energie (např. vodárenské společnosti pro čerpání, úpravu pitné vody, popř. čištění odpadní vody) zpracovat si energetický audit a zvážit možnosti úspor. Úspory mohou být nalezeny např. při správném časování a optimalizaci provozu čerpadel nebo vodních turbín s ohledem na využití zásobních objemů.



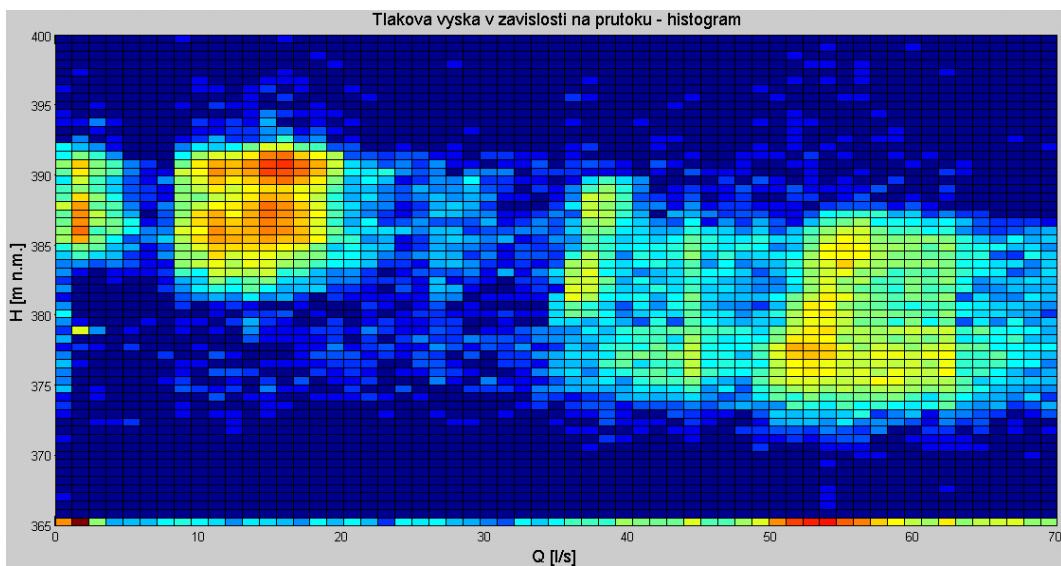
**Obr. 1. Vývoj cen elektrické energie v rámci denního trhu včetně zobrazení denních výkyvů**

## VYTIPOVÁNÍ PROFILŮ SE ZBYTKOVÝM HYDROENERGETICKÝM POTENCIÁLEM

Identifikace vhodných lokalit pro využití zbytkového spádu na systémech dopravy surové i upravené pitné vody by měla začít analýzou podélných profilů páteřních přivaděčů s vykreslením geodetických a tlakových čar. Místa přerušení tlakové čáry, např. přerušovací komory, vodojemy, reduktory tlaku jsou zpravidla vhodnými profily pro energetické využití. Zpracováním dlouhodobých záznamů monitorovaných dat do formy histogramů (zejména průtoku a tlaku, popř. tlakového rozdílu) získáme základní orientaci o hydroenergetickém potenciálu dané lokality a dosavadním způsobu provozu (obr. 2).

Výstupem těchto analýz je definování rozsahu zpracovávaného spádu a průtoku s ujasněním návrhových hodnot budoucího soustrojí. Doporučujeme i zvážit případnou změnu provozu tak, aby splňovala požadavky pro zásobování pitnou vodou a zároveň umožnila zvýšenou výrobu elektrické energie malé vodní elektrárny (MVE).

V případě, že výkon budoucího soustrojí MVE umožňuje aspoň z části pokrýt spotřebu v daném objektu nebo blízkém areálu, doporučujeme provést energetickou analýzu potřeb a výroby s cílem minimalizovat celkové energetické náklady daného objektu. Finanční přínos optimalizovaného provozu MVE může mít zásadní vliv na zisk provozované MVE zejména v případě, že vyrobená, popř. nakupovaná elektrická energie je obchodována v režimu hodinových cen.



Obr. 2. Histogram provozní H-Q oblasti (příklad)

## TECHNOLOGIE MALÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN VE VODÁRENSKÝCH SYSTÉMECH

Na technologii MVE ve vodárenských zařízeních jsou kladený vyšší nároky, zejména na výběr vhodných materiálů samotné turbíny s ohledem na styk s pitnou vodou. Voda je však zpravidla zbavena mechanických nečistot a není zde riziko abraze pracovních ploch turbíny nebo zanášení. Pro hydroenergetické využití zbytkových spádů ve vodárenství je možné využít prakticky všechny typy vodních turbín, ale v dalším uvedeme základní výhody vybrané technologie na uvedených instalacích.

### Peltonova turbína

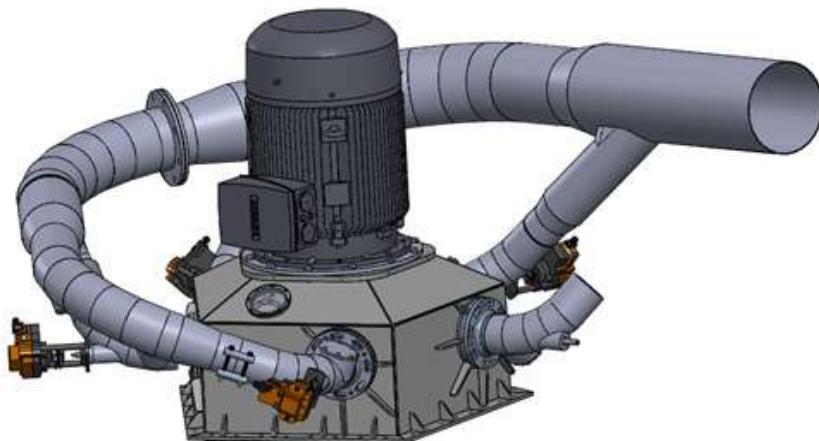
Peltonova turbína je velmi vhodná pro vyšší spády a nízké průtoky. Jako akční turbína zajišťuje přechod z tlakového režimu proudění na proudění beztlakové. Soustrojí je nutné instalovat nad maximální úroveň dolní provozní hladiny (zpravidla přerušovací nebo zásobní komory). Velkou výhodou Peltonovy turbíny je možnost minimalizace rizika hydraulického rázu při výpadku napájení, popř. využití bezenergetického provozu při dovybavení deflektory nebo ponecháním soustrojí v průběžných otáčkách. Rozstřik vody s kvalitním odvětráním turbínové skříně může zároveň zajišťovat významné uvolnění radonu z vody.

Již byly publikovány provozní zkušenosti se dvěma soustrojími:

- **Peltonova turbína v obci Nový Malín** – jednotrysková horizontální Peltonova turbína s letmo upevněným oběžným kolem na hřídeli asynchronního generátoru s instalovaným výkonem 30 kW při spádu 295 m. Soustrojí je v bezproblémovém provozu od roku 2015 při návratnosti investice 4–5 let. Turbínová skříň včetně oběžného kola je vyrobena z nerezové oceli.
- **Peltonova turbína na vodojemu Beroun** – jednotrysková horizontální Peltonova turbína s letmo upevněným oběžným kolem na hřídeli asynchronního generátoru s instalovaným výkonem 22 kW při návrhovém spádu 58 m. Soustrojí je od začátku roku 2016 v bezporuchovém provozu při návratnosti investice okolo 5 let. Při výrobě lopatek oběžného kola byl využit hygienicky atestovaný vysokopevnostní kompozit. Při místním šetření v roce 2021 po pěti letech nepřetržitého provozu nebyly na lopatkách patrný žádné známky opotřebení. Dodavatelem technologie pro obě lokality je firma Elzaco.

Pro vyšší průtoky je vhodná Peltonova turbína s větším počtem trysek ve vertikálním uspořádání soustrojí (obr. 3). Tento podtyp je nyní ve výrobě. Vzhledem k použitým nerezovým materiálům celé turbínové skříně a disku oběžného kola je soustrojí vhodné i pro styk s pitnou vodou (obr. 4).

Na základě dobrých dlouhodobých provozních zkušeností s kompozitovými lopatkami oběžného kola byl rovněž použit kompozit. Byl vybrán nejlepší dostupný kompozit s termoplastem na bázi polyamidu s pevností v tahu vyšší než 300 MPa, vyšším modulem pružnosti (cca 30 GPa), vyšší rázovou houževnatostí a vyšší odolností vůči obrusu povrchu.



Obr. 3. Axonometrický pohled na vertikální pětitryskové soustrojí s Peltonovou turbínou



Obr. 4. Nerezová skříň vertikální Peltonovy turbíny po obrobení

### Axiální turbína

Pro vyšší průtoky a nižší spády je vhodná rychloběžná turbína axiálního nebo diagonálního typu. Jedná se však o reakční turbínu s uzavřeným tlakovým obvodem v celé turbínové skříně (na rozdíl od turbíny Peltonovy).

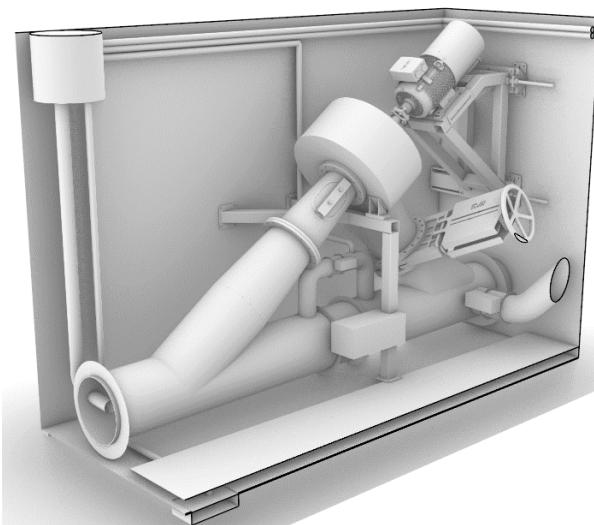
Ve spolupráci s univerzitou UJEP a firmou Elzaco byla navržena modifikace axiální turbíny s pevnými lopatkami oběžného kola, radiálním regulačním rozváděčem a proměnnými

provozními otáčkami. Úkolem projektu byla optimalizace tvaru hydraulického obvodu turbíny, zejména tvaru lopatek oběžného kola, pro dané cílové parametry (regulační rozsah průtoku při vysoké účinnosti se zohledněním kavitačních vlastností).

Výstupem projektu je inovativní vrtulová turbína, která je pro svou jednoduchou mechanickou konstrukci vhodná jako mikroturbína v systémech s pitnou vodou. Kompaktní provedení soustrojí umožňuje instalaci i ve velmi stísněných prostorech, např. armaturení komoře

(obr. 5 a obr. 6). Tento koncept eliminoval stavební úpravy a snížil celkovou investici.

Rovněž odpadá velmi složitá mechanika regulace lopatek oběžného kola jako to je v případě Kaplanovy turbíny. Pro malé průměry oběžného kola prakticky nelze mechanismus natáčení lopatek navrhnout. Využití CNC obrábění umožňuje kusovou zakázkovou výrobu při nízkých výrobních nákladech (obr. 7).



**Obr. 5. Příklad umístění soustrojí ve velmi stísněných prostorach armaturení komory**



**Obr. 6. Instalace nerezové spirály turbíny**

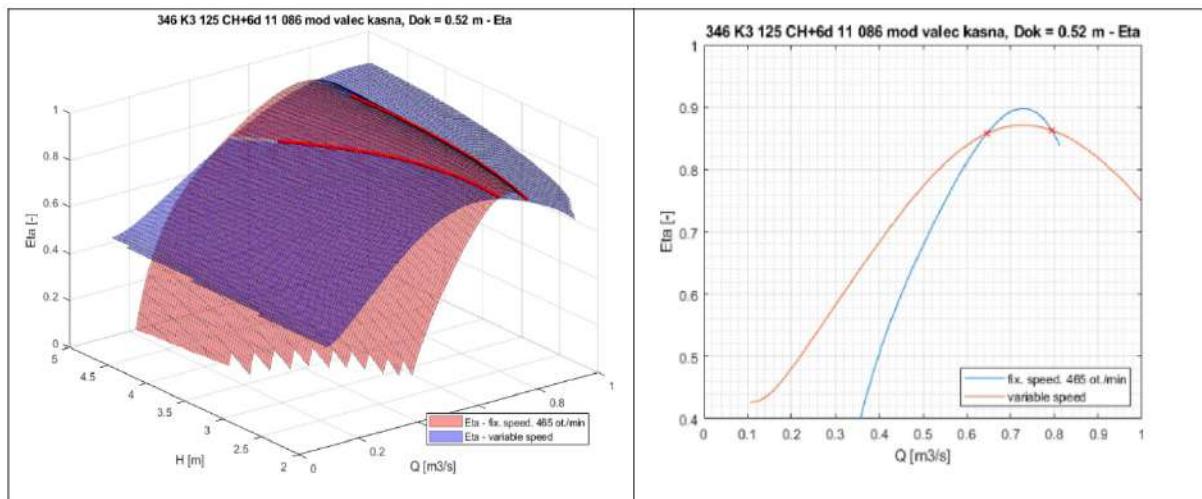


**Obr. 7. Oběžné kolo před finálním CNC opracováním**

Inovativní koncept vrtulové turbíny má díky dvojitě regulaci (regulace RK a proměnné provozní otáčky) velmi výhodné hydraulické vlastnosti a zároveň je turbína konstrukčně jednoduchá. Válcová komora oběžného kola je levná, zjednoduší demontáž a snižuje volumetrické ztráty s ohledem na možnost dosažení užší spáry mezi lopatkou a komorou.

Při změně spádu lze pro požadovaný průtok nastavit optimální provozní otáčky a tím pokrýt široký rozsah spádů prakticky bez poklesu účinnosti turbíny. Dvojitá vazba regulace (RK + provozní otáčky) zajišťuje optimální natékání lopatek oběžného kola a tím je možné dosáhnout vysoké kavitační odolnosti v širokém rozsahu spádů i průtoků (obr. 8).

Některé instalace mají velmi dlouhé tlakové trubní přivaděče s vysokým rizikem hydraulického rázu. Změna průtoku vyvolaná změnou otáček je malá, a proto jsou tyto vrtulové turbíny nepředstavují velké riziko vyvolání nepřípustného tlakového rázu.



**Obr. 8. Porovnání účinnostních charakteristik turbíny pro pevné a proměnné provozní otáčky**

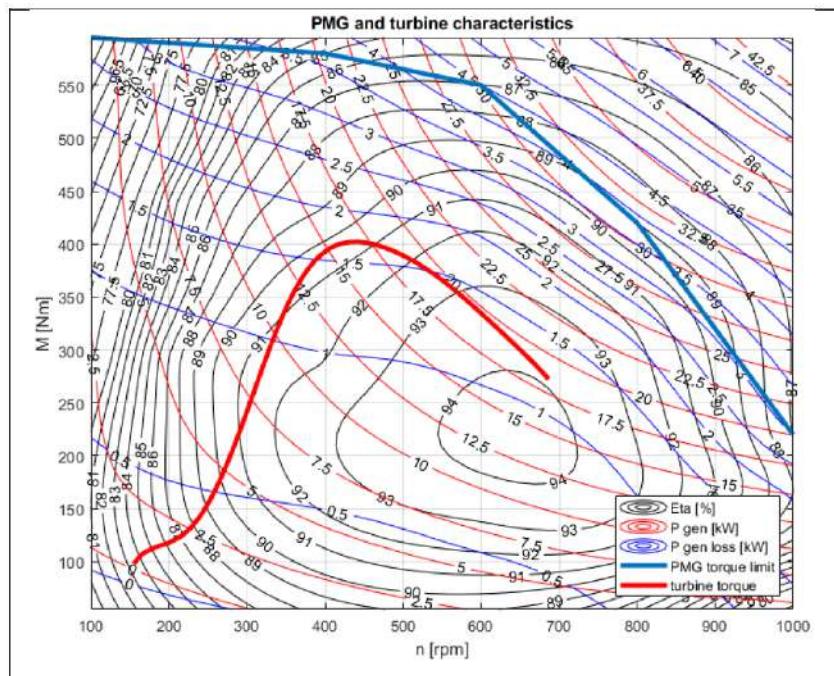
### Elektrická část

Při dvojitě regulaci vrtulových turbín je nutné zajistit provoz generátoru s proměnnými provozními otáčkami. Pro soustrojí s velmi nízkými provozními otáčkami (odhadem 100–600 ot/min) je vhodné využít vlastností synchronních generátorů s permanentními magnety (PMG – „Permanent Magnet Generator“). PMG mají velmi vysoké krouticí momenty při nízkých otáčkách, malé rozměry a zároveň dosahují vysokých účinností (obr. 9). Jejich nevýhodou je vysoká cena a riziko indukovaného napětí při průběžných otáčkách. Pro otáčky vyšší než cca 600 ot/min je možné využít běžné asynchronní generátory.

V obou případech je pro regulaci otáček nutné připojit generátor k síti pomocí čtyřkvadrantního frekvenčního měniče. Výstup měniče musí umožňovat dodávku výkonu do sítě včetně regulace účiníku. Za výstupem měniče je zapojen EMC filtr pro omezení rušení vyššími harmonickými. Filtr má bohužel vliv na výstupní účiník. Návrh a provedení elektrické části (obr. 10) musí odpovídat legislativním požadavkům provozovatele distribuční sítě s ohledem na připojení nového zdroje.

Koncept turbíny s regulovatelnými provozními otáčkami vyžaduje spolupráci mezi dodavatelem turbíny a dodavatelem elektrické části, protože při změně otáček se mění i krouticí moment. Průběh momentu v závislosti na otáčkách je hlavním návrhovým

parametrem pro dimenzování generátoru i výkonu frekvenčního měniče včetně jisticích prvků.



Obr. 9. Charakteristika PMG se zakreslením provozních bodů turbíny



Obr. 10. Instalace elektrického rozváděče s čtyřkvadrantním frekvenčním měničem

## **ZÁVĚRY**

Provozní zkušenosti po dlouholetém, bezporuchovém provozu Peltonových turbín instalovaných na vodárenských systémech dopravy vody dokazují, že využití zbytkových spádů je možné a ekonomicky výhodné i pro nízké instalované výkony.

Inovativní návrh axiální vrtulové turbíny s proměnnými provozními otáčkami umožňuje výrobu, instalaci a provoz pro zadané návrhové parametry zákaznický navržených soustrojí. Flexibilita návrhu, CNC obrábění a ostatní moderní návrhové i výrobní metody umožňují krátkou dobu splatnosti celkové investice i pro velmi nízké instalované výkony.

Stále zůstává atraktivní možnost využití odstředivých čerpadel v turbínovém režimu pro instalace ve vodárenských systémech, ale toto téma je nad rámec prezentovaných informací.

## **PODĚKOVÁNÍ**

V článku byly využity výsledky projektu TAČR TH04010140 - „Inovativní návrh kompaktního soustrojí Kaplanovy mikro-turbíny“, který byl realizován společně s univerzitou UJEP a firmou Elzaco, s.r.o.

Dokumentace z výroby a instalace soustrojí je rovněž poskytnuta firmou Elzaco. Vrtulová turbína byla dodána pro podnik Povodí Ohře, s.p.

# **POSOUZENÍ RIZIK SYSTÉMU ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU TROCHU JINAK**

**Ing. Eva ORSZULIKOVÁ**

Novodvorská 3057, 738 01 Frýdek-Místek  
E-mail: [info@vodorizika.cz](mailto:info@vodorizika.cz)

Jako externí odborný konzultant, který se podílí na posouzení rizik u provozovatelů vodovodů často slýchám: „Tak už nám to posouzení rizik udělejte, ať už to máme všechno hotové.“ Nedovedete si představit jejich zděšení, když na to odpovím: „Posouzením rizik nic nekončí, ale všechno začíná.“

Hodně mi to připomíná situaci, když začaly mít velké vodárenské společnosti na začátku tohoto tisíciletí pocit, že by bylo vhodné v rámci společnosti implementovat požadavky na systém managementu kvality, environmentálního managementu a řízení BOZP. A do vodárenských společností začalo proudit plno externích konzultantů (specialistů na „ISO“) a snažili se normy na řízení výroby a přizpůsobit na výrobu pitné vody, její distribuci a odvádění a čištění odpadních vod. Zdálo se to nerealizovatelné, ale opravdu to možné bylo. Současně bylo nutné přesvědčit management společnosti, že cílem není pověsit „ISO“ certifikát na zed', ale zavést fungující systém řízení v celém podniku od vodních zdrojů až po zákazníka.

Ti, co to pochopili a zavedli, udržují a rozvíjejí jednotlivé systémy řízení, jistě neměli s posouzením rizik systému zásobování pitnou vodou a s aktualizací provozního řádu nejmenší problém. Měli totiž zařízení činnosti skryté pod pojmy jako např. „monitorovací program“, „způsob vedení záznamů o kontrole funkce systému zásobování a o provádění údržby“, „verifikace“, „stanovení nápravných nebo kontrolních opatření“.

Jen se trochu museli zamyslet nad identifikací jednotlivých nebezpečí a vyhodnocením míry rizika, ale i tam jim jistě pomohl „Registr environmentálních aspektů a dopadů“ zpracovaný pro environmentální systém managementu. Samozřejmě je možné získat a mít vyvěšeny pouze „ISO“ certifikáty na stěně bez toho, aby požadavky norem pro řízení procesů byly implementovány a stejným způsobem lze provést i posouzení rizik systému zásobování pitnou vodou. Není v silách zaměstnanců příslušného orgánu ochrany veřejného zdraví (KHS), aby v nynější smršti aktualizovaných provozních řádu tuto nefér hru vodárenských společností objevili.

Ale co mají dělat malí provozovatelé vodovodů a komerčních případně veřejných studní? Nemají ani tušení o řízení nějakých „procesů“. Ve většině případů ani nevědí, proč mají na rezavém plotě nebo polrozpadlé brance vyvěšenou mechem porostlou tabulkou „Pásмо hygienické ochrany prvního stupně“.

Zábavné jsou situace, když starosta zjistí, že nejvydatnější studny jeho prameniště, leží mimo katastr obce a na soukromých pozemcích. A vystane problém, jak je dostat do územního plánu obce.

Nebo co má provozovatel školy dělat, když je škola zásobována vodou ze soukromého vodojemu, do kterého za každého počasí natéká voda z horského potoka bez jakékoliv následné úpravy.

Pokud se zeptáte provozovatele soukromého vodovodu, co dělá, když mu a dalším čtyřiceti rodinným domům teče z kohoutku silně zakalená voda, tak se dozvíte: „*To není problém, my víme, že tu vodu nemáme pít a chodíme si pro vodu tady do studánky.*“

No, ale co ta škola? Zkuste navrhnut úpravnu na povrchovou vodu na kapacitu cca 0,8 m<sup>3</sup>/d s největším zatížením o velké přestávce a máte na to omezené finance v desítkách tisíc korun a nezaškolenou obsluhu. Je nutné podotknout, že v letošním roce je celá budova této školy rekonstruována s pomocí dotace ze státního programu „Podpora rozvoje regionů“ v částce cca 7 milionů Kč. Ale bohužel úpravny vody se rekonstrukce nedotkne, pouze budou vyměněny rozvody v celé budově a na splachování WC se bude využívat voda povrchová srážková.

To znamená, že se spotřeba pitné vody v budově ještě sníží a pitná voda bude v rozvodech stagnovat. Nabízí se řešení napojit školu na obecní vodovod pro veřejnou potřebu. Bohužel napojení budovy školy na obecní vodovod by si vyžádalo vybudování potrubí o délce asi 400 m, ale trasa potrubí by vedla přes soukromé pozemky, a to dle sdělení vedení obce majitelé nepovolí.

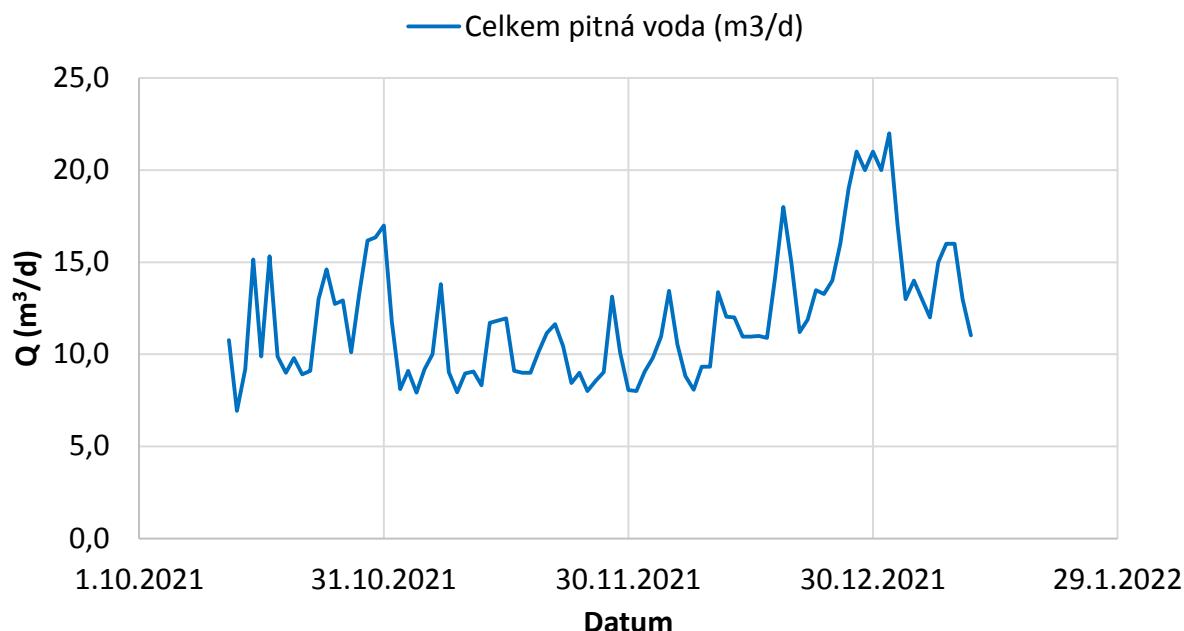
Ale abych se vrátila k tomu, co jsem chtěla tímto příspěvkem vyjádřit. Posouzení rizik systému zásobování pitnou vodou je v této chvíli optimální nástroj pro otevření očí malým provozovatelům vodovodů. Je důležité, aby nebyly externím odborným konzultantem zpracovány rizikové analýzy tzv. od stolu.

Riziková analýza se musí provést na základě terénních zjištění, nejlépe několikrát opakovaných, a pokud je konzultant hodně neodbytný, tak obsluha nevydrží zatloukat dle pokynů starosty a dozvít se neskutečné věci. Jako například, že ta tůň, co vybudovali lesáci, se při deštích vyplachuje přesně do místa jímání vody z horského potoka a zároveň je do stejného místa zaústěn i příkop, který slouží pro odvodnění cca kilometrové asfaltové horské silnice. Navíc se celá technologie úpravy vody skládá z odkalovací nádrže, dvoukomorového vodojemu 2×50 m<sup>3</sup>, do kterého natéká jímaná povrchová voda, a navíc je zde vyústěno výtlacné potrubí z vrtaných studní. Voda je dezinfikována chlornanem sodným na výstupu z vodojemu.

A zrovna až v průběhu posouzení rizik se na podzim poprvé v pitné vodě objeví nadlimitní koncentrace chloroformu a chlorečnanů (nikdy předtím se to nestalo). Provozovatel nechá odebrat opakovaný vzorek a ono je to ještě horší. No, a tak někdo obsluze poradí, aby při odběru opakovaného vzorku přestali dávkovat chlornan. Nakonec se tato informace donese odbornému externímu konzultantovi, který se zrovna potí nad tabulkami s návrhem míry rizika. Konzultant doporučí vyměnit barel s chlornanem sodným za čerstvý a neprodleně vycistit odkalovací nádrž a obě komory vodojemu s poznámkou, že to už přece měli udělat v červnu. Vše je provedeno do 24 hodin a následně jsou odebrány opakované vzorky pitné vody. Obsluha usne na vavřínech, protože konečně pitná voda splňuje legislativní požadavky. Nicméně to netrvá dlouho, protože...

Ale přece jen bych chtěla v tomto příspěvku ukázat, že existují provozovatelé malých vodovodů, kteří si už v rámci posouzení rizik uvědomí, jakou mají šanci něco změnit.

Například obec Bílá je jedno z nejoblíbenější lyžařských a turistických center v Moravskoslezských Beskydech. Na vodovod pro veřejnou potřebu je napojeno 83 obyvatel obce, nicméně vzhledem k ubytovacím kapacitám počet zásobovaných osob o víkendech a prázdninách převyšuje 200 ekvivalentních obyvatel a od toho se odvíjí i spotřeba pitné vody v průběhu týdne viz následující graf (obr. 1).



**Obr. 1. Denní spotřeba pitné vody Bílá – Centrum**

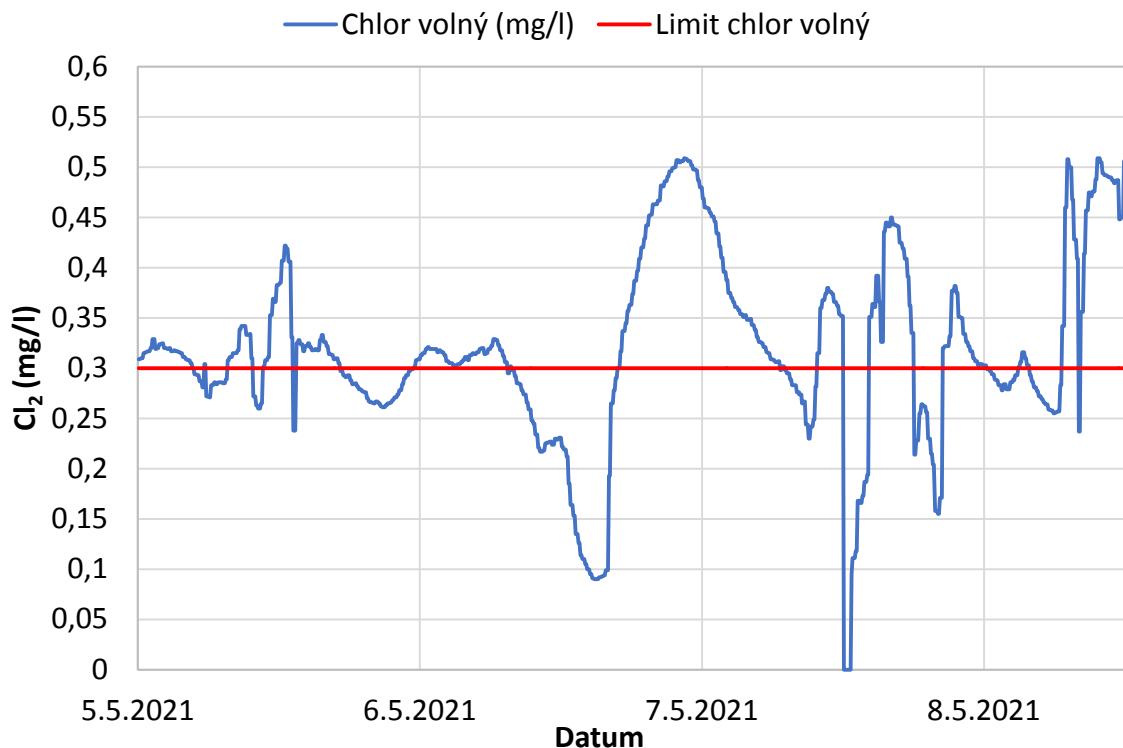
Z pohledu velkých vodárenských společností je to opravdu tzv. „malý píseček“, ale je potřeba si uvědomit, že zatížení úpravny se pohybuje od  $7 \text{ m}^3/\text{d}$  do  $22 \text{ m}^3/\text{d}$ . Provozovatel vodovodu (Obec Bílá) získává vodu ze dvou vrtaných studní a na pomalém filtru je pak odstraňováno železo, mangan a amonné ionty. Filtrovaná voda je dezinfikována chlornanem sodným. Proces dezinfekce se na základě identifikace nebezpečí a vyhodnocení míry rizika podařilo částečně optimalizovat.

Předchozí a současný způsob dezinfekce bych chtěla trochu přiblížit:  
Voda z vodojemu gravitačně odtéká dvěma samostatnými zásobovacími řady DN 50 (pro řadové bytové domy) a DN 80 (pro centrum obce). Z hlediska mikrobiálního oživení pitné vody byl od roku 2009 (65 vzorků) několikrát zaznamenán nadlimitní počet koliformních bakterií ( $4\times$ ) a bakterií kultivovatelných při  $22^\circ\text{C}$  a  $36^\circ\text{C}$  ( $5\times$ ). Takže je zřejmé, že dezinfekce vody je nutná.

Zásobovací řad DN 50 je po asi 300 m za vodojemem napojen na automatickou tlakovou stanici, následně byla voda dezinfikována chlornanem sodným a pokračujícím řadem byla rozvedena do 13 rodinných domků. V rámci posouzení rizik nebylo zjištěno, že by byla jakákoli stížnost na zápach vody po chloru na tomto zásobovaném řadu.

Druhý zásobovací řad DN 80 gravitačně zásobuje celou oblast centra obce v délce cca 1,5 km. Voda pro tento řad byla dezinfikována chlornanem sodným v závislosti na průtoku hned na výstupu z vodojemu. Odběratelé vody z tohoto řadu ve vzdálenosti asi 400 m od vodojemu si nepravidelně stěžovali na silný zápach po chloru, který se objevoval i na konci řadu.

V průběhu posouzení rizik byl instalován pronajatý on-line analyzátor chloru SWAN CODES II včetně dálkového přenosu dat a bylo provedeno sledování koncentrace volného chloru na obou zásobovacích řadech. Změna koncentrace volného chloru v průběhu dne v místě spotřeby na řadu DN 80 je zaznamenána v následujícím grafu (obr. 2).

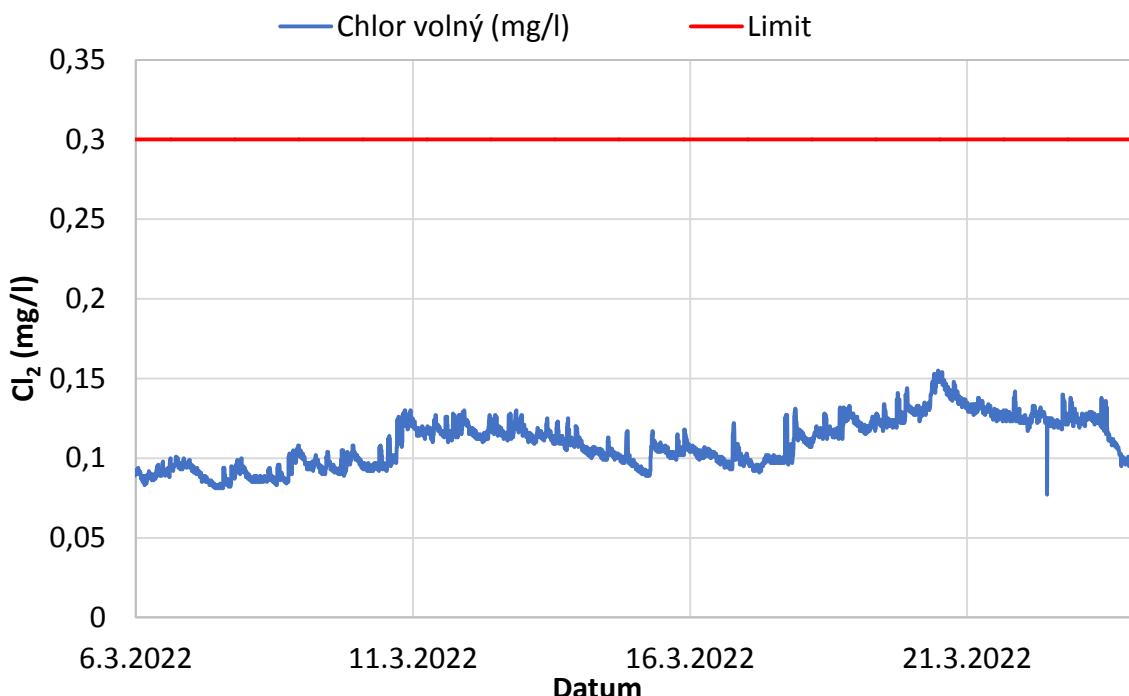


**Obr. 2. Koncentrace volného chloru v pitné vodě v místě spotřeby – zásobovací řad DN 80**

Na základě on-line měření koncentrace volného chloru bylo zjištěno, že na zásobovacím řadu DN 80 dochází k překračování limitu pro koncentraci volného chloru, ale na řadu DN 50 byla koncentrace menší než 0,01 mg/l, dávkovací čerpadlo pro řad DN 50 bylo zavzdušněno a nedávkovalo. Výsledky monitoringu ukázaly, že míra rizika pro překročení limitu koncentrace volného chloru na DN 80, případně nezajištění účinné dezinfekce na zásobovacím řadu DN 50 je vysoká. Bylo proto zastupitelstvem obce v červnu 2021 rozhodnuto, že v průběhu dvou měsíců bude naistalován řídicí systém provozu úpravny vody včetně dálkové vizualizace a dávkování chlornanu sodného bude zaústěno na nátok do vodojemů a tím budou dezinfikována voda pro oba zásobovací řady stejně. Dávkovací stanice chlornanu sodného na zásobovacím řadu DN 50 byla odstavena z provozu.

Dále byla na základě výstupu z posouzení rizik prověřena vydatnost vodního zdroje a zažádáno o změnu vodoprávního rozhodnutí pro nakládání s vodami. Byl proveden servis dávkovacích čerpadel. Byla provedena změna v odpovědnostech pracovníků obsluhy. Došlo i ke změně rozsahu a způsobu vedení záznamů a nyní se vedou záznamy o provozu vodovodu v písemné i v elektronické podobě. Obsluha je plně zaškolena z provozního řádu i z hygienického minima pro pracovníky ve vodárenství.

Koncentrace volného chloru v pitné vodě na výstupu z vodojemu je nyní monitorována on-line analyzátorem chloru, který obec v závěru roku zakoupila. Koncentrace volného chloru je v pitné vodě na výstupu z vodojemu je udržována v rozsahu hodnot 0,1 – 0,15 mg/l (obr. 3).



**Obr. 3. Koncentrace volného chloru v pitné vodě na výstupu z vodojemu po změně dávkovacího místa na nátok do vodojemu**

Bohužel se ale opět objevily stížnosti na zápach po chloru, tentokrát u odběratelů na zásobovacím řadu DN 50. Pravděpodobně už dlouhodobě nebyli zvyklí na vodu dezinfikovanou chlornanem sodným.

Vzhledem k tomu, že se jedná o horskou oblast a pro obyvatele i návštěvníky by bylo příjemné, kdyby měli k dispozici pitnou vodu, která by nebyla zatížena produkty chemické dezinfekce, byla v rámci posouzení rizik navržena změna dezinfekce z chlornanu sodného na UV lampu.

V současnosti je prováděna validace nově instalovaného řídicího systému úpravny vody, začala být zpracovávána koncepce centrálního zásobování obce Bílá pitnou vodou i pro horské hotely, chaty a apartmánové domy. Jednoznačně je možné říci, že v tomto případě provozovatel vodovodu pochopil přínos rizikové analýzy.

V krátkosti bych se ještě chtěla zmínit o prověření takzvaných hypotetických nebezpečí, jako je ovlivnění podzemních vod vodami povrchovými v době intenzivních dešťů.

Měla jsem možnost posuzovat míru rizika u provozu prameniště starého 40 let, které je umístěno na svahu vykáceném několik let po kůrovcové kalamitě. Studny (spíše skružové pramenní jímky) zachytávají vodu přímo z pramenných vývěrů pomocí svodných krátkých drénů.

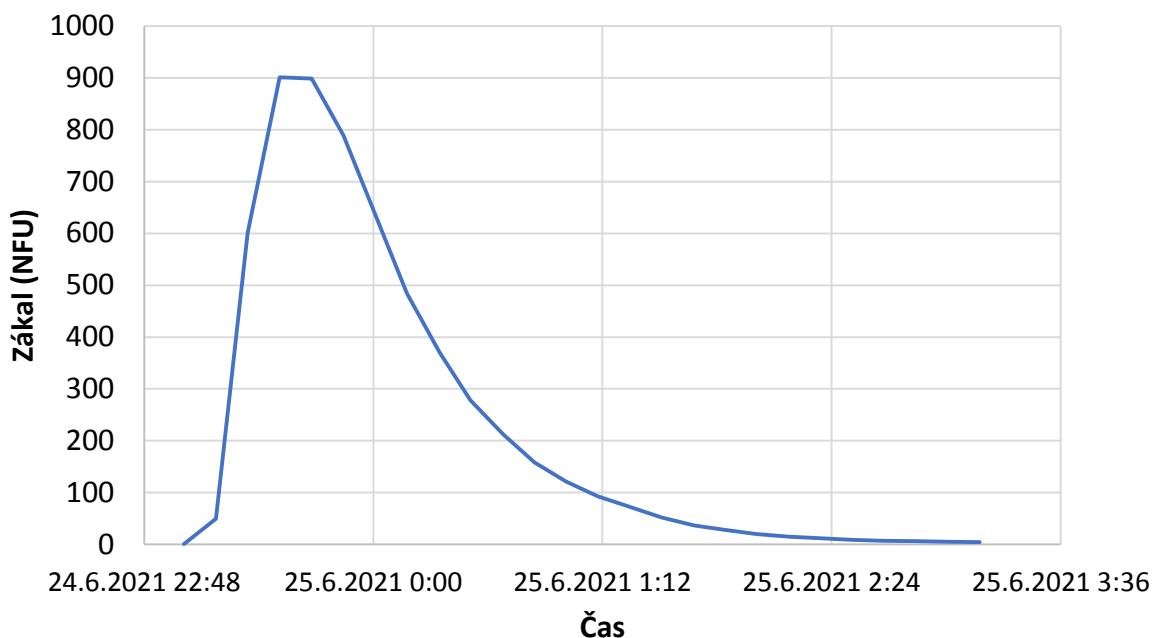
Již při první pochůzce na prameniště bylo zřejmé, že při intenzivních deštích musí docházet i ke splachům do studní. Nicméně pracovník obsluhy tvrdil, že k tomu nikdy nedochází a ve vodojemu nikdy zakalenou vodu neviděl. Takže hypotetické riziko.

Nutno podotknout, že kontrolu vodojemu prováděl pracovník jednou týdně, vždy v úterý, takže co se dělo ve vodojemu např. o víkendu, nikdo nevěděl. Záznamy o stížnostech

na zakalenou vodu nebyly zjištěny. Voda z prameniště není upravována, pouze je akumulována ve vodojemu  $2 \times 100 \text{ m}^3$  a na výstupu z vodojemu je dezinfikována v závislosti na průtoku chlornanem sodným. Touto pitnou vodou je zásobováno 425 obyvatel obce.

Realizační tým pro posouzení rizik vyhodnotil riziko průniku povrchové vody v době intenzivních dešťů jako nízké i vzhledem ke statistickém zpracování laboratorních výsledků 67 vzorků pitné vody (2009–2020). Průměrný zákal byl 0,59 ZFn. Pouze v jednom vzorku z roku 2010 byl zákal 7,8 ZFn.

Asi dva měsíce po schválení provozního řádu a posouzení rizik se naskytla možnost bezplatného zapůjčení on-line zákaloměru SIGRIST AQUASCAT WTM od firmy TECHNOPROCUR CZ, spol. s r.o. s dálkovým přenosem dat. Zákaloměr byl instalován na nátoku do vodojemu v polovině června 2021 a naměřená data ukázala, že během dvou měsíců došlo 6× k zakalení surové vody nad limit stanovený pro pitnou vodu (5 ZFn). Celkem 5× byl naměřen maximální zákal 38–80 ZFn po dobu 3–5 hodin. K největšímu zakalení vody došlo v nočních hodinách 24.6.2021 v době průtrže mračen, kdy zákal na nátoku do vodojemu dosáhl hodnoty 901 ZFn a nadlimitní zákal surové vody trval více než 4 hodiny (viz obr. 4).



**Obr. 4. Zákal na nátoku do vodojemu po intenzivních deštích 24. - 25.6.2021**

Došlo k zakalení vody v obou komorách vodojemu a provedeno vypuštění jedné komory vodojemu a odkalení. Pokud by nebyl ve vodojemu nainstalován zákaloměr, obsluha by o zákalu vůbec nevěděla a zakalená voda by odtekla do spotřebičstě. Tato zjištění byla prezentovaná na zastupitelstvu obce v září 2021. O rekonstrukci vodojemu a regulaci nátoku vzhledem k zákalu surové vody bude zastupitelstvem obce rozhodnuto do 30. 6. 2022.

A ještě bych chtěla zdůraznit nebezpečnou událost s dopadem na kvalitu vody, kterou si mnoho provozovatelů vodovodů neuvědomuje.

V době bouřek často dochází k výpadkům dodávky elektrické energie, případně jsou dlouhodobé výpadky např. 8 hodin plánovány ze strany distributora elektrické energie. Pokud

je dávkování chlornanu sodného instalováno na výstupu z vodojemu a voda do spotřebiště odtéká gravitačně, tak v případě výpadku dodávky elektrické energie je mimo provoz dávkovací čerpadlo, takže voda není v té době dezinfikována. Přitom toto nebezpečí se dá jednoduše eliminovat instalací záložního bateriového zdroje, jehož cena je kolem 5 000 Kč. Jedná se o zdroj, který se za normálního provozu stále udržuje nabity a v případě výpadku dodávky elektrické energie se automaticky přepne na bateriový provoz (podle typu baterie např. až 8 hodin).

Opět záleží na provozovateli vodovodu, jestli využije toto jednoduché řešení nebo bude na vodojem dovážet náhradní energetický zdroj v době plánovaných odstávek dodávky elektrické energie nebo bude provádět manuální dezinfekci atd.

## ZÁVĚR

Na těchto několika příkladech jsem chtěla uvést, že posouzení rizik systémů zásobování vodou se dá dělat i trochu jinak, než vytvořit „pár papírů“ a výstupy z posouzení rizik systému zásobování pitnou vodou pak mají zřetelný vliv na kvalitu i dodávku pitné vody.

# **INSTALACE ZÁKALOMĚRŮ NA STĚŽEJNÍCH ÚPRAVNÁCH VODY**

**Ing. Lenka CAROVÁ MÁTLOVÁ, Ph.D.**

Severočeská servisní a.s., Přítkovská 1698/14, 415 50 Teplice  
E-mail: [lenka.carova.matlova@scservisni.cz](mailto:lenka.carova.matlova@scservisni.cz)

## **ÚVOD**

Společnost Severočeská servisní a.s. realizovala v roce 2021, pro Severočeskou vodárenskou a.s., investiční akci zaměřenou na monitoring kvality zákalu pod filtry na stěžejných úpravnách vody s povrchovou vodou. Tato investice byla motivována snahou získat relevantní data v souvislosti s chystanou implementací nové evropské směrnice Drinking Water Directive DWD (98/83/EC) do české legislativy. Příspěvek shrnuje základní údaje o povinnosti monitorovat zákal, dále popisuje zákalomér zvolený pro monitoring společnosti SCS a.s. a uvádí dosavadní konkrétní provozní zkušenosti se zákaloměrem instalovaným na úpravně vody Bedřichov.

## **LEGISLATIVNÍ POZADÍ**

Evropská směrnice Drinking Water Directive DWD (98/83/EC) byla revidována 16.12.2020. Členské státy EU mají na implementaci DWD do národních předpisů 24 měsíců.

Kromě jiného obsahuje revize DWD i novou povinnost provozovatelů úpraven vod s povrchovou vodou pravidelně kontrolovat účinnost fyzikálního odstraňování nečistot filtračními procesy. Tato povinnost se netýká úpraven s podzemní vodou, kde je zákal způsoben přítomností železa a mangantu [1].

Pravidelná kontrola je ve směrnici DWD zakotvena v rámci monitorovacích programů a umožňuje dva přístupy monitoringu:

- (1) Sběr a rozbor bodových vzorků vody.
- (2) Měření zaznamenaná procesem průběžného monitorování.

Přístup, který provozovatel zvolí, je dán rovněž požadovanou četností sběru a rozboru vzorků, která je uvedena v Příloze II. Části A bodu 3. směrnice DWD. Provozní ukazatele a referenční hodnota zákalu, které doporučuje směrnice DWD jsou uvedeny v tabulce (tab. 1.).

Vzhledem k tomuto legislativnímu rámci přistoupila společnost Severočeská servisní a.s. k instalaci zákalomérů na osmi úpravnách vody s povrchovou vodou. Motivací bylo zjistit s dostatečným předstihem, jakých hodnot zákalu je pod filtry dosahováno a vyhodnotit, zda bude dosažení požadavků daných směrnicí DWD vyžadovat další provozní či investiční náklady.

**Tab. 1. Provozní ukazatele a referenční hodnota zákalu [1]**

<b>Provozní ukazatel</b>	<b>Referenční hodnota</b>
Zákal	0,3 NTU v 95% vzorků a žádný přesahující 1 NTU
Objem vody denně dodávané či produkované v zásobované oblasti (v m <sup>3</sup> )	Minimální četnost sběru a rozboru vzorků
≤ 1000	Týdně
< 1000 až ≤ 10 000	Denně
≤ 10 000	Průběžně

## INSTALACE ZÁKALOMĚRŮ

### Měření zákalu

Zákal ve vodách je způsoben přítomnými nerozpuštěnými a/nebo koloidními látkami a malými organismy (například bakteriemi, fytoplanktonem a zooplanktonem). Zákal mění světelné podmínky v povrchových vodách absorpcí a rozptýlením světla a tak ovlivňuje trofický stav těchto vod. Pro orientační hodnocení světelných podmínek ve vodách nebo průhlednosti vody se mohou používat semikvantitativní metody [2].

Norma specifikuje dvě kvantitativní metody pro stanovení zákalu vody optickými turbidimetry nebo nefelometry:

- (1) nefelometrii, měření rozptýleného záření, vhodné pro vody s nízkým zákalem (například pro pitnou vodu),
- (2) turbidimetrii, měření útlumu zářivého toku, vhodnější pro velmi zakalené vody (například pro odpadní nebo znečištěné vody).

Zákal měřený první metodou se vyjadřuje v nefelometrických jednotkách zákalu (nephelometric turbidity unit, NTU). Výsledky jsou obvykle v rozmezí od <0,05 NTU do 400 NTU. V závislosti na konstrukci přístroje lze metodu použít také k měření vod s vyšším zákalem. Jednotky NTU a formazinová nefelometrická jednotka (formazin nephelometric unit, FNU) jsou numericky ekvivalentní.

Zákal měřený druhou metodou se vyjadřuje ve formazinových turbidimetrických jednotkách (formazin attenuation unit, FAU); výsledky jsou obvykle v rozmezí od 40 FAU do 4 000 FAU [3].

### Typ zákaloměru

Prvním krokem v procesu instalace zákaloměrů byl výběr vhodného typu měřidla, který bude pro měření zákalu využity. Na trhu je k dispozici několik měřidel zákalu, které je možné pro tento účel použít. My jsme zvolili zákaloměr SIGRIST AquaScat 2 WTM, se kterým máme dobrou provozní zkušenosť z jiných aplikací.

Přístroj měří rozptýlené světlo pod úhlem 90°, jde tedy o nefelometrické stanovení zákalu. Jedná se o bezkontaktní měření ve volně padajícím paprsku vody, kdy měřící optika nepřichází do kontaktu se vzorkem, a proto odpadá potřeba čištění sklíček optiky. Další výhodou je, že přístroj provádí sám rekalibraci [4].

Technické parametry přístroje udávané výrobcem jsou uvedeny v tabulce (tab. 2.).

**Tab. 2. Technické parametry přístroje SIGRIST AquaScat 2 WTM [4]**

<b>Měřící princip</b>	měření rozptylu světla pod úhlem 90° při 880 nm v souladu s ČSN EN ISO 7027-1
<b>Měřící rozsah</b>	univerzální rozsah volitelný v rozmezí od nejnižšího 0,000–0,100 FNU až po nejvyšší rozsah 0–4000 FNU
<b>Rozlišení</b>	0,001 FNU
<b>Výstupy</b>	2 × 0/4–20 mA, 2 × kontakt
<b>Průtok vzorku</b>	2,5–3,5 l/min

Přenos dat z přístroje je možný přes standardní komunikační rozhraní (Ethernet, Modbus TCP, SD kartu). Je možný i přenos přes GSN datalogger, který umožňuje bezdrátový přenos a ukládání dat na internetové úložiště [4].

Zákalomér má shodu s Vyhláškou č. 409/2005 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Vzorek, který proteče zákaloměrem, je tedy možné vracet zpět do jakékoli fáze úpravy vody [4].

### **Vybrané úpravny vody**

Pro instalaci zákalomérů byly vybrány stěžejní úpravny vody s povrchovou vodou, kde je jako první či druhý separační stupeň využívána filtrace. Jednalo se o úpravny napříč celou společností, jmenovitě ÚV Bedřichov, ÚV Hradiště, ÚV Chřibská, ÚV Jirkov, ÚV Litvínov, ÚV Meziboří, ÚV III. Mlýn a ÚV Souš. Vybrané parametry uvedených úpraven vody jsou uvedeny v tabulce (tab. 3.).

**Tab. 3. Parametry úpraven vody**

<b>Úpravna vody</b>	<b>Typ úpravy</b>	<b>Filtrace–náplň</b>	<b>Kapacita ÚV (l/s)</b>
<b>Bedřichov</b>	Dvoustupňová – flotace/filtrace	Filtralite Mono-Multi	370
<b>Hradiště</b>	Jednostupňová – filtrace	Písek	800
<b>Chřibská</b>	Jednostupňová – filtrace	Filtralite Mono-Multi	76
<b>Jirkov</b>	Dvoustupňová – flotace/filtrace	Písek	150
<b>Litvínov</b>	Jednostupňová – filtrace	Písek	300
<b>Meziboří</b>	Dvoustupňová – flotace/filtrace	Písek	350
<b>III. Mlýn</b>	Dvoustupňová – filtrace/filtrace GAU	Písek/GAU	240
<b>Souš</b>	Dvoustupňová – flotace/filtrace	Písek-antracit	210

Instalace zákalomérů proběhla na konci roku 2021. Na všech úpravnách vody byly zákalomery umístěny na směsný filtrát a odtok ze zákaloměru je vracen zpět do procesu úpravy, tak aby nebyly navýšovány ztráty vody.

### **PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI S MĚŘENÍM ZÁKALU NA ÚV BEDŘICHOV**

Vzhledem k poměrně krátké době od instalace zákalomérů na úpravnách vody ještě nejsou k dispozici relevantní dlouhodobá data ke kompletnímu vyhodnocení. Nicméně i výsledky získané v krátkém časovém období jsou zajímavé.

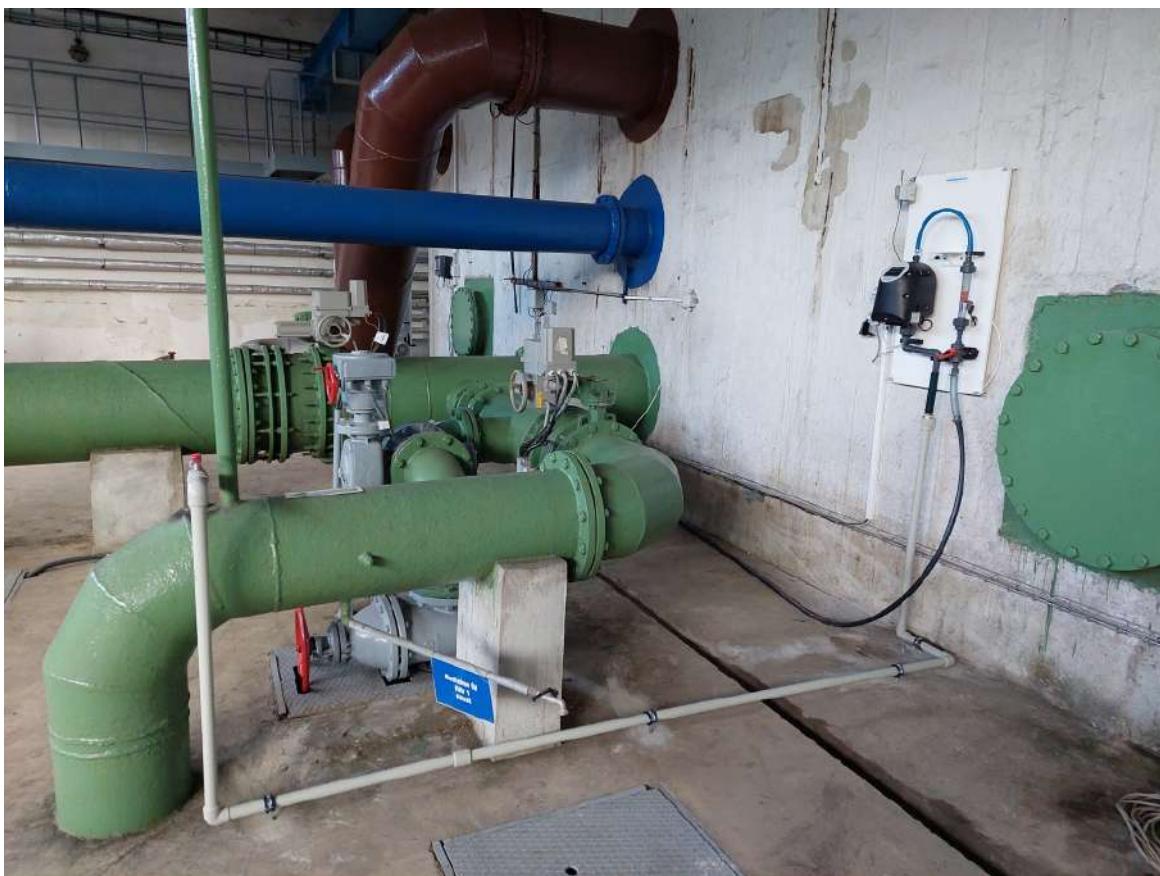
Do tohoto příspěvku byly vybrány výsledky z ÚV Bedřichov. Na ÚV Bedřichov je kromě zákaloměru na směsném filtrátu instalován i zákaloměr pod jedním z filtrů. Tento zákaloměr byl v říjnu 2021 zapojen firmou TECHNOPROCUR CZ jako testovací zařízení. Díky tomu je možné sledovat simultánně oba zákalomery a vyhodnocovat přesněji provozní stav, které v provozu nastávají. Umístění zákaloměru na směsném filtrátu je vidět na obrázku (obr. 1).

Přenos dat ze zákaloměru je realizován dvěma způsoby. Jednak přes Ethernet s napojením do řídicího systému ÚV a jednak pomocí GSM dataloggeru s přenosem do internetového úložiště. Hodnoty zákalu je tak možné v reálném čase zobrazit na PC nebo na mobilním telefonu.

### Vyhodnocení monitoringu zákalu na ÚV Bedřichov

Naměřené hodnoty zákalu je možné z internetového úložiště vyexportovat do formátu CSV a dále s nimi pracovat, tak aby mohla být statisticky vyhodnocena data dle směrnice DWD. Takové vyhodnocení bylo provedeno i se souborem dat naměřených na ÚV Bedřichov. V rámci statistického výpočtu bylo použito 12 783 hodnot. Na základě vyhodnocení je možné konstatovat, že referenční hodnota zákalu 0,3 FNU byla překročena pouze v 0,8 % výsledků.

Nastaly ovšem situace, kdy hodnota zákalu překročila maximum dané směrnicí DWD, a to hodnotu zákalu 1,0 FNU. Jednalo se ve všech případech o nestandardní provozní stavy, např. odstávka ÚV, výpadek elektřiny apod.

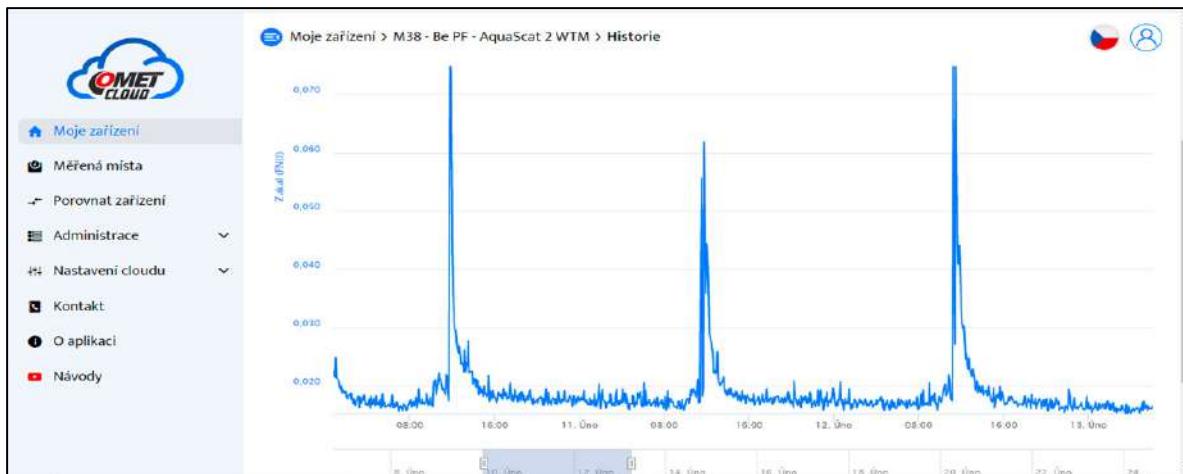


Obr. 1. Umístění zákaloměru na směsném filtrátu ÚV Bedřichov

### Technologické využití monitoringu zákalu

V průběhu vyhodnocování dat ze zákaloměrů bylo zjištěno, že výsledné hodnoty zákalu velmi dobře korelují s koncentrací hliníku v měřeném směsném filtrátu i v měřeném filtrátu pod filtrem. Do určité míry nám tedy zákaloměr dává informaci o filtračním cyklu na filtru a o potřebě filtr práť.

Při měření zákalu pod filtrem je možné využít i digitální měření průtoku vzorku, které nabízí dodavatel zařízení. Měření průtoku dává dobrý obrázek o zanesení filtru suspenzí. Je důležité si však uvědomit, že zmíněné informace vypovídají pouze o jednom parametru úpravy a další parametry nesmí být opomíjeny a musí být nadále sledovány.



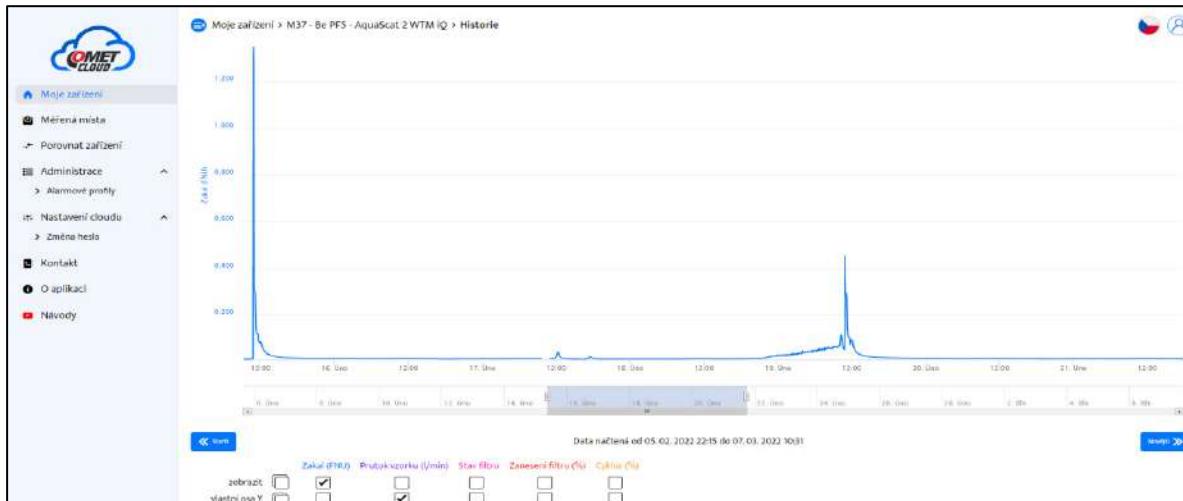
**Obr. 2. Reálná data z provozu – zákal směsného filtrátu**

Pro ilustraci je na obrázku (obr. 2) uveden typický průběh kvality směsného filtrátu při pracím cyklu 72 hodin. Jednou denně se tedy pere jeden ze čtyř filtrů.

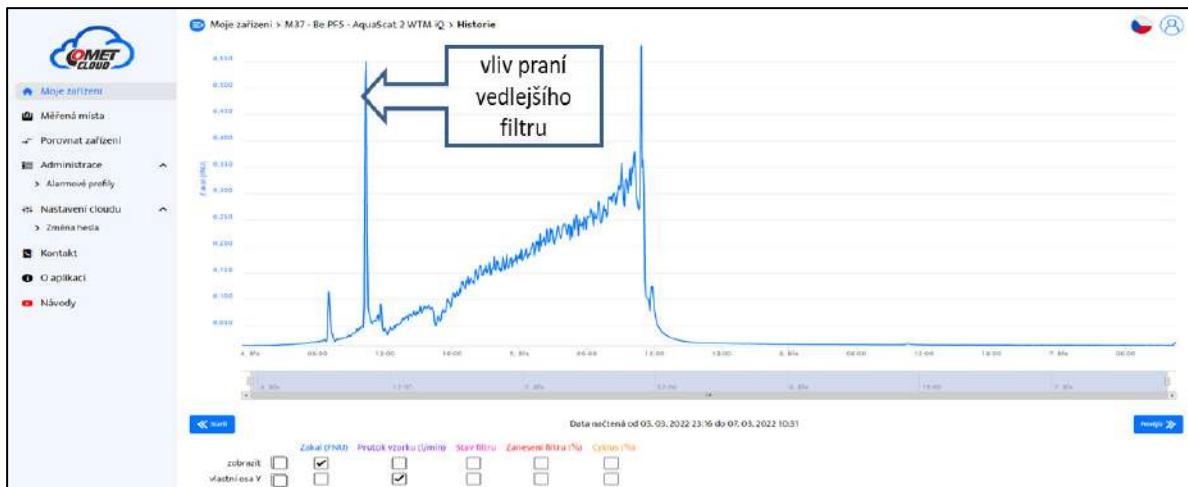
Zvýšené hodnoty zákalu na směsném filtrátu jsou způsobeny praním jednoho z filtrů.

Pro ukázku konkrétního využití zákaloměru v provozu jsou na obr. 3 a obr. 4 ukázány dva stavů, ke kterým na jednom z filtrů na ÚV Bedřichov ve sledovaném období došlo.

Obr. 3 ukazuje standardní průběh zákalu v průběhu filtračního cyklu. obr. 4 ukazuje situaci, kdy vlivem netěsnící klapky na prací vodě došlo k výkyvu kvality zákalu na sledovaném filtro. Tento stav nastal při praní vedlejšího filtro a nebylo možné jej identifikovat vizuální kontrolou filtro.



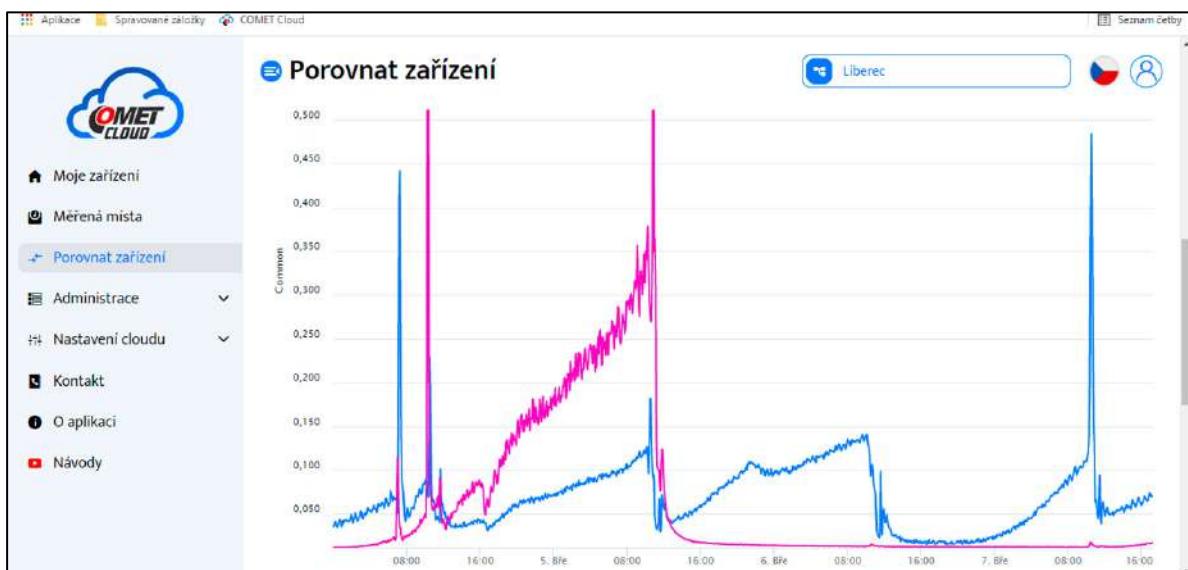
**Obr. 3. Reálná data z provozu – zákal pod filtrem ÚV Bedřichov**



Obr. 4. Reálná data z provozu – zákal pod filtrem ÚV Bedřichov

Je zřejmé, že reprodukovatelnost výsledků měření zákalu přímo pod filtrem je přesnější, než reprodukovatelnost výsledků na směsném filtrátu. Je to dáno tím, že do kvality směsného filtrátu se promítají provozní stavy všech provozovaných filtrů. V případě ÚV Bedřichov se jedná o čtyři filtry.

Pro ilustraci je na obr. 5 opět použita situace s netěsnící klapkou prací vody a v jednom grafu jsou porovnány průběhy zákalu pod inkriminovaným filtrem (růžová křivka) a na směsném filtrátu (modrá křivka). Je zřejmé, že pokud bychom měřili pouze zákal na směsném filtrátu, bylo by v tomto případě vyhodnocení příčiny zhoršení zákalu obtížnější, ne-li nemožné.



Obr. 5. Reálná data z provozu – zákal pod filtrem a na směsném filtrátu ÚV Bedřichov

## **ZÁVĚRY**

Závěry plynoucí z dosavadního sledování zákalu na směsném filtrátu na ÚV Bedřichov jsou následující:

Výsledky statistického vyhodnocení monitoringu zákalu na směsném filtrátu vyhovují požadavkům směrnice DWD. Maximální referenční hodnota zákalu byla překročena pouze v případě mimořádných událostí. Samozřejmě bude zásadní, jak bude v české legislativě definován monitorovací profil pro měření zákalu. V případě měření zákalu upravené vody by se do zákalu pravděpodobně negativně projevil vliv ztvrzování vody.

Monitoring zákalu pod filtry se ukázal být užitečným nástrojem pro sledování účinnosti filtrace a identifikaci nestandardních provozních stavů (např. výpadků čerpadel, netěsnících klapek apod.). Jako nejvhodnější se jeví umístění měřidla zákalu pod každý filtr na ÚV.

Laboratorní kontrola provozních vzorků zůstává nutností z důvodu kontroly a ověření zákaloměru a z důvodu kontroly dalších technologických parametrů, které zákaloměr nepostihuje.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala kolegům z provozu ÚV Bedřichov a Ing. Pišanovi z firmy TECHNOPROCUR CZ za spolupráci.

## **SEZNAM LITERATURY**

1. Drinking Water Directive DWD (98/83/EC). Available from:  
[https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/legislation\\_en.html](https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/legislation_en.html)
2. ČSN EN ISO 7027-2
3. ČSN EN ISO 7027-1
4. [www.technoprocur.cz](http://www.technoprocur.cz)

# ZPRACOVÁNÍ RIZIKOVÝCH ANALÝZ VE SKUPINĚ SEVEROČESKÁ VODA

Ing. Michaela VRÁTNÁ

Severočeská servisní a.s., Přítkovská 1689/14, 415 50 Teplice  
E-mail: [michaela.vratna@scservisni.cz](mailto:michaela.vratna@scservisni.cz)

## ÚVOD

Riziková analýza neboli princip posouzení a řízení rizik při jímání, výrobě a distribuci pitné vody se ve skupině Severočeská voda začala zpracovávat v roce 2018. Metodika zpracování vychází ze zásad HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point – analýza rizik a kritické kontrolní body). Zásady HACCP (což je preventivní systém managementu rizik, který se po řadu desetiletí používá v potravinářském průmyslu) spočívají na postupném porozumění systému, určování prioritních rizik a přijímání takových vhodných regulačních opatření, která by redukovala rizika na přijatelnou úroveň.

Tento přístup je založený na hodnocení a řízení rizik, který obsahne celý systém zásobování od povodí až po kohoutek spotřebitele. Je nazván Světovou zdravotnickou organizací jako WSP (water safety plan), čili „plán pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou“. Ve směrnici EU (směrnice Rady 98/83/ES o jakosti vody určené k lidské spotřebě ve znění směrnice Komise (EU) 2015/1787), ze které česká legislativa vychází, se tento přístup nazývá „posouzení rizik“. Zákonem č. 202/20017 Sb. byla s platností od 1. 11. 2017 provedena novela zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Díky této změně se dostalo „posouzení rizik“ do české legislativy jako povinný nástroj provozovatele vodovodů a dalšího zásobování pitnou vodou pro veřejnou potřebu [1].

Ve skupině Severočeská voda jsou za zpracování rizikových analýz zodpovědní technologové společnosti Severočeská servisní a.s., kteří jsou zároveň hlavními odpovědnými osobami.

## Skupina Severočeská voda

je celek vzájemně provázaných, od sebe neoddělitelných společností, a to Severočeská vodárenská společnost a.s. (SVS), Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. (SčVK) a Severočeská servisní a.s. (SčS).

Společnost SčVK je provozovatelem 202 vodovodů v 366 zásobovaných oblastech. Riziková analýza je jednou z příloh provozního řádu pro KHS. Jde o dokument, který musí provozovatel předložit ke schválení orgánu ochrany veřejného zdraví (OOVZ) každých 5 let nebo vždy při změně podmínek v provozování vodovodu. Provozní řád zpracovávají zaměstnanci společností SčVK a SčS, především specialista technicko – provozní činnosti (TPČ) a s ním spolupracují hlavní odpovědná osoba, specialista – technolog, specialista oddělení technologie. Zaměstnanci jsou ve vzájemné součinnosti.

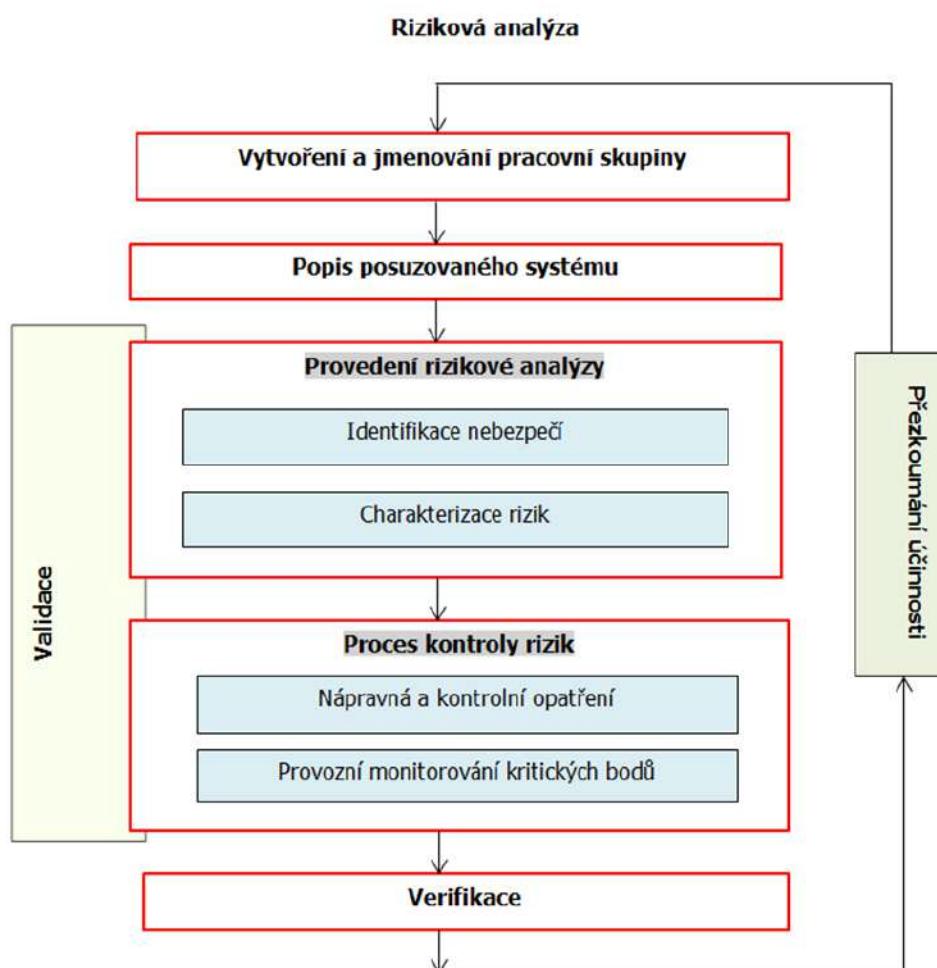
## Přílohami provozního řádu jsou

- Přehled provedených revizí
- Blokové schéma vodovodu a/nebo technologické schéma ÚV
- Situace vodovodu a zdroje
- Povolení k odběru surové vody
- Rozhodnutí o vyhlášení OPVZ
- Harmonogram mytí VDJ

- Riziková analýza
- Monitorovací program – plán
- Dávkované chemikálie – shoda s vyhláškou 409/2005 + bezpečnostní list
- Fotodokumentace
- Výňatky ze směrnic
- Seznam citlivých odběratelů
- Plán kontroly jakosti pitné vody

Vzor provozního řádu včetně příloh byl připraven k tomu určenou pracovní skupinou a byl projednán se zástupci OOVZ Libereckého a Ústeckého kraje. V případě potřeby ze strany skupiny Severočeská voda, popř. KHS je vzor provozního řádu aktualizován a projednán se zástupci OOVZ.

Riziková analýza se zpracovává podle postupu uvedeného v obr. 1. [2].



**Obr. 1. Postup zpracování rizikové analýzy**

### **Vytvoření a jmenování pracovní skupiny**

Počet členů pracovní skupiny je závislý na velikosti a složitosti posuzovaného systému. Součástí pracovní skupiny jsou odborníci společností SčVK a SčS, kteří jsou jmenováni provozně – technickými řediteli, a to zejména technolog, zástupci provozu vodovodů/úpraven vod, zástupce laboratoří a další.

## **Popis posuzovaného systému**

Základem popisu systému je dokonalá znalost zásobované oblasti. Jsou zde uvedeny názvy obce nebo jeho části, které jsou v systému zásobování, objekty vodního hospodářství a místa, kde dochází k hygienickému zabezpečení vody.

## **Identifikace nebezpečí**

K identifikaci nebezpečí slouží místní šetření a dále jsou využívány vnitropodnikové systémy GIS a Labsystém.

Systém GIS identifikuje všechny objekty v zásobované oblasti, např. jímací objekty, vodojemy, čerpací stanice, úpravny vody a poskytuje základní informace o distribuční síti.

Pro zpracování rizikové analýzy se posuzuje kvalita vody v příslušném vodovodu za posledních 5 let.

## **Charakterizace rizik**

Charakterizace rizik spočívá v odhadu pravděpodobnosti výskytu nebezpečí, jeho následku a následného určení míry rizika. Používá se matice hodnocení pravděpodobnosti výskytu nebezpečí a hodnocení následků nebezpečí, která byla zpracována ve formě 5×4 buněk.

Každé nebezpečí je posuzováno z hlediska pravděpodobnosti výskytu (četnost výskytu v čase) a závažnosti následků. Následně se podle hodnotící matice stanoví míra rizika. Stanovení míry rizika poskytuje informaci o naléhavosti přijetí dalších opatření k ošetření daných rizik. Za nepřijatelná rizika se pak považují vysoká rizika – 3 a rizika střední – 2, která mají velké následky. Pravděpodobnost výskytu rizika se vyjadřuje pomocí četnosti výskytu daného nebezpečí způsobeného nebezpečnou událostí, tj. odhad pravděpodobnosti na základě dosavadní zkušenosti s výskytem rizika z minulosti.

Při posouzení nebezpečí se postupuje dle vyhlášky č.252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

## **Nápravná a kontrolní opatření**

Opatření provozního charakteru jsou prováděna na základě podnikových předpisů. Investiční opatření jsou realizována dle investičního plánu vlastníka infrastruktury a mají dlouhodobý charakter.

## **Provozní monitorování kritických bodů**

Monitorovací program – plán obsahuje:

- kontrolu ochranného pásmá vodního zdroje, příp. zájmového území vodního zdroje
- kontrolu stavebně technického stavu objektů
- kontroly funkčnosti a stavu údržby technických zařízení
- výsledky měření kontinuálními měřidly
- plán kontroly

## **Verifikace**

Verifikace správnosti posouzení rizik je prováděna pomocí následujících indikátorů:

- sledováním množství dodávané pitné vody v jednotlivých částech distribučního systému včetně sledování úniků a vyhledávání skrytých úniků
- vyhodnocováním potřeby dodaného množství pitné vody na základě sledování vývoje spotřeb
- sledováním kvality pitné vody
- vyhodnocování počtu a příčin havárií na vodovodní síti
- sledováním spokojenosti spotřebitelů

## Přezkoumání účinnosti

Posouzení rizik je přezkoumáno nejpozději po 5 letech. Pokud by došlo k významné havarijní situaci kvůli nebezpečí, které šlo předvídat a situaci tak předejít, je posouzení rizik aktualizováno po ukončení mimořádné události bez zbytečného odkladu. Riziková analýza je aktualizována také vždy při změně podmínek provozu.

## Stav zpracování rizikových analýz ve skupině Severočeská voda

Stav zpracování rizikových analýz a stav zpracování provozních řádů k 31. 12. 2021 jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2. Vzhledem k vysokému počtu provozních řádů, resp. zásobovaných oblastí je příprava a zpracování rizikových analýz a dalších příloh velkou výzvou pro pracovní skupiny.

Na obrázku (obr. 3) je uvedeno množství provozních řádů schválených KHS, čekajících na schválení a chybějících PŘ.

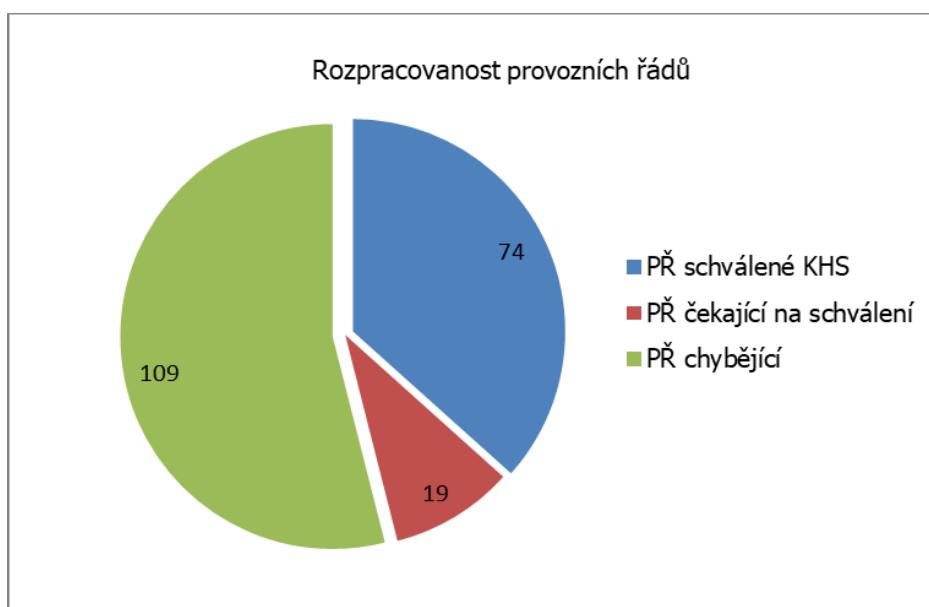
V tabulce (tab. 3) je ukázka zpracování rizikové analýzy skupinou Severočeská voda (identifikovaná nebezpečí, příčiny, nápravná opatření apod.).

**Tab. 1. Rozpracovanost rizikových analýz (RA = zásobovaná oblast)**

Rizikové analýzy celkem	<b>366</b>
Rizikové analýzy zpracované	<b>252</b>
Rizikové analýzy chybějící	<b>114</b>

**Tab. 2. Rozpracovanost provozních řádů**

Provozní řády celkem	<b>202</b>
Provozní řády schválené KHS	<b>74</b>
Provozní řády čekající na schválení KHS	<b>19</b>
Provozní řády chybějící	<b>109</b>



**Obr. 3. Rozpracovanost provozních řádů**

**Tab. 3. Zpracování rizikové analýzy pro KHS**

Proces	Podproces	Nebezpečná událost/nebezpečí	Kategorie následku	Nejistota následku	Kritické limity	Monitoring a regulační opatření	Provedená nápravná opatření		Pravděpodobnost	Závažnost/následky	Míra rizika	Investiční opatření plánovaná
							Provozní	Investiční				
Povodí a ochranná pásma	Zemědělství, lesnictví, těžba surovin	Používání pesticidů a insekticidů	Kvalita	NEP	Zhoršení kvality surové vody	Kontrola dodržování podmínek vyhlášení OPVZ, pravidelná kontrola kvality vody	Zamezení používání insekticidů a pesticidních látok v okolí, dodržení podmínek OPVZ	E (vzácné)	Malé	1		
Jímání, úprava, akumulace a distribuce vody	Vodovodní sít' a připojky	Průnik vody z lokálního zdroje do sítě/nebezpečí kontaminace dodávané vody (chování odberateli)	Kvalita	NJ	Zhoršení kvality vody	Kontrola zpětných klapek při výměně vodoměrů, pravidelná kontrola kvality vody	Oddělení lokálního zdroje od veřejného vodovodu	E (vzácné)	Velké	2	Výměna nebo doplnění zpětné klapky	
Povodí a ochranná pásma	Zemědělství, lesnictví, těžba surovin	Vykácení lesního porostu/vyschnutí oblasti	Kvantita	PRO	Nedostatek vody	Komunikace s vlastníkem lesů	Náhradní zásobování	C (méně pravděpodobné)	Velké	3		

### Příklady z praxe

Identifikovaným nebezpečím, se kterým se setkáváme při místním šetření je vykácení lesního porostu viz obrázek (obr. 4). Může tak dojít vlivem nedostatku vody k vyschnutí oblasti. Při tomto nebezpečí musíme zvýšit četnost kontroly pramenišť, navýšit kontrolu kvality vody a častěji komunikovat s vlastníkem lesů. Leckde musíme přikročit k náhradnímu zásobování a dokonce i k náhradě zdroje.

Dalším identifikovaným nebezpečím, se kterým se setkáváme je pohyb lesní techniky, kdy svými těžkými stroji mohou narušit zdroje pitné vody – zárezy. Zde je obzvláště důležitá komunikace s vlastníkem lesů. I přesto, že je to pro skupinu Severočeská voda obtížné, dokáže se s těmito problémy vyrovnat.



**Obr. 4. Vykácení lesního porostu**

## **Zpracování rizikových analýz v době pandemie**

Také skupina Severočeská voda se potýkala s celosvětovou pandemií Covid-19. Proto i hlavní odpovědné osoby musely přehodnotit způsob své práce při zpracování a schvalování rizikových analýz.

Způsob zpracování identifikace nebezpečí se nezměnil. Při organizaci místního šetření už ale docházelo ke změnám oproti zaběhlé praxi. Zvolené termíny se musely měnit v závislosti na častějších karanténách a izolacích zaměstnanců pracovní skupiny. Projednání rizikové analýzy pracovní skupinou probíhalo distančně. Stejně tak i schvalování rizikových analýz.

## **ZÁVĚR**

V rámci skupiny Severočeská voda má být odevzdáno ke schválení 202 provozních řádů. K 31. 12. 2021 bylo na KHS odesláno 93 provozních řádů, z toho 74 je jich již schváleno. Zpracování rizikových analýz je poměrně časově náročné. Velký rozdíl je při zpracování malých a skupinových vodovodů a při zpracování úpraven vod. Navzdory pandemické situaci se daří zpracovávat provozní řády včetně rizikových analýz.

## **SEZNAM LITERATURY**

1. Kožšek F., Pumann P., Šašek J., Jeligová H.: Metodický návod ke zpracování posouzení rizik systémů zásobování pitnou vodou podle zákona o ochraně veřejného zdraví. Státní zdravotní ústav Praha, Národní referenční centrum pro pitnou vodu. Verze 2 - 6. 9. 2018
2. Pumann P., Kožšek F., Jeligová H.: Aktuální přehled rizikové analýzy, resp. plánů pro zajištění bezpečného zásobování vodou: obsah, výhody zavedení, odborná podpora a rozšíření. Sborník konference Pitná voda 2016, s. 131-138. W&ET Team, Č. Budějovice 2016. ISBN 978-80-905238-2-1

# **ZKUŠENOSTI SE ZPRACOVÁNÍM PROVOZNÍCH ŘÁDŮ VODOVODŮ S RIZIKOVOU ANALÝZOU**

**Ing. Zdeňka JEDLIČKOVÁ, Ing. Luboš MAZEL**

VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s., Soběšická 820/156, Lesná, PSČ 638 00, Brno,  
Česká republika  
E-mail: [jedlickova@vasgr.cz](mailto:jedlickova@vasgr.cz), [mazel@vaszr.cz](mailto:mazel@vaszr.cz)

## **ÚVOD**

Dne 1. 11. 2017 nabyla účinnost novela zákona č. 258/200 Sb., o ochraně veřejného zdraví, která mimo jiné stanovila datum, do kterého mají být ke schválení KHS předloženy nově zpracovávané provozní řády vodovodů s posouzením rizik. S jakými problémy se setkáváme?

Provozní řády s posouzením rizik mají být předloženy KHS ke schválení nejpozději do 1. 11. 2023. Uvedený termín platí pouze v případech, kdy v provozu systému vodovodu není uskutečněna významná změna. Obsah PR je stanoven zákonem o ochraně veřejného zdraví, obsah a struktura posouzení rizik vyhláškou č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, obojí v platném znění.

Posouzením rizik mají být identifikovány nebezpečné události, které mají dopad na jakost a množství dodávané pitné vody spotřebitelům, má být odhadnuta jejich závažnost – míra nebezpečí. Posouzení rizik podle uvedené vyhlášky požaduje i stanovit nápravná a kontrolní opatření směřující k odstranění nebo zmírnění nepřijatelných rizik.

## **SITUACE VE VODÁRENSKÉ AKCIOVÉ SPOLEČNOSTI**

Provozní vodohospodářská společnost VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s. (dále VAS) provozuje, na základě smluv o pronájmu a provozování, vodohospodářský majetek ve vlastnictví svazků, měst a obcí. Majoritním akcionářem VAS je Svaz vodovodů a kanalizací měst a obcí s.r.o., který je 100% vlastněn svazky měst a obcí. Vytvořený zisk společnosti VAS je přerozdělován zpět vlastníkům, kteří jej využívají k financování obnovy jejich vodohospodářského majetku.

VAS zásobuje pitnou vodou přes 507 tisíc obyvatel ve více než 700 obcích. Provozuje přes 80 úpraven vod, přes 5100 km vodovodního potrubí. Nepříznivým trendem ve VAS je malý počet obyvatel připojených na délku provozované vodovodní sítě, v roce 2021 bylo na 1 km vodovodu připojeno pouze 99 obyvatel, zatímco v průměru celé ČR to je cca 128 obyvatel. Tento nepříznivý stav ovlivňuje u VAS budování dlouhých vodovodních přívaděčů a časté připojování spotřebičů s malým počtem obyvatel s nekvalitními a nedostatečnými zdroji vody ke skupinovým vodovodům.

Po vydání metodického doporučení SZÚ ke zpracování a vyhodnocování posouzení rizik začaly ve VAS práce na zavedení vlastní metodiky a vytvoření programu pro zpracování posouzení rizik. Vlastní program byl zpracován především z důvodu provozování vysokého počtu zásobovacích oblastí pitnou vodou, ve kterých naše společnost zajišťuje kompletní provoz. Jedná se o zpracování cca 144 provozních řádů (aktualizované číslo po odečtu počtu místních vodovodů, které jsou v současné době připojovány ke skupinovým vodovodům).

K vytvoření aplikace pro posouzení rizik systémů pro zásobování pitnou vodou byla použita tzv. třívrstvá architektura komunikace. To znamená, že klient komunikuje jen s aplikačním serverem pomocí WCF (Windows Communication Foundation) na http protokolu, a ne s centrální databází.

Požadavky na aplikaci pro zpracování posouzení rizik:

- Splnění všech požadavků legislativy a uživatelů.
- Flexibilita – rychlá adaptace na změny koncepce.
- Přístupnost aplikace všem požadovaným uživatelům ve VAS.
- Zajištění přístupových práv na čtení a na zápis.
- Ochrana práv uživatelů autentizací přihlášení.
- Bezpečnost a vysoká dostupnost komunikace.
- Minimalizace zatížení serveru centrální databáze PIS (provozně informační systém).
- Možnost práce OffLine.
- Optimalizace možnosti tvorby výstupních sestav.
- Zatížení centrálního serveru dat PIS řídí a optimalizuje aplikační server.
- Aplikační server zasílá a vyžádá si jen změny dat od poslední aktualizace.
- Aplikační server zajišťuje funkčnost systému i v případě výpadku PIS.

Pro někoho by se mohlo zdát, že na zpracování PŘ od vydání prováděcí vyhlášky je dostatek času, ale i kdyby byly zahájeny práce na vypracovávání PŘ ihned po nabytí účinnosti této vyhlášky, znamenalo by to u jedné z divizí, každých 27 dní vypracovat jeden PŘ, nehledě na rozsah vodovodního systému. Do těchto dnů jsou započítány i víkendy, svátky, dovolené. Přitom příchodem epidemie Covid-19 se činnosti na vyhotovení posouzení rizik několikrát přerušily z důvodu vládních a firemních omezení. V době nepříznivé epidemiologické situace nebylo žádoucí vykonávat společné pochůzky po objektech. Přesto bylo ve VAS do 2/2022 KHS schváleno 50 PŘ s posouzením rizik pro 48 zásobovacích oblastí pitnou vodou.

**Tab. 1. Přehled Provozních řádů**

<b>Přehled PŘ k 2/2022 vypracovaných podle zákona č. 258/2000 Sb., O ochraně veřejného zdraví v platném znění</b>	
V tabulce jsou údaje pro vodovody, na kterých je společností VAS zajištěn kompletní provoz.	
<b>Celkový plánovaný počet provozních řádů s RA</b>	144
<b>Počet schválených PŘ KHS</b>	
<b>celkem</b>	50
<b>2019</b>	7
<b>2020</b>	23
<b>2021</b>	18 (dva podruhé – 2019 + 2021)
<b>2/2022</b>	2

Pravděpodobně jako většina společností, jsme začali s vypracováváním PŘ s RA pro místní a samostatné vodovody, u kterých bylo zřejmé, že v následujících pěti letech nedojde ke změně ve způsobu provozování vodovodního systému. Následně se přešlo na skupinové vodovody. V letošním roce musíme uskutečnit práce na vodovodech s vodou, kterou dodáváme provozovatelům provozně souvisejících vodovodů (10 provozovatelů), abychom byly schopni předat vybrané části PŘ s relevantní částí posouzení rizik provozovatelům provozně souvisejících vodovodů.

## PŘÍPADY ZPRACOVÁNÍ PROVOZNÍCH ŘÁDŮ

S čím jsme se setkali a co nás čeká? Můžeme počkat s vypracování PŘ s posouzením rizik nebo již termín předložení nestihneme?

- a)** Nové zpracování PŘ s posouzením rizik:

Místní, samostatný nebo skupinový vodovod, u kterého nejsou předpokládány žádné významné změny.

- b)** Přepracovávání již nově zpracovaných PŘ s posouzením rizik – „neplánované“ realizovány významné změny v provozování zásobované oblasti u již nově schválených PR s RA:

Po kůrovcové kalamitě, ke které pomohlo jak teplé a suché počasí, tak pomalá reakce majitelů lesů na vzniklý stav, došlo v době zpracovávání posouzení rizik k výrazné těžbě dřeva a pojedolem těžké lesní techniky k poničení lesního terénu se zničením vyznačení ochranných pásem vodních zdrojů, ale v řadě případů i samotných jímacích zářezů. Následným příchodem sněhových a dešťových srážek došlo především v surové vodě v jímacích zářezech a mělkých studníkách k nárůstu hodnot u ukazatele dusičnanu a CHSK(Mn) (způsobeno huminovými látkami) (obr. 1).

Ve dvou případech jsme již podle platné legislativy museli přepracovat PŘ s posouzením rizik z důvodu výše uvedených náhlých změn v jakosti vody. V jednom případě došlo k instalaci nové technologie na odstranění dusičnanů z vody (obr. 2, obr. 3), v druhém případě k vybudování a zprovoznění nového JO – vrtu a doplnění technologie původní ÚV o tlakové nádrže s GAU z důvodu výskytu pesticidních látok v novém vrtu (obr.4).

- c)** Přepracovávání již nově zpracovaných PŘ s posouzením rizik – „plánované“ – jedná se o nově vypracované PŘ vodovodů, u kterých v době zpracování PŘ bylo známo, že jsou plánovány v provozování vodovodu významné změny, ale nebyl znám přesný termín realizace těchto změn. (Zpracování PŘ bylo uskutečněno z důvodu vysokého počtu vodovodů, na kterých jsou v současné době prováděny významné změny, tj. na některých SV se muselo začít s vědomím, že budou po ukončení prací PR přepracovávány):

Byl schválen PŘ s RA skupinového vodovodu s vloženým odstavcem plánovaných změn v provozu SV (např. připojení místních /samostatných/ vodovodů ke skupinovému vodovodu z důvodu nevyhovující kvality či kvantity vody, napojení a zprovoznění nového zdroje atd.). V současné době realizace stavby probíhá, po jejím ukončení se bude muset nově schválený PŘ přepracovat.

- d)** Zpracování PŘ s posouzením rizik – vysoký počet vodovodů, ve kterých dochází ke smíchání vyrobené vody z vlastních zdrojů s vodou dodanou jiným provozovatelem (s provozovatelem jiného zdroje dlouhodobé, dobré zkušenosti; provozovatel dodávané vody v případě změny v provozování /plánované či způsobené havárií/ naší společnost informuje; známe data o jeho zdroji surové vody, o dávkovaných CHLaS, o základních omezeních na síti):

Z důvodu množství zásobovaných oblastí a časové náročnosti nelze čekat na dodání vybraných částí PŘ s relevantní částí posouzení rizik provozovatelem provozně souvisejícího vodovodu. Na předávacím místě řešíme následující události:

např. nedostatečné informace o změně jakosti vody přebírané od jiného provozovatele. Zhoršení jakosti vody od jiného provozovatele. Omezení dodávky přebírané vody od jiného provozovatele. (Př. č. 7 vyhlášky č. 252/2004 Sb., v platném znění: V případě více provozatelů SV se posouzení rizik vypracovávají takovým způsobem, aby na sebe posouzení rizik jednotlivých částí systému obsahově i časově navazovala, nevylučují-li to objektivní okolnosti.)

- e)** Zpracování PŘ s posouzením rizik – nově provozované vodovody (vodovod s vlastním zdrojem vody):

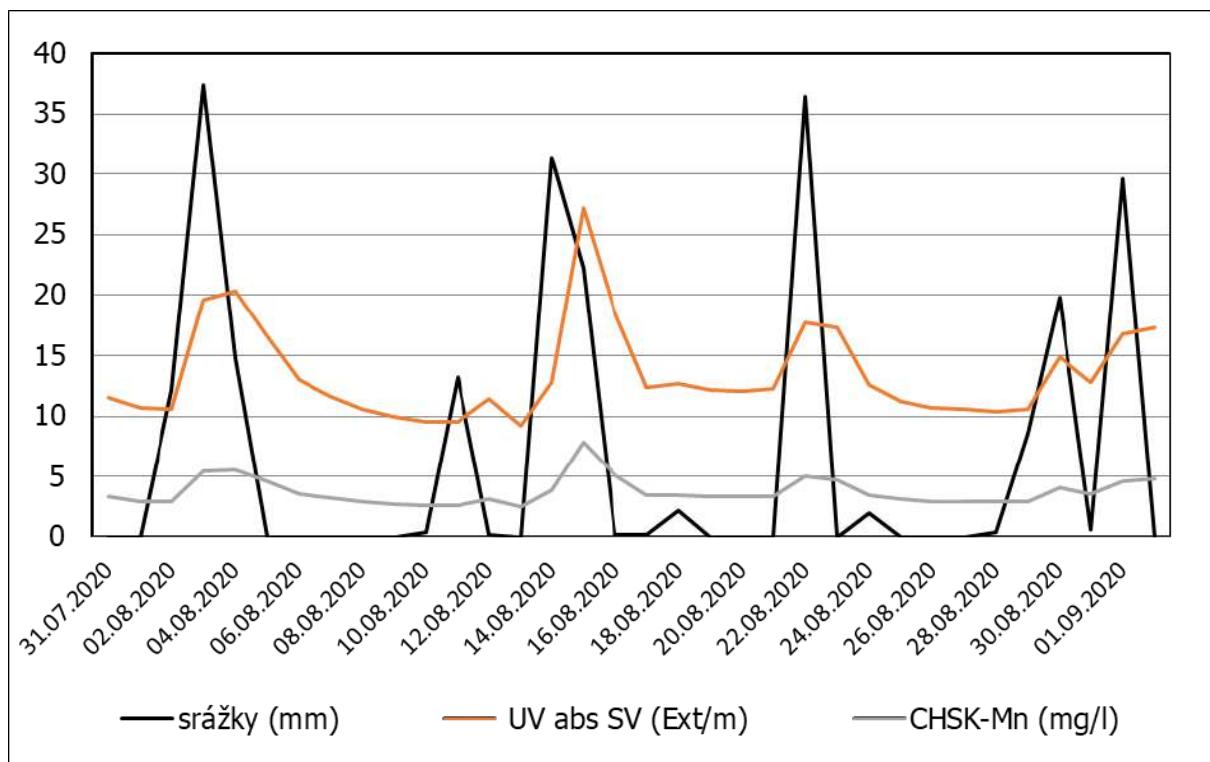
V některých případech se při přebírání provozu vodovodu setkáváme s absencí části dokumentů, dokladů, dat. Dá se konstatovat, že dřívější provozovatel nezvládl pojmut všechny požadavky legislativy týkající se zákonů např. o ochraně veřejného zdraví, o vodách, o vodovodech a kanalizačích, atomového zákona. Jako nový provozovatel se musíme s provozem seznámit, vyhledat potřebné dokumenty, případně si provést aktuální rozbory vody. Až následně lze vypracovávat PŘ s posouzením rizika.

- f)** Zpracování PŘ s posouzením rizik – vodovody s převzatou vodou:

Čekání na předání vybrané části PŘ s relevantní částí posouzení rizik od provozovatele provozně souvisejícího vodovodu. Kdy údaje obdržím?

- g)** Zpracování PŘ s posouzením rizik – nově provozované vodovody (vodovod s vodou dodávanou přes např. dva provozně související vodovody):

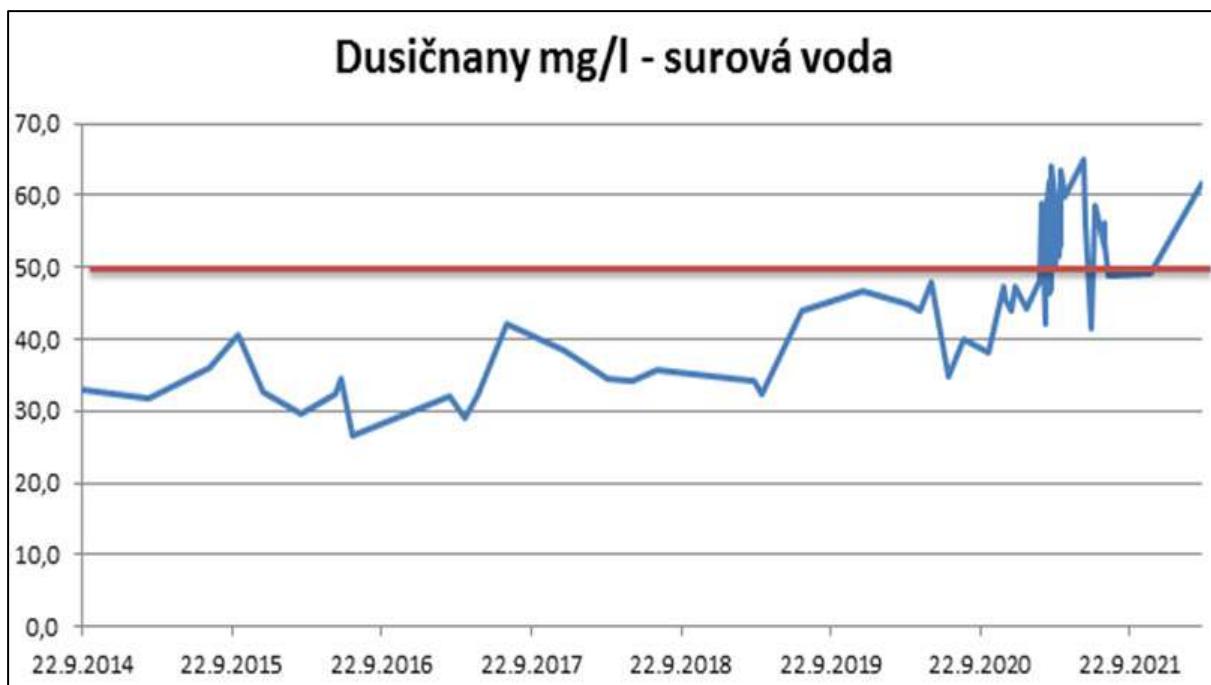
K bodu **e)** (seznámení s nově provozovaným vodovodem) musíme přiřadit i bod **f)** (předání vybraných částí PŘ s relevantní částí posouzení rizik od provozovatelů provozně souvisejících vodovodů). V současné době není reálné v krátké době tyto informace od provozovatelů provozně souvisejících vodovodů získat. Jako nový provozovatel však máme povinnost předložit PŘ s posouzením rizik.



Obr. 1. Výsledky naměřených hodnot po osazení analyzátoru: dešťové srážky ( $\Sigma$  za den), surová voda – UV absorbance, CHSK(Mn) (průměr za den)



Obr. 2. Technologie na odstranění dusičnanů



**Obr. 3. Vývoj hodnot u ukazatele dusičnany v surové vodě MV (schválení PŘ s RA – rok 2019–2021)**



**Obr. 4. Instalace tlakových filtrů s GAU**

## CÍLE PŘI ZPRACOVÁNÍ PROVOZNÍCH ŘÁDŮ

Zpracování PŘ s posouzením rizik, pokud chceme odvést smysluplnou práci a opravdu zkontrolovat všechny objekty související s výrobou a dodávkou pitné vody, je časově náročnou záležitostí. Nejedná se jen o kontrolu objektů, ale rovněž o zamýšlení jakým způsobem vylepšit současný stav, o prověření dříve nashromážděných dat (jakost surové, pitné vody, tlakové poměry, ztráty vody, data o poruchách a haváriích, ale i v minulosti obdržené podněty od spotřebitelů vody, vyhodnocení a optimalizace prováděných provozních, údržbových a kontrolních činností...). Necelých pět let na zpracování PŘ s tak vysokým počtem zásobovacích oblastí, u nichž je velmi rozmanitá struktura, je krátká doba. Především frustrující je skutečnost, že do 1. 11. 2023 mají být předloženy i PŘ, které se budou krátce po tomto datu, z důvodu provedení významných změn v systému vodovodu, opět aktualizovat.

S časovou náročností vypracování PŘ bychom chtěli upozornit na to, že i některé legislativní kroky proběhly s určitou časovou prodlevou. Rovněž omezení pracovní činnosti vyhlášené vládou ČR i samotnými vodárenskými společnostmi, nás zbrzdily při zpracování PŘ s posouzením rizik systému zásobování vodou.

### Sled událostí:

- Dne 1. 11. 2017 nabyla účinnost novela zákona č. 258/2000 Sb. pojednávající o novém obsahu PŘ.
- Novela prováděcí vyhlášky č. 252/2004 Sb., do které byl vložen požadavek na obsah a strukturu posouzení rizik, způsob hodnocení pravděpodobnosti výskytu nebezpečí, způsob hodnocení následků nebezpečí pro kvalitu vody a její dodávku a způsob stanovení míry rizika, byla vydána dne 27. 4. 2018. Účinnost nabyla dnem vyhlášení.
- V roce 2018 byly vydány metodické pokyny ke zpracování posouzení rizik, probíhala školení a v naší společnosti byl zpracováván program na vypracování posouzení rizik.
- Od února 2020 do března 2022, kromě letních měsíců červen až srpen, byla v naší společnosti, kvůli výskytu nového infekčního onemocnění Covid-19 v ČR, omezena činnost při zpracování provozních řádů s posouzením rizik, a to z důvodu omezení kontaktů s osobami.
- Povinnost předložit návrh provozního řádu s posouzením rizik ke schválení příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví do 1. 11. 2023.

## ZÁVĚRY

Je nám známo, že má být uskutečněna novela aktuálního znění zákona o ochraně veřejného zdraví.

Při přezkumném řízení této novely bychom rádi, prostřednictvím např. SOVAKU ČR, navrhli vložit do zákona z výše uvedených důvodů následující body:

- Oddálení termínu předložení návrhu provozního řádu s posouzením rizik.
- Prodloužit dobu přezkumu u PŘ s posouzením rizik, u kterých nedošlo ke změně podmínek provozu z maximálně pěti na šest let. V případě potřeby vyplývající z přezkumu PŘ aktualizovat a předat jej k novému schválení příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví. (Ve SMĚRNICI EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2020/2184 ze dne 16. Prosince 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě (přepracované znění) je uvedeno: Článek 7 - Přístup k bezpečné vodě založený

na posouzení rizik, odstavec 5) Posouzení a řízení rizik systému zásobování vodou se provede poprvé do 12. ledna 2029. Toto posouzení a řízení rizik se pravidelně přezkoumává nejméně jednou za šest let a v případě potřeby se aktualizuje).

- Legislativně se vypořádat s povinností předání vybraných částí PŘ s relevantní částí posouzení rizik provozovateli provozně souvisejícího vodovodu. (Kdy? V jaké fázi – až po schválení PŘ příslušným OOVZ? Co když nebudou informace předány?)

## **SEZNAM LITERATURY**

1. Zákon č. 258/2000 Sb., Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, v platném znění
2. Vyhláška č. 252/2004 Sb., Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, v platném znění
3. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2020/2184 ze dne 16. 12. 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě (přepracované znění)

# VÝSLEDKY NÁRODNÍHO MONITORINGU VÝSKYTU PFAS V PITNÉ VODĚ V ČR

Ing. Filip KOTAL, Ph.D.<sup>1)</sup>, Ing. Darina DVOŘÁKOVÁ, Ph.D.<sup>2)</sup>,  
MUDr. František KOŽÍSEK, CSc.<sup>1)</sup>, prof. Ing. Jana PULKRABOVÁ, Ph.D.<sup>2)</sup>,  
MUDr. Hana JELIGOVÁ<sup>1)</sup>, Ing. Lenka MAYEROVÁ, Ph.D.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Státní zdravotní ústav, Oddělení hygieny vody, Šrobárova 49/48, Praha 10,

<sup>2)</sup> VŠCHT Praha, Ústav analýzy potravin a výživy, Technická 5, Praha 6

E-mail: [filipt.kotal@szu.cz](mailto:filipt.kotal@szu.cz)

## ÚVOD

Perfluoralkylované součeniny (PFAS) v současnosti představují velkou skupinu organických látek s potenciálem jako globální znečišťující látky životního prostředí. PFAS se také nacházejí ve vzorcích lidských tkání, jako je krev a sérum. Tato zjištění potvrzují potenciál expozice lidí souvisejících s PFAS a výsledné zdravotní následky, které může neúmyslná expozice způsobit. PFAS se používají ve velkém množství komerčních a průmyslových aplikací, včetně repellentů proti skvrnám (voda a oleje), fumigačních činidel v hasicích pěnách, pesticidů, nátěrů, balení potravin atd.

První vědecký důkaz zdravotních rizik asociace s PFAS byla popsána již v roce 1989 pro kyselinu perfluorodekanovou [1]. Hlavní zájem vědců včetně hodnocení rizik se soustřeďuje na kyselinu perfluoroktansulfonovou (PFOS) a kyselinu perfluoroktanovou (PFOA) a jejich toxickejší potenciál pro expozici člověka, který byl potvrzen pro PFOA v roce 1989 [2] a pro PFOS v roce 2004 [3]. Globální environmentální distribuce PFOS a PFOA byly hlášeny 3 roky po potvrzení jejich vlivu na životní prostředí a na člověka [4]. V roce 2010 vyzval EFSA členské státy, aby sledovaly přítomnost PFOS a PFOA, jejich prekurzorů a dalších PFAS s různou délkom řetězce v potravinách a mateřském mléce [5]. Nedávné studie ukázaly, že potenciální zdravotní dopady expozice PFOA/PFOS zahrnují nízkou porodní váhu kojenců, sníženou plodnost, zvýšené hladiny krevního cholesterolu, abnormální hladiny hormonů štítné žlázy, zánět jater, oslabení imunitního systému a rakovinu varlat a ledvin. V roce 2020 zveřejnil EFSA aktualizované hodnocení zdravotních rizik vyplývající z expozice hlavním PFAS. CONTAM Panel EFSA stanovil tolerovatelný týdenní příjem (TWI) pro sumu čtyř látek (PFOA, PFNA, PFHxS a PFOS) ve výši pouhých 4,4 ng/kg tělesné hmotnosti (bw) za týden. Tato hodnota je odvozena pro nejkritičtější účinek (účinek pozorovaný při nejnižší expozici) – oslabení imunitního systému. Vedle ryb a rybích produktů považuje EFSA za hlavní potravní zdroj lidské expozice PFAS také ovoce a ovocné výrobky a vejce a vaječné výrobky.

PFAS se mohou dostat do vodného prostředí a v konečném důsledku kontaminovat vodu z vodovodu různými způsoby. Průmyslová odvětví likvidují své odpady obsahující PFAS do odpadních vod, které následně kontaminují řeky nebo dokonce infiltrují do okolních podzemních vod. Mnoho systémů veřejného zásobování pitnou vodou využívá k výrobě pitné vody místní zdroje povrchové a podzemní vody. Bohužel, standardní zařízení na úpravu pitné vody dnes nejsou navržena pro účinné odstraňování PFAS.

Kvůli jejich fyzikálně-chemickým vlastnostem, environmentálnímu chování a stabilitě dosahují konvenční zbytky PFAS koncentrací v ppb či dokonce ppm v povrchových vodách. Pro sanaci PFAS v kontaminovaných lokalitách (letiště, průmyslové areály) se v současnosti používá řada konvenčních technologií pro odstraňování PFAS ze znečištěného vodného prostředí [6–9].

Účinnost je však různá a silně závislá na použitých sorbentech. Jsou identifikovány různé provozní a technologické problémy spojené s odstraňováním PFAS z kontaminovaných vod [8]. K čištění a retenci je proto nutné použít aktivní strategie [8]. Několik studií již prokázalo, že vhodnou volbou může být nanofiltrace nebo ultrafiltrace pro úpravu pitné vody.

Tato technika také v kombinaci s aniontovou výměnou (nebo granulovaným aktivním uhlím) snížila kontaminaci PFAS, ale žádná nedosahuje dostatečné účinnosti odstranění pro všechny PFAS, zejména ty s krátkými alkylovými řetězci.

Nová Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/2184 ze dne 16. prosince 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě, která musí být transponována do národní legislativy do 12. 1. 2023, poprvé zařazuje látky typu PFAS mezi povinně sledované ukazatele pitné vody. Jedná se o ukazatel „Suma PFAS“ s limitem 100 ng/l (0,10 µg/l). Pod pojmem „suma PFAS“ se rozumí suma 20 konkrétních PFAS považovaných za znepokojivé, které jsou uvedeny v seznamu v příloze III části B směrnice. Látky PFAS, které bude povinné sledovat v rámci úplných rozborů, uvádí tabulka (tab. 1).

**Tab. 1. Seznam PFAS, které bude povinné sledovat v rámci úplných rozborů a které tvoří ukazatel „suma PFAS“**

Analyt	Zkratka	CAS No
Perfluoro-n-butanoic acid	PFBA	375-22-4
Perfluoro-n-pentanoic acid	PFPeA	2706-90-3
Perfluoro-n-hexanoic acid	PFHxA	307-24-4
Perfluoro-n-heptanoic acid	PFHpA	375-85-9
Perfluoro-n-octanoic acid	PFOA	335-67-1
Perfluoro-n-nonanoic acid	PFNA	375-95-1
Perfluoro-n-decanoic acid	PFDA	335-76-2
Perfluoro-n-undecanoic acid	PFUnDA	2058-94-8
Perfluoro-n-dodecanoic acid	PFDoDA	307-55-1
Perfluoro-n-tridecanoic acid	PFTrDA	72629-94-8
Perfluoro-n-butanesulfonic acid	PFBS	375-73-5
Perfluoro-n-pentanesulfonic acid	PFPeS	2706-91-4
Perfluoro-n-hexanesulfonic acid	PFHxS	355 46 4
Perfluoro-n-heptanesulfonic acid	PFHpS	375-92-8
Perfluoro-n-octanesulfonic acid	PFOS	1763-23-1
Perfluoro-n-nonanesulfonic acid	PFNS	68259-12-1
Perfluoro-n-decanesulfonic acid	PFDS	335-77-3
Perfluoro-n-undecanesulfonic acid	PFUnDS	749786-16-1
Perfluoro-n-dodecanesulfonic acid	PFDoDS	79780-39-5
Perfluoro-n-tridecanesulfonic acid	PFTrDS	791563-89-8

Vzhledem k nedostatečným znalostem o výskytu a koncentracích PFAS v pitných vodách v ČR zahájil Státní zdravotní ústav ve spolupráci s Vysokou školou chemicko-technologickou v roce 2021 pilotní projekt národního monitoringu výskytu PFAS v pitných vodách v ČR.

## METODIKA

V první fázi projektu byla validována analytická metoda pro 29 PFAS. Metoda využívá pro zakoncentrování analytů techniku extrakce na pevnou fázi (Strata X-AW, Phenomenex, USA). Vlastní LC/MS stanovení bylo provedeno za použití systému LC 1290 Infinity spojeného s Triple Quadrupole G6495A (Agilent Technologies, USA) s negativní elektrosprejovou ionizací. Separace analytů byla provedena na koloně Acquity BEH C18 (100 × 2,1 mm; 1,7 µm; Waters, USA) s mobilní fází s obsahem 5 mM octanu amonného ve vodě a methanolu. Výtěžky PFAS ležely v rozmezí 71 až 120 % s opakovatelností vyjádřenou jako relativní standardní odchylka nižší než 20 %. Meze kvantifikace se pohybovaly v rozmezí 0,02 – 0,5 ng/l. V rámci přípravné fáze byl rovněž testován postup přípravy vzorkovnic pro vlastní odběr. Jako nezbytné se ukázalo použití skleněných zábrusových láhví, které byly po mytí prostředkem Neodisher ještě následně vypláchnuty methanolem pro LC/MS. Následně bylo ještě sklo vyžíháno.

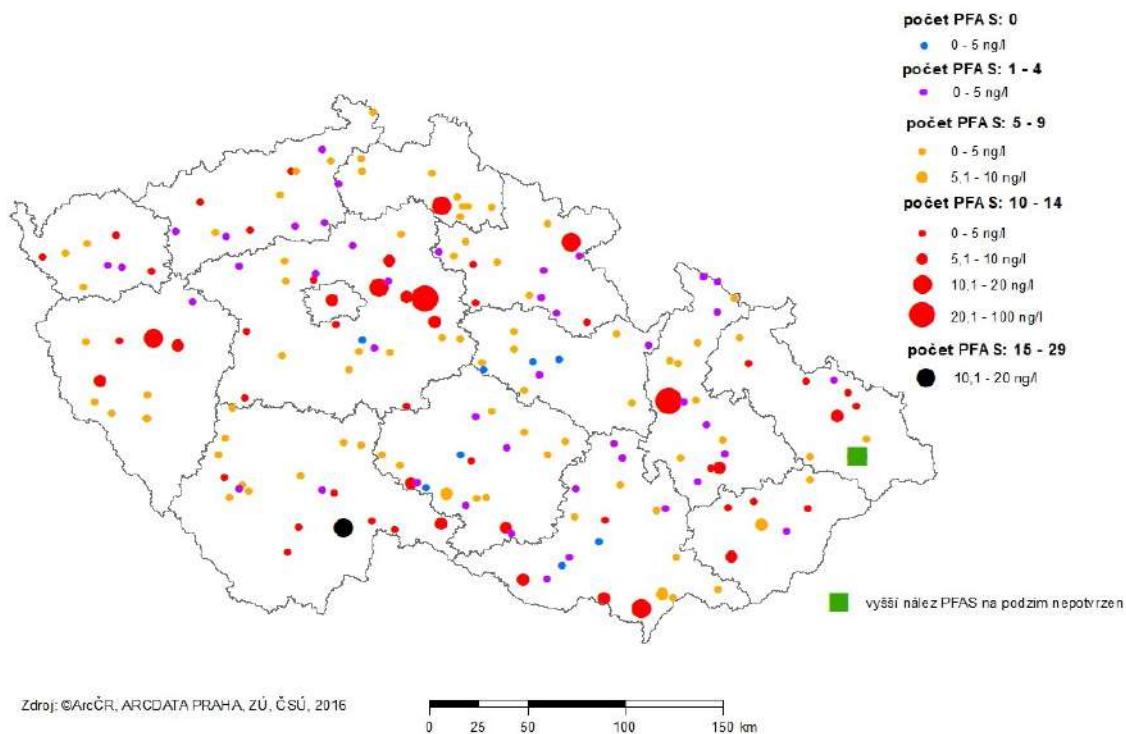
Vlastní sběr vzorků pitné vody o objemu 500 ml byl realizován ve dvou etapách. První etapa proběhla v období duben–srpen 2021. V tomto období byl proveden odběr vzorků pitné vody ze 185 vodovodů vybraných tak, aby reprezentovaly strukturu zásobování pitnou vodou obyvatelstvo České republiky. Při vytipování jednotlivých odběrných míst byly uvažovány proměnné, jako jsou zdroje surové vody (voda povrchová, podzemní, smíšená), velikost vodovodu, zastoupení všech krajů ČR.

Druhá etapa proběhla od listopadu do prosince 2021. V tomto období bylo vzorkováno 37 vytipovaných lokalit, kde jsme předpokládali zvýšené nálezy PFAS. Jednalo se o vodovody poblíž významných zdrojů znečištění, jako jsou chemický průmysl, automobilky, okolí velkých letišť, dalšími zdroji informací byly výsledky monitoringu povrchových a podzemních vod prováděných v minulosti ČHMÚ. Zároveň byly opakovány odběry vody v 15 vodovodech, kde byly během první etapy zjištěny nejvyšší nálezy.

## VÝSLEDKY

V první fázi projektu zaměřeného na plošný screening PFAS v pitné vodě v České republice bylo vzorkováno 185 vodovodů. Zjištěné sumární koncentrace PFAS jsou relativně nízké v řádu jednotek maximálně desítek ng PFAS/l. Průměrná hodnota celkového obsahu PFAS v pitné vodě byla 2,4 ng/l, medián 0,8 ng/l. Celkem 14 vzorků (8 %) obsahovalo sumu PFAS v řádu desítek ng/l. Maximální hodnota celkového množství PFAS stanovená v tomto reprezentativním souboru měla hodnotu 24 ng/l, tedy asi čtvrtinu limitní hodnoty. V 7 % procentech vodovodů se všech 20 látek PFAS leželo pod mezí stanovitelnosti analytické metody. Mezi látky s největší četností patřily PFBA, PFPeA, PFHxA, PFOA a PFOS.

Obrázek (obr.1) ukazuje souhrnně nálezy PFAS na jednotlivých odběrových místech v první fázi projektu – reprezentativním screeningu. Z obrázku jsou patrné nejen sumární koncentrace PFAS, ale i počty PFAS nad mezí stanovitelnosti nalezené v pitné vodě z jednotlivých odběrných míst.

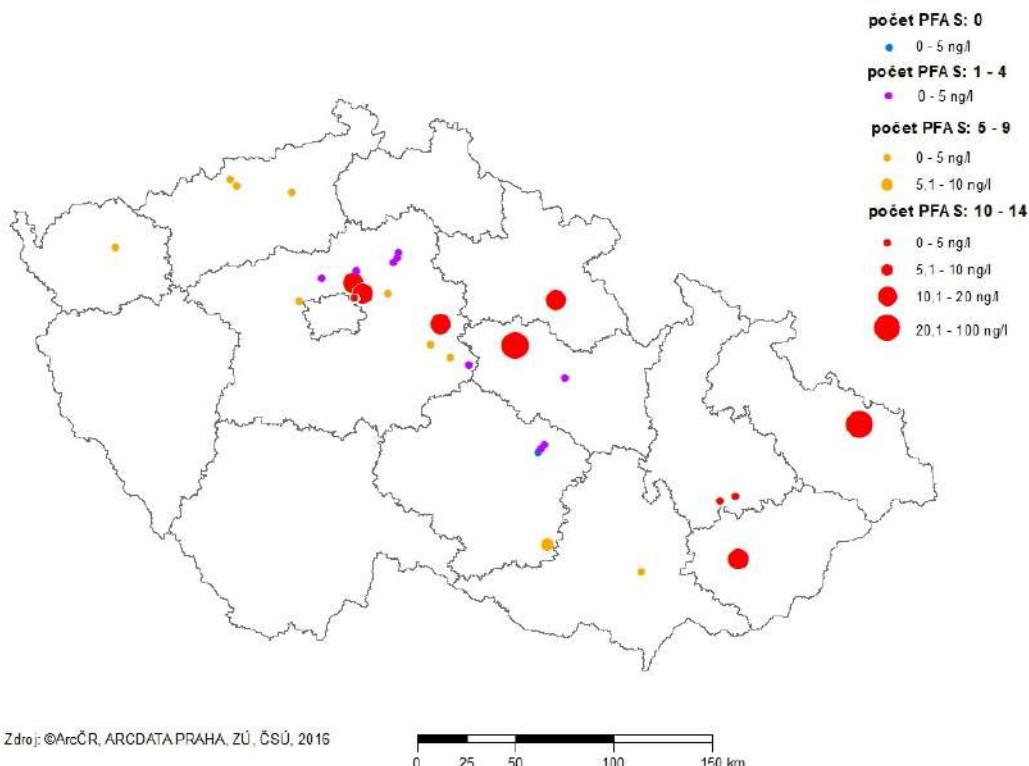


**Obr. 1. Sumární koncentrace a počty PFAS nalezené během první fáze projektu ve vybraných vodovodech v ČR**

V druhé fázi projektu byly opakovány testovány vodovody, kde hladina kontaminace PFAS v předchozí etapě překročila 10 ng/l. Výsledky opakových odběrů z míst s vyšší koncentrací PFAS testovaných v první fázi potvrdily naše domněnky o možné kontaminaci zdrojů pitné vody umístěných v okolí říčních toků, které procházejí průmyslovými oblastmi. Rovněž mohou být těmito látkami ovlivněny lokální zdroje pitné vody umístěné podél řek a ty, které jako zdroj vody využívají vodu povrchovou.

Zároveň byly vzorkovány i vodovody, jejichž zdroje surové vody mohly být teoreticky kontaminovány PFAS. Byly nalezeny dvě komerční studny s vodou s vysokými obsahy PFAS. Suma PFAS v případě vyššího nálezu reprezentovala cca 91 % limitní hodnoty. V nálezech dominovaly mezi PFAS stejné látky jako v předchozí etapě.

Obrázek (obr. 2) reprezentuje pohled na sumu PFAS nalezenou ve vybraných vodovodech a komerčních studních v ČR, které se jevily jako potenciálně kontaminované PFAS.



**Obr. 2. Sumární koncentrace a počty PFAS nalezené během druhé fáze projektu ve vybraných vodovodech a komerčních studních v ČR, které se podle blízkých zdrojů znečištění jevily jako potenciálně kontaminované PFAS**

## DISKUSE

Získané výsledky naznačují, že stopové znečištění životního prostředí látkami PFAS je i v České republice prakticky všudypřítomné, protože nějaký nález nadmezí stanovitelnosti byl učiněn u více než 90 % sledovaných vodovodů. Jakými cestami se tyto látky do vodních zdrojů dostávají a které z těchto cest jsou v podmírkách ČR nejdůležitější, zůstává dosud otevřenou otázkou. Protože většina vzorkovaných míst v první fázi našeho šetření se shodovala s místy vzorkovanými v rámci reprezentativního screeningu pesticidních látok v roce 2017 [10], zajímalo nás, zda je mezi výskytem těchto skupin látok nějaká korelace, která by mohla svědčit, když už ne o cestách znečištění, tak aspoň o mře, s jakou je určitý podzemní zdroj chráněn. Připomínáme, že ve screeningu pesticidů bylo prosto jakýchkoli nálezů cca 25 % sledovaných vodovodů. Žádnou významnou korelací jsme však nenalezli.

Z hlediska provozovatele vodovodů a limitu nastaveného EU směrnicí (100 ng/l) se zdají být výsledky screeningu látok PFAS poměrně příznivé, protože s výjimkou dvou komerčních studní nacházejících se uprostřed velkých měst (z nichž jedna se už ani k pitným účelům nepoužívá) byly všechny nálezy na úrovni maximálně 1/4 tohoto limitu, ale spíše ještě mnohem nižší. Jak ale již bylo naznačeno v úvodu, ne všech 20 látok zahrnutých do sumy PFAS je stejně toxikologicky závažných. Znepokojení budí zejména kyseliny perfluoroktansulfonová (PFOS) a perfluoroktanová (PFOA). Kdybychom z extrémně nízkého bezpečného celkového týdenního příjmu, který nedávno pro sumu čtyř PFAS (PFOA, PFNA, PFHxS a PFOS) stanovil Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA), odvodili standardním postupem podle WHO limitní hodnotu v pitné vodě (hmotnost člověka 65 kg, 20% alokace

na pitnou vodu a spotřeba vody 2 l denně), dostáváme se na úroveň jednotek ng/l. Konkrétně pak k limitu 4 ng/l pro sumu čtyř výše uvedených látek. S tímto limitem by již mělo problém 17 ze sledovaných vodovodů. Vzhledem k obavám z jejich toxicity uvažuje několik zemí EU – navzdory limitu EU pro sumu 20 PFAS – o stanovení limitní hodnoty pro čtyři PFAS hodnocené EFSA ve výši okolo 5 ng/l.

## ZÁVĚRY

Z uvedených výsledků provedeného screeningu látek typu PFAS se zatím zdá, že suma PFAS v pitné vodě v ČR nedosahuje takové úrovně, aby bylo nutné se obávat významného překračování limitní hodnoty tohoto ukazatele v pitné vodě. Mohou existovat lokální zdroje, ve kterých bude zjištěna vyšší hladina kontaminace PFAS. To prokáží teprve v budoucnu prováděné úplné rozbory vody, které budou zahrnovat i stanovení sumy PFAS v pitné vodě.

Panuje však určitá nejistota, zda limitní hodnota sumy PFAS nastavená novou směrnicí 2020/2184 je bezpečná i pro látky PFOA a PFAS, jejichž hygienický limit by se měl podle posledních poznatků pohybovat v řádu jednotek ng/l.

## SEZNAM LITERATURY

1. Harris, M.W. and L.S. Birnbaum, Developmental toxicity of perfluorodecanoic acid in C57BL/6N mice. *Fundam Appl Toxicol*, 1989. 12(3): p. 442-8.
2. Just, W.W., et al., Biochemical effects and zonal heterogeneity of peroxisome proliferation induced by perfluorocarboxylic acids in rat liver. *Hepatology*, 1989. 9(4): p. 570-81
3. Inoue, K., et al., Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and related perfluorinated compounds in human maternal and cord blood samples: assessment of PFOS exposure in a susceptible population during pregnancy. *Environ Health Perspect*, 2004. 112(11): p. 1204-7
4. Giesy, J.P. and K. Kannan, Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife. *Environ Sci Technol*, 2001. 35(7): p. 1339-42
5. Llorca, M., et al., Infant exposure of perfluorinated compounds: levels in breast milk and commercial baby food. *Environ Int*, 2010. 36(6): p. 584-92.
6. Askeland, M., et al., Biochar sorption of PFOS, PFOA, PFHxS and PFHxA in two soils with contrasting texture. *Chemosphere*, 2020. 249: p. 126072.
7. Hepburn, E., et al., Contamination of groundwater with per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from legacy landfills in an urban re-development precinct. *Environ Pollut*, 2019. 248: p. 101-113
8. Darlington, R., E. Barth, and J. McKernan, The Challenges of PFAS Remediation. *Mil Eng*, 2018. 110(712): p. 58-60
9. Hale, S.E., et al., Sorbent amendment as a remediation strategy to reduce PFAS mobility and leaching in a contaminated sandy soil from a Norwegian firefighting training facility. *Chemosphere*, 2017. 171: p. 9-18
10. Kotal, F., et al., Monitoring of pesticides in drinking water: finding the right balance between under- and over-monitoring – experience from the Czech Republic. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2021, 23: 311-322.

# **ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ EDTA ZE SUROVÉ VODY (Z ŘEKY ÚHLAVY) V PROCESU ÚPRAVY NA ÚV PLZEŇ**

**Ing. Martina KLIMTOVÁ**

VODÁRNA PLZEŇ a. s., Malostranská 143/2, 317 68 Plzeň  
E-mail: [martina.klimtova@vodarna.cz](mailto:martina.klimtova@vodarna.cz)

## **ÚVOD**

Mezi největší provozované úpravny vody (ÚV) VODÁRNY PLZEŇ jednoznačně patří ÚV Plzeň, která pro západočeskou metropoli a její blízké okolí upravuje povrchovou vodu z řeky Úhlavy do kvality vody pitné. Komplex ÚV Plzeň, spolu s jímacím objektem, je situován v dolním toku řeky, zhruba 108 km od jejího pramene. Není tedy překvapením, že do technologické linky

ÚV Plzeň vstupuje surová voda, která kromě přirozených složek má velmi pestré zastoupení specifických organických a anorganických produktů z různých odvětví průmyslu, látek používaných v zemědělství, farmak, látek osobní léče aj. VODÁRNA PLZEŇ (VP) od roku 2013 spolupracuje s vodohospodářskou laboratoří Povodí Vltavy (PV) na projektu „Monitoring vybraných pesticidních látek, farmak a prostředků osobní péče v povodí řeky Úhlavy“. Skupina sledovaných látek v surové vodě, nad rámec požadovaných ukazatelů platné legislativy, je oběma zainteresovanými stranami každoročně aktualizována s ohledem na zjištěné výsledky v předchozím období a také s ohledem na možnosti laboratoře Povodí Vltavy.

Jednou z koncentračně nezanedbatelných látek z koktejlu říční vody na vstupu do ÚV Plzeň je kyselina etylendiamintetraoctová (EDTA). EDTA obecně patří mezi průmyslově vyráběné syntetické látky a díky svým komplexačním schopnostem má široké využití v celé řadě odvětví; najdeme ji v kosmetických přípravcích, je součástí pracích prostředků, mýdel, šamponů, je používána v potravinářství, v zemědělství atd. S ohledem na přítomnost EDTA v běžných prostředcích denní potřeby se v povrchové vodě z Úhlavy řadí mezi antropogenní látky s vysokou koncentrací.

Zmodernizovaná technologická linka ÚV Plzeň odpovídá skladbou úpravárenských procesů kvalitě vstupní surové vody. V následujícím textu budou prezentovány provozní zkušenosti s odstraňováním EDTA v procesu úpravy ÚV Plzeň.

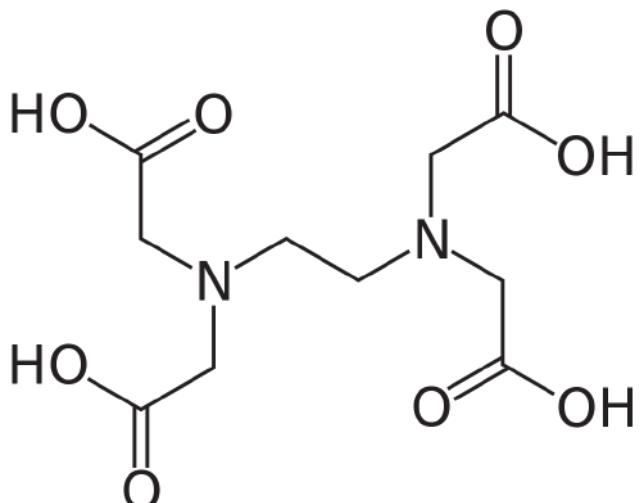
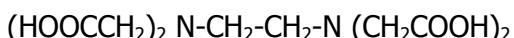
## **Monitoring vybraných látek v povodí Úhlavy**

Projekt „Monitoring vybraných pesticidních látek, farmak a prostředků osobní péče (PPCPs) v povodí řeky Úhlavy“, na kterém od roku 2013 aktivně spolupracuje VP s laboratoří PV, se postupem času měnil a vyvíjel. Zpočátku spolupráce byl monitoring zacílen na pesticidní látky a jejich metabolismu přítomné v povodí Úhlavy a postupně se skupina sledovaných látek rozšiřovala o další analyty.

Směr vývoje monitoringu vodárenského zdroje v horizontu devíti let byl udáván rozvojem laboratorní techniky, analytické metodiky, legislativními požadavky na kvalitu surové a potažmo upravené vody, a především dlouholetými zkušenostmi a znalostmi problematiky povodí Úhlavy [1]. V rámci součinnosti obou spolupracujících subjektů je každoročně aktualizován program tak, aby získané informace umožnily optimální roční vyhodnocení. Sledování výskytu EDTA v řece Úhlavě probíhá v rámci projektu od roku 2018.

### **EDTA obecně**

EDTA patří do skupiny polyaminokarboxylových kyselin, velice stabilní molekula EDTA je substituovaný diamin tetraoctové kyseliny (obr. 1).



**Obr. 1. Strukturní vzorec EDTA**

Příznivé vlastnosti syntetické EDTA, především silné komplexační schopnosti, způsobily od jejího objevu její masivní výrobu a použití v domácnostech, potravinářském, papírenském průmyslu, farmaci, lékařství, zemědělství aj. EDTA ochotně vytváří komplexní sloučeniny s ionty kovů, což je ve značné míře využíváno při odstraňování tvrdosti vody. EDTA je proto součástí detergentů, mycích a pracích prostředků. V kosmetických přípravcích a produktech potravinářství zastává složka EDTA funkci stabilizační a konzervační látky [2].

Chelatačních schopností EDTA se také využívá v medicíně při odstraňování těžkých kovů z tkání, v buněčné a molekulární biologii. Další oblastí použití je agrochemie, kde je EDTA používána jako nosič mikronutrientů – kovů a hráje důležitou roli při přijímání základních prvků v hnojivech [3].

Hojné zastoupení EDTA v aktivně používaných prostředcích má za následek její emise do odpadní vody. Vnos EDTA do vodního prostředí z dominantních oblastí jejího použití jako jsou odvětví průmyslu je významný, nicméně používání produktů každodenní potřeby populací má za následek přímého a trvalého vstupu EDTA do vodních toků. EDTA patří mezi antropogenní látky s nejvyššími koncentracemi pozorovanými ve vnitrozemských evropských vodách [3].

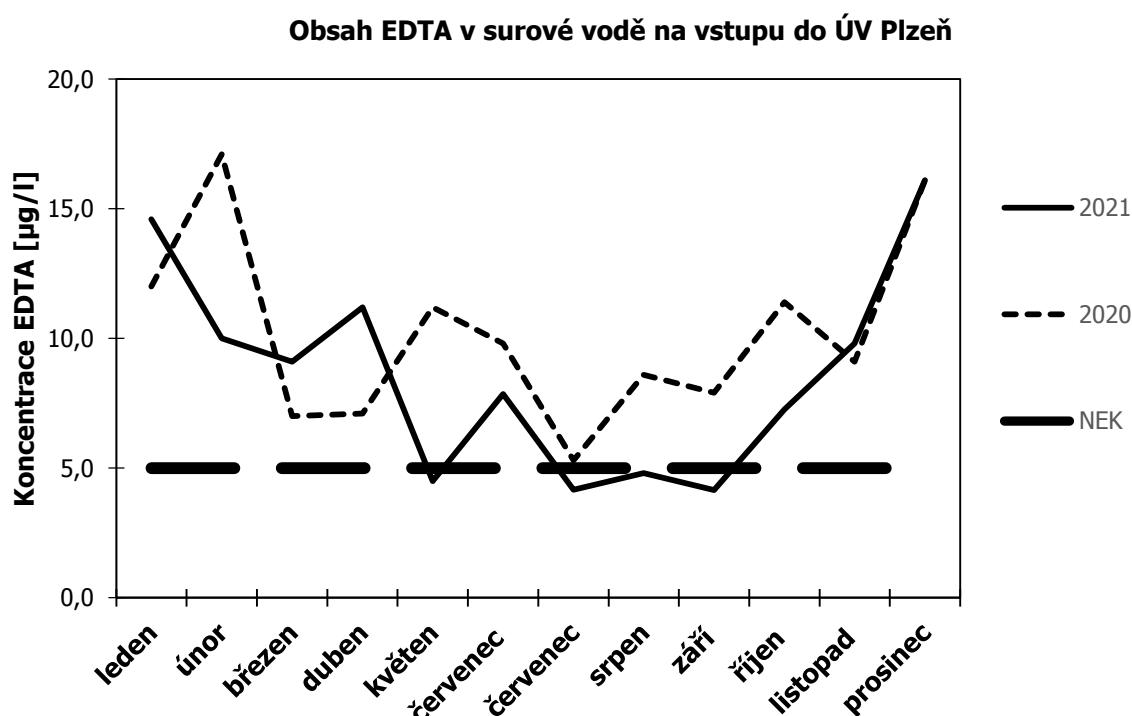
EDTA vzhledem k chemické struktuře a vlastnostem patří mezi látky biologicky velmi rezistentní. Z tohoto důvodu je její aplikace v některých prostředcích běžné potřeby omezována, nebo i zcela zakázána [4]. V České republice je pro koncentrace EDTA v povrchových vodách stanovena platným legislativním předpisem norma environmentální kvality (NEK) na 5 µg/l [5].

## **EDTA v řece Úhlavě**

Do povrchové vody se EDTA dostává prostřednictvím odpadních vod, tedy výustěmi z čistíren odpadních vod (ČOV). Z hodnocení naměřených dat vzorkovacích profilů řeky nad jímacím objektem ÚV Plzeň vyplývá, že jednoznačně největším přispěvatelem EDTA do řeky Úhlavy je Drnový potok [6].

Drnový potok je pravým přítokem řeky Úhlavy a po soutoku s vodárenským zdrojem má značný vliv na kvalitu povrchové vody; Drnový potok je recipientem odpadních vod z ČOV města Klatovy. Přestože v toku řeky Úhlavy dochází k velkému naředění, koncentrace EDTA v profilu „Úhlava – Doudlevce“, místo jímání surové vody do procesu ÚV Plzeň, pravidelně a významně překračují stanovenou hodnotu NEK (obr. 2).

Z obr. 2 je evidentní, že nálezy EDTA v řece jsou v průběhu roku proměnlivé a souvisí s množstvím lokálních srážek a jejich intenzitou v povodí. Od roku 2018 je v rámci projektu monitorován výskyt a chování EDTA v tekoucí vodě od hlavního zdroje, ČOV Klatovy, až na úroveň jímacího objektu ÚV Plzeň a od roku 2019 se zabýváme osudem EDTA v procesu úpravy na ÚV Plzeň.



**Obr. 2. Koncentrace EDTA v surové vodě na vstupu do procesu úpravy ÚV Plzeň (odběrový profil "Úhlava – Doudlevce") v 2020 a 2021**

## **Technologie ÚV Plzeň**

Technologická linka ÚV Plzeň je sestavena z dílčích úpravárenských procesů do třech separačních stupňů tak, aby upravila povrchovou vodu velmi proměnlivé kvality v kategorii upravitelnosti >A3 na kvalitu vody pitné. Projektovaná kapacita ÚV Plzeň je 1000 l/s, reálný výkon úpravny se v posledních letech pohybuje v intervalu 430–500 l/s. Do čerpané surové vody z řeky je po případné předalkalizaci dávkován hlinitý koagulant. Po homogenizaci následuje proces sedimentace v šesti dvojicích (patrových) usazovacích nádržích.

Po separaci vzniklých vloček voda gravitačně natéká na šest otevřených filtrů s drenážním systémem Leopold a náplní Filtralite Mono-Multi [7]. Před vstupem upravované vody na filtry je zaústěné dávkování manganistanu draselného, který se přidává za účelem oxidace manganiu v obdobích jeho vyšší koncentrace v surové vodě. Filtrát dále pokračuje do objektu ozonizace. Výrobu ozonu z kyslíku zajišťují tři generátory ozonu WEDECO ( $3 \times 6,5 \text{ kg/h}$ ). Běžně je v provozu jeden ozonizátor, v období se zhoršenou mikrobiologickou a biologickou kvalitou surové vody jsou v provozu dva generátory ve střídavém provozním režimu. Vnos ozonu do upravované vody je realizován GDS – systémem STATIFLO a ozonizovaná voda postupuje tříkomorovou ozonizační nádrží sestupní, následně vzestupní směšovací sekcí a nakonec vymírací sekcí [8]. Upravovaná voda po ozonizaci je čerpána na třetí separační stupeň technologické linky, na čtveřici otevřených rychlofiltrů s drenážním systémem Leopold a s náplní granulovaného aktivního uhlí (GAU) Chemviron Carbon Filtrasorb TL-830. Prostřednictvím GAU filtrace dochází k sorpci rozpuštěných organických látek a produktů ozonizace.

Následuje mikrobiální bariéra v podobě dvojice UV reaktorů ve střídavém režimu (dávka UV záření je  $400 \text{ J/m}^2$ ), s 36 nízkotlakými amalgámovými výbojkami v každé jednotce. Před vstupem upravené vody do akumulačních nádrží dochází k finální úpravě pitné vody, ke ztvrzování vody dávkováním oxidu uhličitého a vápenného hydrátu v podobě vápenné vody a dále k hygienickému zabezpečení nízkými dávkami chloru s ohledem na kontinuální monitoring volného a vázaného chloru v upravené vodě. Upravená voda je v objektu úpravny vody akumulována ve dvou dvoukomorových akumulačních nádržích ( $2 \times 6000 \text{ m}^3$  a  $2 \times 1760 \text{ m}^3$ ) a jedné nádrži o objemu  $1854 \text{ m}^3$ , odkud je čerpána do pásmových vodojemů v Plzni.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Od roku 2019 byl jeden z cílů monitoringu toku Úhlavy zaměřen na zjištění účinnosti odstranění EDTA ze surové vody v procesu úpravy ÚV Plzeň. V průběhu roku 2019 byly odebrány celkem tři série bodových vzorků ze tří fází technologie ÚV Plzeň: surová voda, voda po ozonizaci a finální upravená voda.

(V květnu 2021 byla zařazena ještě jedna série bodových vzorků pro ověření výsledků z roku 2019.) Od března do poloviny května 2019 byla dočasně odstavena ozonizace z důvodu odvozu granulovaného aktivního uhlí (GAU) ze třetího separačního stupně k reaktivaci.

Plánovaná odstávka ozonizace byla jedinečnou příležitostí, jak zjistit význam této úpravy v celkovém odstranění EDTA ze surové vody. V souvislosti s posuzováním schopnosti procesu úpravy ÚV Plzeň odstranit vybrané mikropolutanty bylo provozně a laboratorně ověřeno, že funkční ozonizace v případě některých specifických organických látek významně přispívá k jejich částečné nebo úplné separaci v následné filtrace přes GAU. V případě odstranění EDTA z povrchové vody se význam provozu ozonizace prokázal. V jarním období 2019, kdy byla ozonizace mimo provoz, byl jednoznačně efekt odstranění EDTA ze surové vody nejmenší  
(tab. 1.).

Vzorky surové vody v profilu řeky Úhlavy „Plzeň – Doudlevce“ byly odebírány v režii laboratoře PV a následující den, zohledňující dobu zdržení v procesu úpravy, byl odebrán vzorek upravené vody právě v provozu ÚV Plzeň. Oba vzorky byly analyzovány ve vodohospodářské laboratoři PV.

V tab. 2 je uveden přehled koncentrací EDTA v surové a upravené vodě a také účinnost odstranění EDTA, vztažená k surové vodě. Bylo zjištěno, že při koncentraci EDTA v říční vodě >9 µg/l, účinnost odstranění EDTA v procesu ÚV Plzeň klesá.

Pro rok 2021 byl v rámci součinnosti VP a PV na monitoringu Úhlavy zpracován plán sledování koncentrace EDTA souvztažných vzorků surové a upravené vody v měsíčních intervalech.

**Tab. 1. Účinnost odstranění EDTA v procesu úpravy na ÚV Plzeň v roce 2019 a 2021**

ÚV Plzeň	surová voda	voda po ozonizaci	upravená voda	EFEKT úpravy [%]
Datum	EDTA [µg/l]	EDTA [µg/l])	EDTA [µg/l]	- odstranění
1. 3. 2019	7,92	ozonizace MIMO provoz	6,2	<b>-22</b>
1. 7. 2019	7,22	1,3	1,03	<b>-86</b>
26. 8. 2019	7,43	2,46	0,61	<b>-92</b>
5. 5. 2021	4,5	2,29	1,33	<b>-70</b>

**Tab. 2. Efekt odstranění EDTA z povrchové vody v procesu úpravy ÚV Plzeň v 2021**

ÚV Plzeň	surová v.	upravená v.	EFEKT úpravy [%]
2021	EDTA [µg/l]	EDTA [µg/l]	- odstranění
leden	14,6	-	-
únor	10,0	3,28	<b>-67</b>
březen	9,10	4,68	<b>-49</b>
duben	11,2	3,95	<b>-65</b>
květen	4,50	1,33	<b>-70</b>
červenec	7,86	1,98	<b>-75</b>
červenec	4,17	0,51	<b>-88</b>
srpen	4,81	0,73	<b>-85</b>
září	4,15	0,97	<b>-77</b>
říjen	7,26	1,84	<b>-75</b>
listopad	9,81	3,52	<b>-64</b>
prosinec	16,1	5,95	<b>-63</b>

## ZÁVĚRY

Dolní tok řeky Úhlavy, v místě jímání surové vody pro ÚV Plzeň, je vzhledem ke spádové oblasti celého povodí značně zatížen antropogenní činností. Koncentrace EDTA na vstupu do procesu úpravy ÚV Plzeň se převážnou část roku pohybuje nad stanovenou normou environmentální kvality.

Stávající provoz technologické linky ÚV Plzeň dokáže značně snížit koncentrace EDTA z říční vody, závisí ale na míře zatížení surové vody syntetickou EDTA.

Na částečném odstranění EDTA se významně podílí proces ozonizace.

Standardní provozování ÚV Plzeň se všemi úpravárenskými procesy zaručuje výstupní kvalitu upravené vody v jakosti pitné vody a koncentrace nežádoucí EDTA pod hodnotou NEK, 5 µg/l.

## LITERATURA

1. Koželuh M.: Monitoring vybraných pesticidních látek, farmak a prostředků osobní péče (PPCP's) v povodí řeky Úhlavy (2021). Závěrečná zpráva z prací provedených v rámci projektu v roce 2021 s využitím dat získaných v 2019 – 2020. Povodí Vltavy, s. p., Praha 2022.
2. Keprtová K.: EDTA – její výskyt a osud ve vodním prostředí. Sborník konference Vodárenská biologie 2020, 5. – 6. února 2020, Praha, str. 93–97.
3. Oviedo C., Rodriguez J.: EDTA: the chelating agent under environmental scrutiny. Química Nova 2003, Vol. 26, No. 6, 901–905.
4. Pitter P.: Hydrochemie, 4. aktualizované vydání. VŠCHT Praha, Praha, 2009, str. 350.
5. Nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací o citlivých oblastech, Příloha 3
6. Koželuh M.: Monitoring mikropolutantů v povodí Úhlavy 2020. Zpráva z prací provedených v roce 2020 se zaměřením na významné znečištěvatele a s využitím dat získaných v 2019. Povodí Vltavy, s. p., Praha 2021.
7. 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, str. 117–122.
8. Beneš J.: Vnos ozonu do vody – praktické zkušenosti s GDS. Sborník odborných prác z konference s medzinárodnou účasťou Pitná voda, Hydrotechnológia Bratislava s.r.o., Bratislava 2008, str. 107–112.

# VÝSKYT LÉČIV I V PITNÝCH VODÁCH

**Ing. Tat'ána HALEŠOVÁ, Ing. Marta VÁCLAVÍKOVÁ, Ph.D.,  
Mgr. Daniela TOMEŠOVÁ, Ing. Zuzana BÍLKOVÁ, Ph.D.**

ALS Czech Republic, s.r.o., Projektové středisko, Na Harfě 336/9, 190 00 Praha  
E-mail: [tatana.halesova@alsglobal.com](mailto:tatana.halesova@alsglobal.com)

## ÚVOD

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. Léčiva jsou ze své podstaty biologicky aktivní látky, které jsou do jisté míry schopny před uplatněním zamýšleného terapeutického účinku odolat přirozené metabolické přeměně v organismu. Bohužel právě tyto vlastnosti jsou z hlediska životního prostředí problematické, neboť jsou spojeny s bioakumulací a toxicckými účinky na organismy ve vodních i terestrických ekosystémech [1].

Následkem kontaminace environmentálních vod dochází k výskytu léčiv i v pitné vodě a k možnému ohrožení lidského zdraví. Obavy přitom nevzbuzuje jen individuální toxicita, ale i působení jednotlivých účinných látek a jejich metabolitů ve směsích. Mluvíme o koktejlovém efektu, který může být příčinou vyšší toxicity.

## SPOTŘEBA LÉČIV V ČESKÉ REPUBLICE

V souvislosti s nežádoucím výskytem léčiv v životním prostředí je kladen důraz na sledování jejich spotřeby, a to nejen v humánní, ale i ve veterinární medicíně.

Spotřeba humánních léčiv v České republice (ČR) je vysoká, v mezinárodním porovnání jedna z nejvyšších. Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) uvádí, že v roce 2018 byla v ČR v rámci porovnávaných členských států (data poskytlo 28 z 37 členských států) spotřeba humánních léčiv v přepočtu na obyvatele 3. nejvyšší [2].

V roce 2019, kdy bylo do sítě zdravotnických zařízení v ČR dodáno téměř 256 milionů balení léčivých přípravků, patřila mezi nejčastěji distribuovaná léčiva (s počtem dodaných balení větším než 10 mil.) analgetika, protizánětlivá a protirevmatická léčiva, léčiva ovlivňující renin-angiotenzinový systém, antibakteriální léčiva pro systémovou aplikaci, léčiva k terapii diabetu a léčiva proti nachlazení a kašli [3].

Ve veterinární medicíně se s ohledem na narůstající problém rezistence mikroorganismů k antimikrobikům sleduje spotřeba zejm. téhoto léčiv. Evropská léková agentura (EMA) za tímto účelem spravuje od roku 2010 program European Surveillance of Veterinary Antimicrobials Consumption (ESVAC). Z dat shromážděných v rámci programu za rok 2018 vyplývá, že spotřeba veterinárních antimikrobik v přepočtu na biomasu hospodářských zvířat je v ČR ve srovnání s ostatními členskými státy Evropské unie, Norskem a Švýcarskem průměrná [4, 5].

V roce 2017 se v ČR spotřebovalo 45 tun účinných antimikrobních látek, přičemž naprostá většina z nich (98 %) byla použita pro hospodářská zvířata. Mezi nejpoužívanější antimikrobika patřily tetracykliny, peniciliny a sulfonamidy. Tato tzv. skupina „top 3“ patří v ČR mezi nejpoužívanější dlouhodobě [6].

## **OSUD LÉČIV A JEJICH METABOLITŮ V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ**

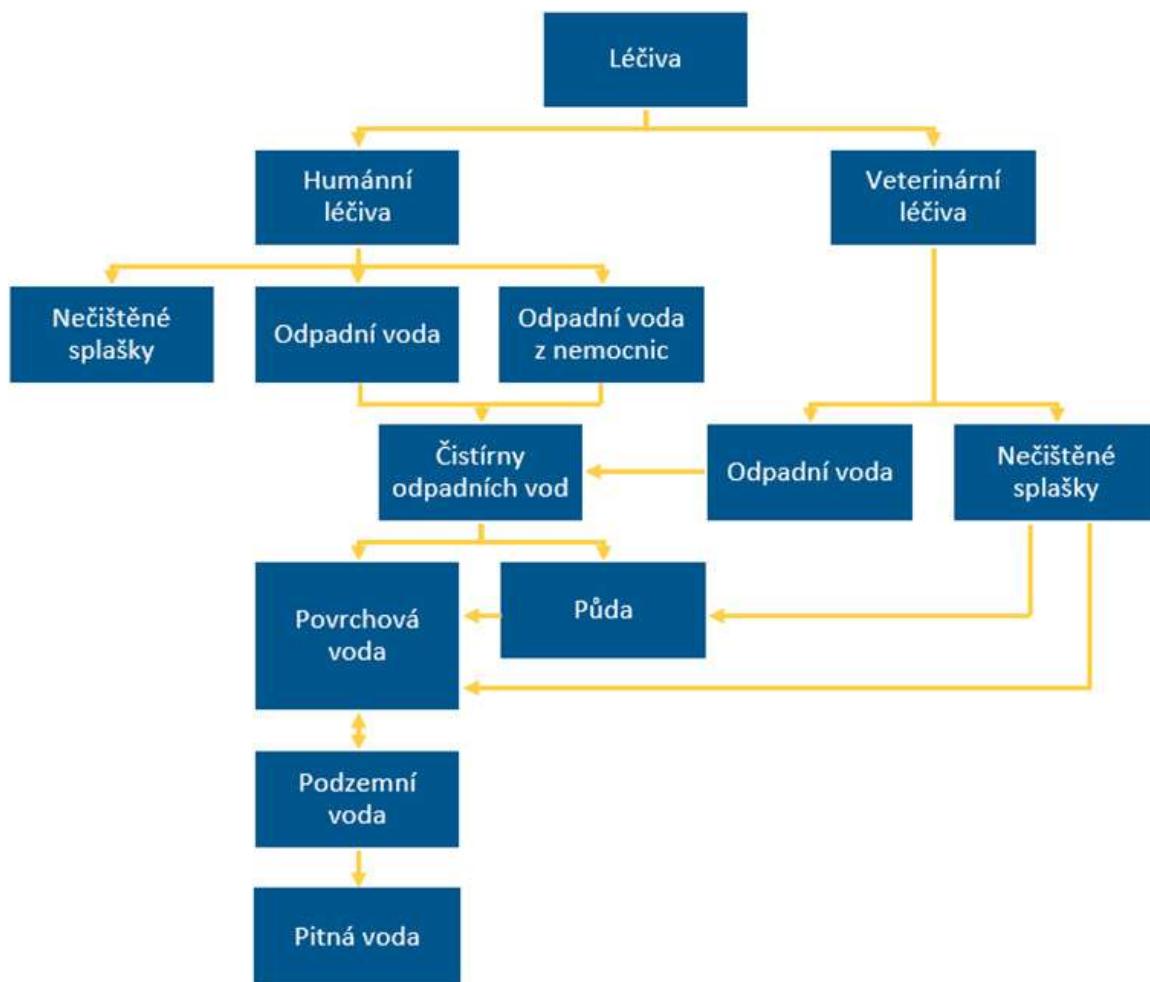
Léčiva mohou do životního prostředí vstupovat v nezměněné nebo v metabolizované formě. Míra, do jaké léčivo podléhá metabolizaci, se liší léčivo od léčiva. Většina léčiv je v organismu metabolizována částečně, následkem čehož se v životním prostředí vyskytuje jak původní léčivo, tak jeho metabolity (např. karbamazepin se vylučuje v nezměněné formě ze 70 %, tramadol ze 30 %, ibuprofen z méně než 10 % a naproxen z méně než 5 %, zbytek je vyloučen ve formě metabolitů). Menší část léčiv je buďto stabilní a přeměně nepodléhá vůbec (např. rentgenkontrastní látky nebo diuretikum hydrochlorthiazid), nebo je naopak v organismu metabolizována plně [7].

Hlavním zdrojem kontaminace životního prostředí léčivy a jejich metabolity jsou odpadní vody (domácnosti, nemocnice, farmaceutický průmysl), neboť čistírny odpadních vod si s těmito mikropolutanty často neumějí poradit a umožňují jejich transport do životního prostředí, a to nejen prostřednictvím vycištěné odpadní vody, která je vypouštěna do recipientu, ale i prostřednictvím stabilizovaného kalu, který je aplikován na půdu jako hnojivo. Léčiva a jejich metabolity jsou následně nezřídka transportována až do zdrojů pitné vody. Osud léčiv v životním prostředí je zachycen na obrázku (obr. 1.) [1].

## **LEGISLATIVA**

Vzhledem ke vzrůstajícím nárokům na dostatečné množství vody dobré jakosti a s cílem ochránit životní prostředí a lidské zdraví byla Evropským parlamentem a Radou Evropské unie v roce 2000 přijata Rámcová směrnice o vodě (směrnice 2000/60/ES), která stanovovala základní zásady udržitelné vodní politiky a zavedla pojem prioritní látky. V roce 2013, o více než 10 let později, byla legislativa doplněna o pojem sledované látky (směrnice 2008/105/ES, ve znění směrnice 2013/39/EU). V roce 2022 byla původní Rámcová směrnice o vodě aktualizována (Rámcová směrnice o vodě 2022/2083).

Léčiva představují relativně nové polutanty životního prostředí, a nebyla tak zatím na seznam prioritních látek v oblasti vodní politiky zařazena. Jsou nicméně soustavně zařazována na seznam sledovaných látek, tzv. Watch List, který podléhá pravidelnému přezkumu a aktualizaci. Rovněž je na ně upírána stále větší pozornost vědecké komunity. V roce 2021 zveřejnil Státní fond životního prostředí České republiky (SFŽP ČR) indikativní seznam 33 farmaceutických látek pro snížení znečištění vodních toků, a to v rámci dotační výzvy z Norských fondů (výzva č. 3B Trondheim).



**Obr. 1. Transport léčiv v životním prostředí**

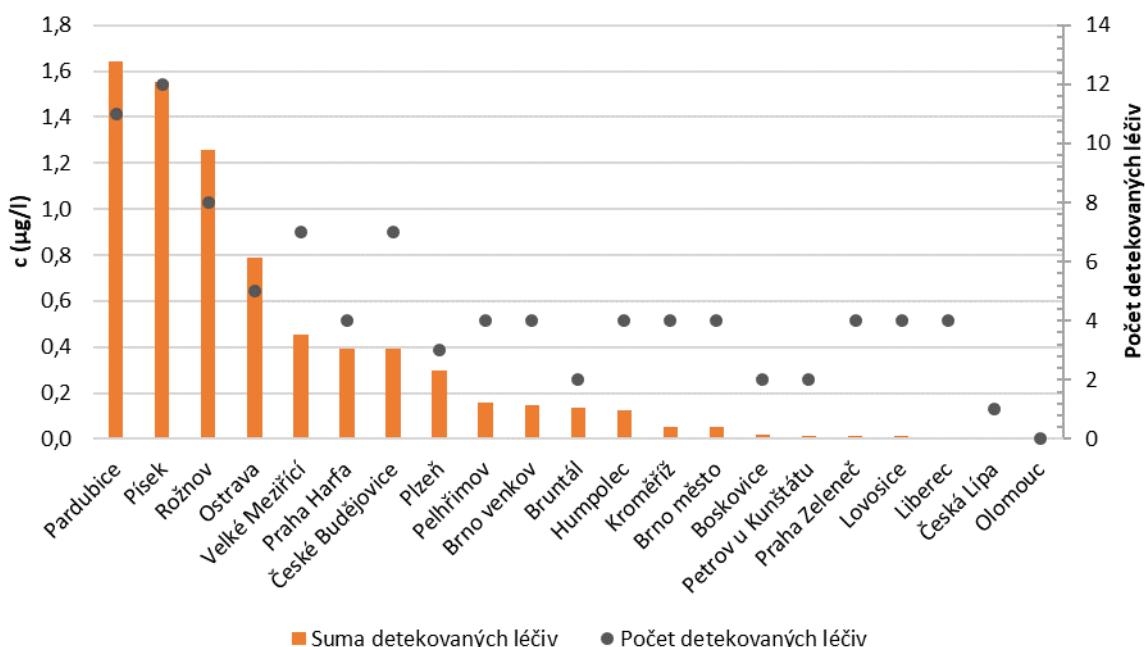
## **MONITORING LÉČIV V PITNÉ VODĚ**

Společnost ALS Czech Republic se již řadu let věnuje monitoringu léčiv v životním prostředí. V roce 2021 rozšířila laboratoř v Praze svou analytickou metodu pro stavení cca 100 léčivých látek v čistých a odpadních vodách. Metoda mimo jiné zahrnuje antibiotika, látky z aktuální verze Watch Listu (prováděcí rozhodnutí Komise (EU) 2020/1161), i látky z indikativního seznamu pro snížení farmaceutického znečištění vodních toků, který v roce 2021 zveřejnil SFŽP ČR v rámci dotační výzvy z Norských fondů.

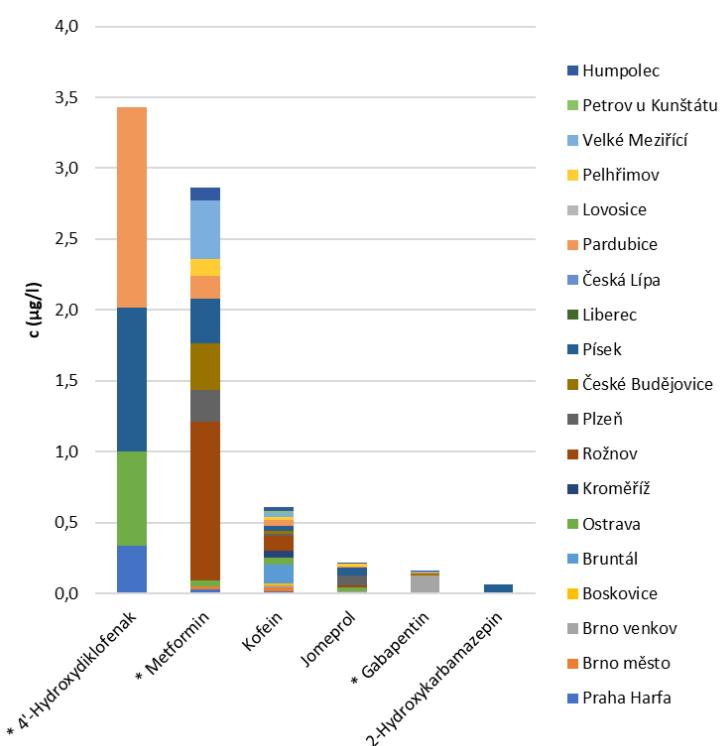
V roce 2022 provedla společnost ALS Czech Republic ve 21 vybraných českých městech monitoring výskytu léčiv a jejich metabolitů v pitné vodě. Průměrná sumární koncentrace léčiv v testovaných vodách byla 0,36 µg/l, přičemž nejvyšší koncentrace (1,64 µg/l) byla zjištěna v Pardubicích. V průměru bylo v každé vodě detekováno 5 léčiv, nejvíce (12) v Písce. V Olomoucké pitné vodě nebyla zjištěna přítomnost žádného ze sledovaných léčiv a sumární koncentrace tak byla nulová.

Celkem bylo v odebraných vzorcích vod zjištěno 21 různých léčiv. Nejčastěji detekovaným léčivem byl metformin, který by nalezen v 18 z 21 testovaných vod. Tato léčivá látka se využívá při terapii diabetu. Následoval stimulant kofein (detekován v 16 vzorcích) a rentgenkontrastní látka jomeprol (detekována ve 12 vzorcích). Ostatní léčiva byla vždy detekována v méně než 10 vzorcích, z toho 7 léčiv (2-hydroxykarbamazepin, galantamin, jopamidol, jopromid, metoprolol, sulfadiazin a valsartan) bylo zjištěno pouze v 1 vzorku.

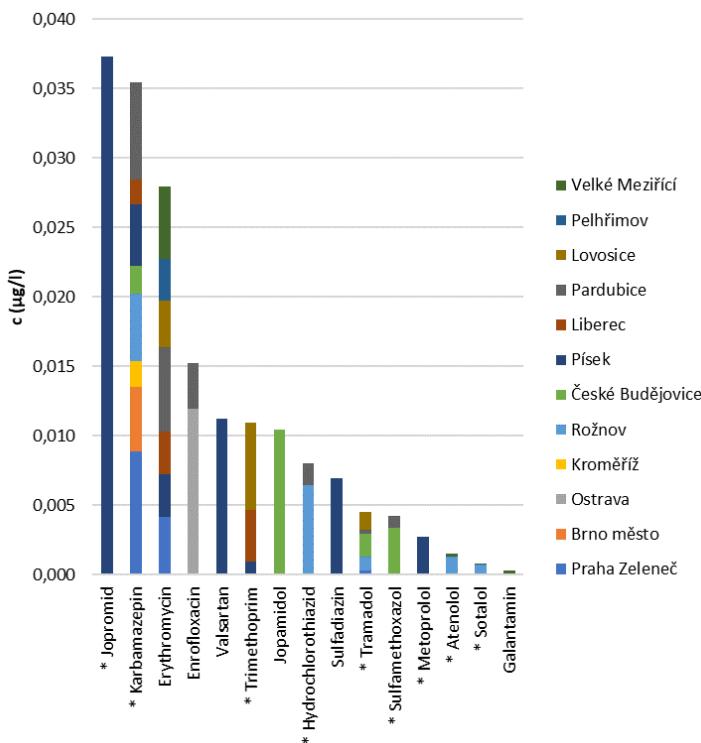
Koncentrace jednotlivých léčiv naměřené v testovaných pitných vodách jsou graficky summarizovány na obr. 3 a obr. 4. Léčiva, na která v rámci výzvy z Norských fondů upozornil SFŽP ČR, jsou v obou grafech vyznačena hvězdičkou.



**Obr. 2. Sumární koncentrace léčiv a počet detekovaných léčiv v pitných vodách odebraných v roce 2022 ve 21 českých městech**



**Obr. 3. Koncentrace léčiv v pitných vodách odebraných v roce 2022 ve 21 českých městech – 1. část. Látky vyznačené hvězdičkou jsou uvedeny na indikativním seznamu SFŽP ČR**



**Obr. 4. Koncentrace léčiv v pitných vodách odebraných v roce 2022 ve 21 českých městech – 2. část. Látky vyznačené hvězdičkou jsou uvedeny na indikativním seznamu SFŽP ČR**

## ZÁVĚR

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, včetně zdrojů pitných vod. Technologie používané při úpravě vody na vodu pitnou si často s léčivy neumí poradit, a tak jsou tyto látky nezřídka detekovány v pitných vodách. Ačkoliv jsou zjištěné koncentrace většinou nízké, je třeba při posuzování rizika pro lidské zdraví vzít do úvahy jak chronickou expozici, tak koktejlový efekt.

## SEZNAM LITERATURY

1. SANTOS, Lúcia H. M. L. M. et al. Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. Journal of Hazardous Materials. 2010, roč. 175, č. 1–3, s. 45–95.
2. OECD.Stat: <https://stats.oecd.org/Index.aspx?ThemeTreeId=9>
3. Státní ústav pro kontrolu léčiv: <https://www.sukl.cz/>
4. Tenth ESVAC report: Sales of veterinary antimicrobial agents in 31 European countries in 2018 (EMA/24309/2020). European Medicines Agency, European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption, 2020.
5. Interactive ESVAC database: <https://www.ema.europa.eu/en/veterinary-regulatory/overview/antimicrobial-resistance/european-surveillance-veterinary-antimicrobial-consumption-esvac#interactive-esvac-database-section>
6. Ústav pro státní kontrolu veterinárních biopreparátů a léčiv: <http://www.uskvbl.cz/>
7. DrugBank Online: <https://go.drugbank.com/>

# HLEDÁNÍ VHODNÉ STRATEGIE PŘÍSTUPU K LÉČIVŮM V PITNÉ VODĚ

**MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.<sup>1)</sup>, Mgr. Petr PUMANN<sup>1)</sup>, MUDr. Hana JELIGOVÁ<sup>1)</sup>,  
Mgr. Jiří PAUL, MBA<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Státní zdravotní ústav, Šrobárova 48/49, 100 00 Praha 10

<sup>2)</sup> Vodovody a kanalizace Beroun, a.s., Mostníkovská 255/3, 266 01 Beroun 3

E-mail: [voda@szu.cz](mailto:voda@szu.cz)

## ÚVOD

Téměř skokové rozšíření schopností českých hydroanalytických laboratoří stanovovat pesticidní látky (PL) ve vodě (z okruhu 20–30 látek na téměř desetinásobek včetně metabolitů), ke kterému došlo před cca 10 lety, způsobilo v nazírání na výskyt PL v pitné vodě určitou revoluci. Ukázalo se, že výskyt PL je mnohem častější a širší, než se předpokládalo, což postavilo mnohé provozovatele vodovodů do obtížné situace řešit jejich nadlimitní výskyt [1]. Rozšíření analytických schopností/možností se ale netýkalo jen PL, ale i řady jiných organických látek, mj. také léčiv, byť k němu dochází pozvolněji.

Také u léčiv se obraz našich znalostí o jejich výskytu v pitných vodách v ČR postupně proměňuje. Z původní představy o ojedinělých nálezech v rámci jednotek ng/l či max. nižších desítek ng/l [2] se dnes dostáváme k ojedinělým nálezům v rámci stovek ng/l, a také frekvence nálezů – tím, jak se rozšiřuje spektrum analytů – je vyšší. Situace se samozřejmě ani zdaleka neblíží pesticidním látkám, protože cesty, kterými se obě skupiny látek dostávají do životního prostředí, jsou zcela odlišné, a pravděpodobně i používaná množství.

V rámci příprav novely EU směrnice o pitné vodě (nově pod č. 2020/2184) proběhly odborné diskuse, které se týkaly rovněž aktualizace seznamu sledovaných (a tedy regulovaných) chemických látek, včetně léčiv. Stanovisko Světové zdravotnické organizace (WHO) bylo takové, že „síla důkazů z dosud provedených studií svědčí o tom, že je velmi nepravděpodobné, že by léčiva v koncentracích nalézaných v pitné vodě mohla představovat ohrožení lidského zdraví [3]. Nicméně tvůrci EU směrnice uvažovali nově i možnost, že je potřeba nějakým způsobem regulovat nejen prokazatelně škodlivé látky, ale také látky, které budí obavy vědecké obce nebo veřejnosti. Byť v poněkud jiném režimu než standardní ukazatele: tyto látky budou postupně zařazovány na tzv. watch-list („seznam sledovaných ukazatelů“) se směrnou hodnotou, jejíž postavení je někde mezi striktně závaznou a doporučenou hodnotou.

A obavy veřejnosti a výše naznačený proměňující se obraz našich znalostí o výskytu léčiv v pitných vodách byly důvodem, proč se Státní zdravotní ústav rozhodl vydat k této problematice doporučující stanovisko, které uvádí i doporučenou limitní hodnotu a které může být chápáno jako první krok k budoucí regulaci. Stanovisko [4] bylo vydáno dne 12. 4. 2022 a je dostupné na webových stránkách SZÚ. V tomto příspěvku je volně reproducováno.

## JAK PROBLÉM VZNIKÁ?

Ve vyspělých zemích se denně spotřebují stamiliony balení různých léčivých přípravků, které obsahují okolo 3 000 účinných látek. Tyto látky jsou po podání v těle z části metabolizovány a metabolity i léčiva ve stále aktivní formě jsou převážně močí vylučovány z organismu. Vedle toho jsou léčiva s prošlou dobou použitelnosti v rozporu s doporučením často likvidována spláchnutím do toalety nebo vyhozena do odpadu. Používané procesy čištění odpadních vod jsou schopny zachytit tyto látky pouze částečně, a tak se léčiva dostávají do povrchových a někdy i povrchovými vodami ovlivněných podzemních vod, z nichž některé jsou zdrojem vod pitných. A protože ne všechny v současnosti u nás používané technologie úpravy pitné vody jsou schopny odstranit veškeré zbytky těchto látek v surové vodě, mohou se teoreticky stopy léčiv a/nebo jejich metabolity dostat i do pitné vody. Hovoříme-li o stopách, máme na mysli koncentrace v řádu jednotek, max. desítek nanogramů v 1 litru vody.

V České republice je struktura zdrojů vody využívaných pro veřejné zásobování z hlediska léčiv poměrně příznivá, protože asi polovina pitné vody je vyráběna z podzemních vod a většina povrchové vody se odebírá z chráněných nádrží na horních tocích řek, které jsou jen minimálně zatíženy odpadními vodami. Státní zdravotní ústav prováděl v letech 2009–2011 první systematický screening pitných vod v ČR na vybrané zástupce léčiv (naproxen, ibuprofen, diklofenak, karbamazepin a 17a-ethinylestradiol).

V první etapě zaměřené na reprezentativní výběr vodovodů (92 vodovodů) nebyla žádná z těchto látek nalezena. Druhá etapa se zaměřila pouze na rizikové lokality – na úpravnou vody, které využívají jako surovou vodu povrchovou vodu z dolních toků řek, zatížených odpadními vodami (20 lokalit), popř. úpravny, které v těchto místech neodebírají vodu přímo z toku, ale využívají břehovou infiltraci (3 lokality).

Zde byly na 19 lokalitách nalezeny jedna až tři látky nad mez stanovitelnosti. Nejvíce záchoytů bylo u ibuprofenu (12 v koncentračním rozmezí 0,7 až 20,7 ng/l, s mediánem na úrovni 2,0 ng/l), následováno karbamazepinem (8 záchoytů v rozmezí 2,2 až 18,5 ng/l, s mediánem na úrovni 5,5 ng/l), naproxenem (5 záchoytů v rozmezí 0,5 až 3,0 ng/l) a diklofenakem (2 záchohy na úrovni 0,6 a 3,9 ng/l). Na konci sítě, u spotřebitele (pravděpodobně díky ředění jiným zdrojem vody), byly však zachyceny jen dvě z těchto látek ve 3 případech – třikrát se jednalo o ibuprofen (0,5 – 1,2 ng/l), jednou o karbamazepin (4,0 ng/l). Koncentrace hormonu 17a-ethinylestradiolu byly ve všech vzorcích druhé a třetí etapy menší než mez stanovitelnosti (2 ng/l) [2].

Protože se však spotřeba léků co do struktury i objemu vyvíjí a především se mimořádně rozvinuly analytické možnosti, které dnes umí stanovit mnohem více léčiv i jejich metabolitů než před deseti lety, nemusí nastíněný příznivý obraz trvat věčně. Impulsem k vydání stanoviska SZÚ byla iniciativa jedné hygienické stanice, která nechala analyzovat širší spektrum léčiv v různých vodovodech a překvapivě našla poměrně vysoké nálezy v pitné vodě vyráběné z podzemní vody (u některých látek až v desítkách či stovkách ng/l). Místní šetření ukázalo, že jímaná podzemní voda je z části infiltrátem z větší řeky a z části z malého potoka, do nichž ústí několik ČOV, a že stávající technologie úpravy není na úpravu povrchové vody (resp. na odstranění organických mikropolulantů) koncipována.

Toto zjištění nás upozorňuje, že problematika léčiv se nemusí týkat jen výroby pitné vody ze středních či dolních toků řek [5], ale i z některých podzemních zdrojů, a že v obou případech se lze setkat s případy, kdy koncentrace léčiv v surové vodě převyšuje hodnotu 100 ng/l. Podle databáze ČHMÚ, která obsahuje výsledky pravidelného monitorování

podzemních a povrchových vod, bylo za období 2017–2021 u podzemních vod nalezeno 31 objektů, kde koncentrace některého z léčiv překročila hranici 100 ng/l, zatímco u povrchových vod bylo takových profilů řádově několik set [6]. Některé z těchto zdrojů slouží jako zdroj surové vody pro výrobu pitné vody.

## **MUSÍ VÝROBCI VODY SLEDOVAT OBSAH LÉČIV V PITNÉ VODĚ?**

Léčiva nejsou obsažena v příloze 1 Vyhlášky MZ č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, a proto nejsou předmětem pravidelného sledování ze strany výrobců vody. Soubor více než 60 ukazatelů obsažených v příloze 1 sice pokrývá podstatnou většinu v praxi problémových ukazatelů, nicméně nemůže podchytit všechny rizikové látky. Proto je v zákoně o ochraně veřejného zdraví (č. 258/2000 Sb., konkrétně § 4, odst. 5) ustanovení, že existuje-li u dané zásobované oblasti podezření na výskyt dalších látek neupravených prováděcím právním předpisem, má provozovatel vodovodu neprodleně zjistit koncentraci nebo množství této látky a označit tuto skutečnost příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví (místně příslušné krajské hygienické stanici).

Orgán ochrany veřejného zdraví na základě tohoto oznámení (nebo i vlastního šetření) určí hygienický limit pro výskyt takových látek, pokud jsou ve vodě obsaženy v koncentraci, která by mohla ohrozit veřejné zdraví. Výrobce pitné vody je pak povinen kontrolovat dodržení hygienického limitu v četnosti stanovené prováděcím právním předpisem pro výskyt ostatních ukazatelů pitné vody, neurčí-li příslušný orgán ochrany veřejného zdraví jinak.

Případné podezření na výskyt by mělo vyplynout z posouzení rizik, které musí výrobci pitné vody povinně zpracovávat: dá-li se předpokládat přítomnost léčiv v surové vodě, jedná se o možné nebezpečí, které by se mělo dálé vyhodnotit (což není možné bez jejich stanovení) a charakterizovat riziko. To se týká i provozovatelů, kteří provozují vodovod s vodou předanou a kteří by měli po dodavateli (výrobci) vody požadovat informaci o tomto riziku.

Zákon tedy sledování léčiv výrobcům pitné vody přímo neukládá, ale z posouzení rizik může vyplynout jejich stanovení. Bez ohledu na tento požadavek by však mělo výrobce pitné vody zajímat, jaká je v tomto směru situace v dodávané vodě, protože díky medializaci této problematiky může kdykoli obdržet dotaz od jednotlivého spotřebitele, od představitelů zásobovaných obcí nebo od novinářů. A je dobré být na takovou situaci připraven.

## **JAK VYHODNOTIT NÁLEZY LÉČIV V PITNÉ VODĚ**

Até už přistoupí výrobce vody k analýze léčiv dobrovolně (preventivně) nebo mu vyplyně z posouzení rizik, a nebudou-li všechny nálezy pod mezí stanovitelnosti, bude stát přirozeně před otázkou, zda nalezená koncentrace dané látky je přijatelná či nepřijatelná (pro spotřebitele riziková), protože vyhláška č. 252/2004 Sb. žádné hygienické limity pro léčiva neobsahuje. Podle zákona má sice za povinnost nález označit krajské hygienické stanici a čekat, jak ona nález vyhodnotí a zda stanoví hygienický limit (což nutně nemusí, pokud usoudí, že takový nález nepředstavuje zdravotní riziko), nicméně jde o zdlouhavý proces, protože hygienická stanice obvykle opírá své rozhodnutí o autorizované hodnocení zdravotních rizik, jehož zpracování může trvat řádově měsíce.

Aby tuto situaci oběma stranám (výrobcům pitné vody a orgánům ochrany veřejného zdraví) usnadnilo, vydávalo Národní referenční centrum pro pitnou vodu v citovaném stanovisku toto doporučení:

**Doporučujeme za přijatelné považovat koncentrace jednotlivých léčiv (a jejich metabolitů) do 0,1 µg/l (100 ng/l) včetně, s výjimkou látek s genotoxickým (mutagenním) nebo hormonálně aktivním účinkem, pro které považujeme za přijatelné koncentrace 10 × nižší čili do 0,01 µg/l (10 ng/l) včetně. Pro sumu všech kvantitativně zjištěných léčiv doporučujeme považovat za přijatelné koncentrace do 0,5 µg/l (500 ng/l) včetně.** (Suma kvantitativně zjištěných léčiv znamená, že nálezy pod mezi stanovitelností se do sumy nezapočítávají.)

Odůvodnění: Jedná se o podobný přístup, jaký má legislativa (vyhláška č. 252/2004 Sb.) k pesticidním látkám. **Doporučená přijatelná množství nejsou odvozena toxikologicky, ale na základě předběžné opatrnosti,** protože odvození toxikologických limitů pro léčiva se dosud potýká s řadou odborných problémů [7, 8]. Obdobný přístup (a hodnoty) pro nové látky v pitné vodě, které nemají stanoven hygienický limit, zaujímá např. také Německo (GOW, zdravotně odvozené indikátorové hodnoty) [9, 10, 11], Nizozemí (signální bezpečné hodnoty) [12] či další země [13].

Překročení výše uvedených koncentrací nutně neznamená, že je již ohroženo lidské zdraví. To posoudí orgán ochrany veřejného zdraví, obvykle na základě hodnocení zdravotních rizik, který by pak určil i limitní hodnotu. NRC pro pitnou vodu doporučuje, aby v tuto úvodní fázi „regulace“ měla limitní hodnota statut mezní hodnoty.

**Pokud provozovatel vodovodu naleze v upravené vodě léčiva do výše uvedených hodnot, může jejich přítomnost vyhodnotit jako nízké riziko a dále se jimi nemusí zabývat v provozním řádu podle § 3c zákona č. 258/2000 Sb., nicméně oznamit jejich nález krajské hygienické stanici podle zákona musí.**

Stanovení léčiv ve vodě zatím nabízí jen několik laboratoří (podle databáze akreditovaných subjektů Českého institutu pro akreditace mělo ke dni 1. 3. 2022 akreditováno stanovení léčiv ve vodě 9 laboratoří), nicméně cena je dnes již dostupná a řádově podobná stanovení pesticidních látek. Výrobce vody se může ještě před vlastní analýzou pokusit získat data o léčivech z celostátního monitoringu povrchových a podzemních vod (data spravují podniky povodí a ČHMÚ), které by byly relevantní surové vodě, kterou používá. Po transpozici směrnice EU 2020/2184, ke které by mělo dojít v roce 2023, bude využití těchto dat pro posouzení rizik povinné.

**Při vlastní analýze je možné se přednostně zaměřit na dále uvedený okruh látek, které mají podle našich poznatků potenciál nálezů v koncentracích nad 100 ng/l:**

diklofenak (nesteroidní antiflogistikum), gabapentin (antiepileptikum), ibuprofen (nesteroidní antiflogistikum), ibuprofen-2-hydroxy (metabolit ibuprofenu), ibuprofen-carboxy (metabolit ibuprofenu), iohexol (kontrastní rentgenová látka), iomeprol (kontrastní rentgenová látka), iopamidol (kontrastní rentgenová látka), iopromid (kontrastní rentgenová látka), karbamazepin (antiepileptikum), metformin (léčba cukrovky), naproxen (nesteroidní antiflogistikum), oxypurinol (metabolit allopurinolu (léčba hyperurikémie)), sulfamethoxazol (antibiotikum), telmisartan (antihypertensivum), tramadol (lék proti bolestem).

Vzhledem k povaze výskytu i látek (léčiv) samotných, nepovažuje SZÚ za odůvodněné, aby byly tyto látky sledovány rutinně a pravidelně jako ostatní ukazatele – a to ani v místech, kde existuje riziko jejich výskytu. Nálezy nad doporučenou hodnotou by sice měly být ověřeny, ale jinak by četnost stanovení měla být nízká. Po prvotním zjištění situace považuje SZÚ za adekvátní nejméně jedno stanovení během 5–6 let, což je interval aktualizace posouzení rizik. Léčiva mohou být stanovena buď v pitné, nebo surové vodě.

## ZÁVĚRY

Dostupné údaje **nenaznačují**, že by léčiva v koncentracích nalézaných v pitné vodě představovala pro spotřebitele vážné (či vůbec nějaké) zdravotní riziko. Proto také WHO nepovažuje za potřebné léčiva v pitné vodě pravidelně monitorovat, ani nedoporučuje/nestanovuje jejich hygienické limity.

Musíme však mít na paměti, že WHO vydává svá doporučení pro celý svět, tedy i pro rozvojové země, která mají v oblasti bezpečnosti vody zcela jiné priority, kapacity a možnosti.

Evropská komise se v případě nové směrnice na pitnou vodu [14] v zásadě drží doporučení WHO, ale v některých případech je přísnější. Např. v případě tzv. „seznamu sledovaných ukazatelů“ (watch list), který na základě nové směrnice vydala (a bude průběžně aktualizovat) Evropská komise svým prováděcím aktem. Na seznam se budou zařazovat látky, které „u veřejnosti nebo vědecké obce vzbuzují obavy ze zdravotních důvodů, jako jsou léčivé přípravky, endokrinní disruptory a mikroplasty“.

První seznam byl vydán dne 19. 1. 2022 a obsahuje dvě látky s endokrinními účinky: nonylfenol a 17-beta-estradiol [15]. Druhá látka je estrogen (hormon), který se používá rovněž k terapeutickým účelům. Seznam pro něj uvádí směrnou hodnotu 1 ng/l. O způsobu monitorování látek na seznamu a o postupu, co dělat při překročení směrné hodnoty, budou rozhodovat samy členské státy EU.

**I když léčiva, až na jednu výjimku, nejsou zatím ze strany EU v pitné vodě regulována, přesto je nutné se touto otázkou zabývat, protože vzbuzuje u části veřejnosti obavy. Nedílnou součástí dobré pitné vody totiž není jen její nezávadnost a vyhovující estetické vlastnosti, ale i důvěra veřejnosti v její bezpečnost. Tato důvěra může být získána jen tím, že veřejnost uvidí, že se tato problematika neignoruje, ale je jí ze strany výrobců vody i hygieniků věnována pozornost, že se léčiva – tam, kde je to odůvodněné – alespoň občasnou analýzou sledují a k jejich přítomnosti ve vodě se přistupuje na základě principů předběžné opatrnosti.**

**Na léčiva v pitné vodě je možné nahlížet také jako na indikátory či markery znečištění surové vody odpadními vodami. V takové vodě se může vyskytovat spektrum dalších nežádoucích a běžně nesledovaných látek, a proto je důležité směřovat ke stavu, kdy úpravny vody upravující takovou povrchovou vodu (nebo vodu podzemní, ale povrchovou vodou ovlivněnou) budou standardně vybaveny stupněm obsahujícím aktivní uhlí, popř. membránovou technologií, která z vody odstraní makromolekulární organické látky, ale ponechá rozpuštěné minerální látky. Použití reverzní osmózy a podobných membrán, které snižují obsah rozpuštěných látek, je v případě léčiv naprosto kontraproduktivní, protože snížení obsahu vápníku, hořčíku a dalších minerálních látek v pitné vodě představuje mnohonásobně vyšší a akutnější zdravotní riziko než samotná léčiva.**

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu TAČR TL0300025 Kohoutkovou nebo balenou: Bariéry a motivace konzumace pitné vody.

## SEZNAM LITERATURY

1. Kotal F., Kožíšek F., Jeligová J., Vavrouš A., Mayerová L., Gari D. W., Moulisová A. Monitoring of pesticides in drinking water: finding the right balance between under- and over-monitoring – experience from the Czech Republic. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2021, 23(2), 311-322.
2. Kozisek F., Pomykacova I., Jeligova H., Cadek V., Svobodova V. Survey of human pharmaceuticals in drinking water in the Czech Republic. *Journal of Water and Health*, 2013, 11(1): 84-97.
3. WHO. Drinking Water Parameter Cooperation Project. Support to the revision of Annex I Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption (Drinking Water Directive). Recommendations. WHO, Bonn 2017, 240 stran.
4. Stanovisko Národního referenčního centra (NRC) pro pitnou vodu k otázce sledování léčiv v pitné vodě a jejich přijatelným koncentracím. SZÚ Praha, 12. 4. 2022. Dostupné online: <http://szu.cz/tema/zivotni-prostredi/kvalita-vody/pitna-voda-leciva>
5. Paul J., Dolejš P., Liška M. et al. Odstraňování mikropolutantů a biologického znečištění z vltavské vody na rekonstruované úpravně vody Trnová. In: *Sborník přednášek a posterových sdělení z 12. bienální konference a výstavy Voda 2017*. Poděbrady, s. 147-154. ISBN978-80-263-1322-9.
6. Mgr. Vít Kodeš, ČHMÚ, osobní sdělení 21. 1. 2022.
7. WHO: *Pharmaceuticals in Drinking-water*. WHO/HSE/WSH/11.05. World Health Organization, Geneva: 2011; 49 s.
8. Kožíšek F., Jeligová H. Metody hodnocení zdravotních rizik stopových množství léčiv v pitné vodě. *Časopis lékařů českých*, 2012; 151(1): 5-8.
9. Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhorung der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt. *Bundesgesundhbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz*, 2003; 45: 249–251.
10. Dieter H.H., Mückter H. Regulatorische, gesundheitliche und asthetische Bewertung sogenannter Spurenstoffe im Trinkwasser unter besonderer Berücksichtigung von Arzneimitteln. *Bundesgesundhbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz*, 2007; 50: 322–331.
11. Beulker C. *Meeting on substances without parametric value: Summary* (prezentace). Meeting 'Assessment of substances without parametric value', UBA, Berlin, 12. 9. 2019.
12. van der Aa M. *Assessment of substances without parametric value in the Netherlands* (prezentace). Meeting 'Assessment of substances without parametric value', UBA, Berlin, 12. 9. 2019.
13. Hartmann J. et al. Risk governance of potential emerging risks to drinking water quality: Analysing current practices. *Environmental Science and Policy*, 2018, 84 (2018) 97-104.
14. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/2184 ze dne 16. prosince 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě. *Úřední věstník Evropské Unie*, 23. 12. 2020, L435/1-62.
15. COMMISSION IMPLEMENTING DECISION of 19.1.2022 establishing a watch list of substances and compounds of concern for water intended for human consumption as provided for in Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council. C(2022) 142 final. [https://ec.europa.eu/environment/publications/implementing-decision-drinking-water-directive-watch-list\\_en](https://ec.europa.eu/environment/publications/implementing-decision-drinking-water-directive-watch-list_en)

# **SLEDOVÁNÍ SEPARACE METABOLITŮ PESTICIDNÍCH LÁTEK NA GAU NA ÚV CHLUMEC NAD CIDLINOU**

**Ing. Kateřina TESAŘÍKOVÁ, Ing. Pavel KRÁL, Ph.D.**

Královéhradecká provozní a.s., Víta Nejedlého 893, 500 03 Hradec Králové  
E-mail: [katerina.tesarikova@khp.cz](mailto:katerina.tesarikova@khp.cz)

## **ÚVOD**

Úpravna vody Chlumec nad Cidlinou je úpravna podzemní vody s maximálním výkonem kolem 15 l/s, která zásobuje Chlumec nad Cidlinou a okolní obce – cca 8000 obyvatel. Základem úpravy surové vody je odstranění zvýšených koncentrací železa a manganu, které však neobvyklým způsobem probíhá z větší části neřízeně v přivaděči surové vody.

V září roku 2019 se ve zdrojích pro tento vodovod potvrdil nadlimitní nález metabolitů pesticidních látek – konkrétně relevantních látek Acetochlor ESA a Acetochlor OA. Provozovatel společně s vlastníkem se chtěli vyhnout vyhlášení režimu hygienické výjimky, a tak po dočasném přepojení vodovodu na okolní vodárenskou soustavu zrealizovali urychlenou rekonstrukci úpravny – doplnění stupně filtrace GAU výměnou za druhý filtrační stupeň původního odželeznění.

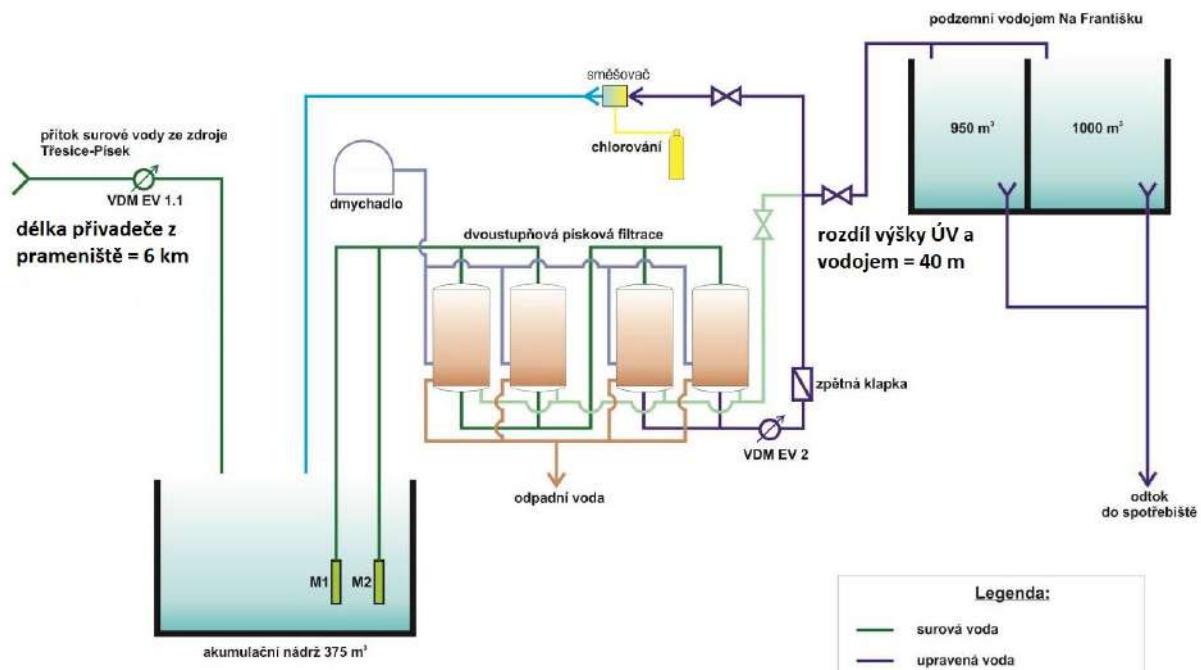
Od provedení této změny jsou zdroje, vyrobená voda z úpravny i vodovod pravidelně monitorovány z hlediska metabolitů pesticidních látek. Ve zdrojích se totiž nachází i další metabolity pesticidních látek v podlimitním množství, kromě výše zmíněných. Bohužel se potvrdil předpoklad a granulované aktivní uhlí bylo po 2 letech provozu vyčerpáno a na podzim 2021 bylo nutné GAU uhlí vyměnit za nové.

Příspěvek prezentuje získaná data ze sledování úpravny za téměř 3 roky provozu a debatuje sorpci metabolitů pesticidních látek na GAU, jejich různou míru odstranění a také možné příčiny vyčerpání GAU.

## **ÚPRAVNA VODY A VODOVOD CHLUMEC NAD CIDLINOU**

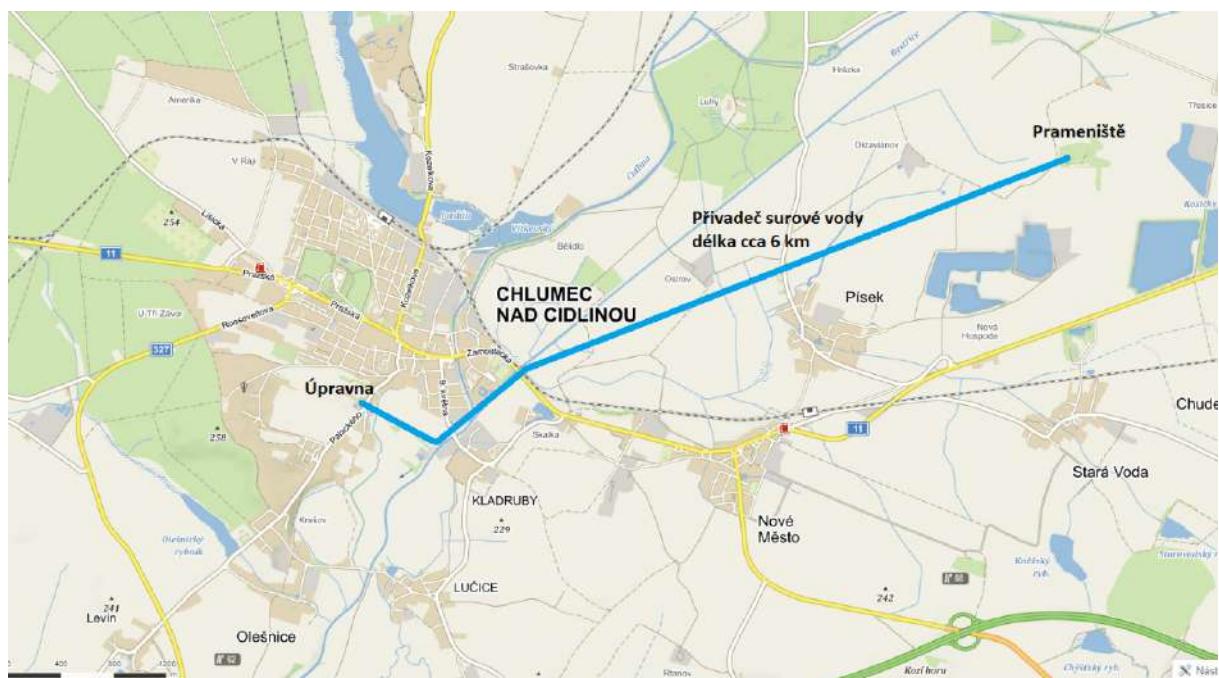
Úpravna Chlumec nad Cidlinou je úpravnou podzemní vody regionálního významu. Svoji vodou zásobuje město Chlumec nad Cidlinou (5500 obyvatel) a přilehlé obce (celkem kolem 8000 obyvatel). Vodovod Chlumec nad Cidlinou je sice součástí Vodárenské soustavy Východní Čechy, ale až do roku 2019 byl (díky uzavřeným propojím) převážně provozován jako oddělený. Právě tyto propoje – severní na vodovod Nový Bydžov a východní na vodovod Hradec Králové se ukázaly jako klíčová výhoda při dále popisovaném řešení problému. Průměrná potřeba vody na vodovodu se však dle ročních období pohybuje mezi 14 – 17 l/s. Zdrojem pro úpravu vody jsou tři podzemní vrty v lokalitě Třesice–Písek, cca 6 km od úpravny a města Chlumec nad Cidlinou. Vrty mají zvýšené koncentrace železa a manganu a k jejich odstranění slouží jednoduchá úprava spočívající v oxidaci chlorem a následné dvoustupňové filtrace. Proces však není úplně obvyklý, protože k separaci zvýšených koncentrací manganu dochází prakticky úplně samovolně v 6 km dlouhém přivaděči surové vody.

Voda se zbytkovým chlorem je s využitím přetlaku následně čerpána na dvojici podzemních vodojemů v lokalitě Na Františku. Podrobné technologické schéma úpravny je na obrázku (obr. 1).



Obr. 1. Technologické schéma ÚV Chlumec nad Cidlinou před změnami

Zdrojem surové vody je Prameniště Třešice – Písek, konkrétně pak trojice podzemních vrtů, které jsou součástí geologické struktury tzv. Urbanické brány. V oblasti jsou četné lokality těžby štěrkopísků a vytěžená jezera a také poměrně intenzivní zemědělská činnost. Vrty jsou hluboké 12 – 14 metrů a jsou charakteristické zvýšeným obsahem železa a mangani a poměrně vysokou tvrdostí.



Obr. 2. Situace přivaděče z prameniště Třešice – Písek na ÚV Chlumec nad Cidlinou

Naprostým specifikem této úpravny a lokality je asi 6 km dlouhý přivaděč surové vody z prameniště v lokalitě Třešice – Písek (viz obr. 2). Voda je dopravována jako surová

bez chlorace a jakéhokoliv zásahu. A právě v tomto přivaděči dochází k samovolné oxidaci manganu a jeho ukládání na stěnách potrubí ve formě MnO<sub>2</sub>. Funguje tak jako samovolná a neřízená úpravna vody na mangan. Přivaděč je tak nutné jednou za 2–3 roky mechanicky čistit. Protože ještě při čerpání z vrtů je veškerý mangan v rozpuštěné formě, přikláníme se k hypotéze, že přičinou ukládání manganu na stěnách je činnost manganatých bakterií, které se mohou vyskytovat v potrubí a svojí činnost vykonávají díky absenci dezinfekce a přítomnosti kyslíku z čerpání.

### **Nález metabolitů pesticidních látek**

V září roku 2019 byly článkem v časopise SOVAK [1] zveřejněny informace o nálezech metabolitů pesticidních látek v podzemních i povrchových zdrojích. Z tohoto důvodu jsme nechali odebrat vzorky pitné vody z vodovodní sítě v Chlumci nad Cidlinou. Po třech dnech byly známy výsledky, které bohužel potvrzily přítomnost metabolitů Acetochlor ESA a Acetochlor OA (zvýrazněny červeně v tabulce tab. 1) v analyzovaném vzorku v nadlimitním množství a zároveň mnoho dalších pesticidů a jejich metabolitů v množství podlimitním.

Největším problémem jednoznačně byl Acetochlor ESA a Acetochlor OA, které patří mezi tzv. relevantní metabolismy a mají nízký základní limit 0,10 µg/l stejně jako samotné pesticidy. Tento nález představoval překročení nejvyšší mezní hodnoty, dle vyhlášky 252/2004 Sb., což nás donutilo začít věc ihned řešit.

Nález zvýšených koncentrací metabolitů pesticidních látek nad hygienický limit byl potvrzen opakovaným odběrem dne 26. 9. 2019.

### **Okamžitá pomoc – napojení na Vodárenskou soustavu Východní Čechy**

Společnost Královéhradecká provozní jakožto provozovatel vodovodu měla dvě možnosti. Bud' zahájit jednání s hygienickým orgánem o udělení krátkodobé hygienické výjimky, nebo urychleně realizovat náhradní zásobení vodovodu pitnou vodou z jiných zdrojů. Vybrána byla možnost druhá, hygienický orgán byl informován a bylo postupováno ve spolupráci.

Vodovod Chlumec nad Cidlinou je napojen do vodárenské soustavy Východní Čechy. Propojení jsou ale kapacitně nedostatečná, a proto byl vodovod vždy provozován jako samostatný celek bez jejich využití. Tato propojení jsou dvě – severním směrem je napojen na vodovod Nový Bydžov, na východě je pak propojen s vodovodem obcí ležících okolo Hradce Králové.

S cílem řešit výše zmíněný problém bylo rozhodnuto tuto možnost dočasně využít. V pátek 27. 9. 2019 byla z provozu zcela odstavena ÚV Chlumec nad Cidlinou a všechna propojení byla naplněna otevřena. I přes změnu směru zásobení nedošlo k významným zákalům na síti. Výhodou bylo také to, že akce probíhala v podzimním chladném období, kdy je menší spotřeba vody. V létě, kdy se napouští bazény a zalévají zahrady, by propojení kapacitně nestačilo. Stejně tak nebyl dostatek vody pro případnou poruchu, vodojem se dařilo držet plný s vypětím všech sil i kapacity propojů. S řešením nebylo možné čekat na zimu, mráz a případné poruchy a bylo nutné jednat rychle.

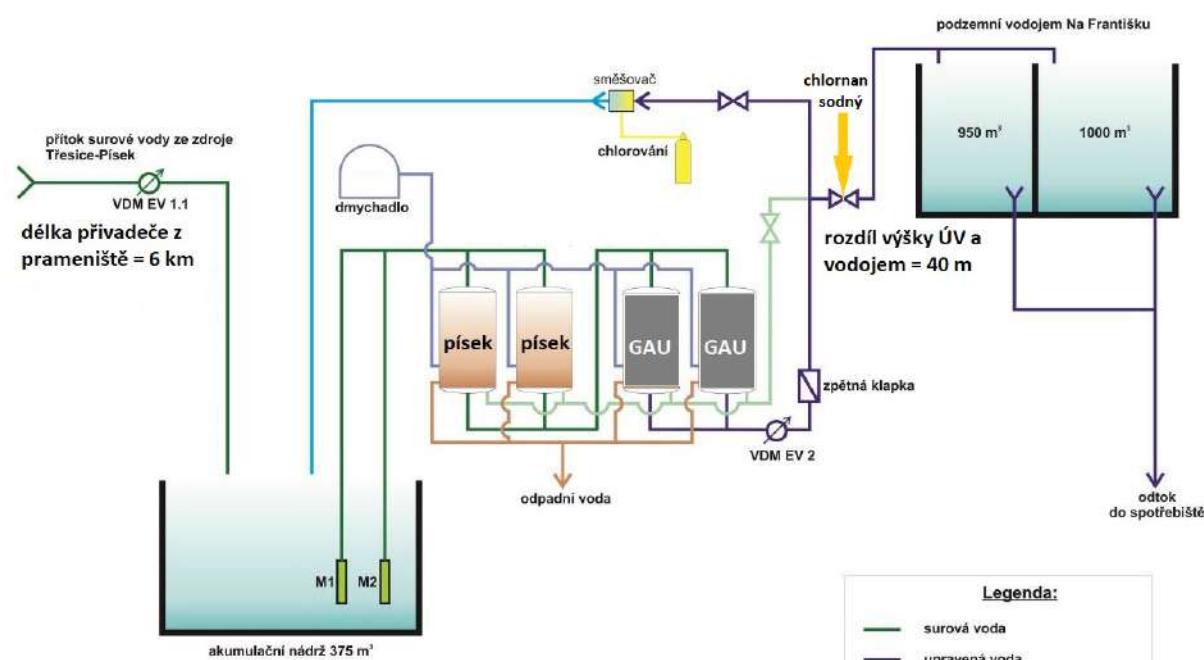
**Tab. 1. Rozbory před instalací GAU a následné rozbory surové vody**

LÁTKA	RELEVANCE	LIMIT	VODOVOD CHLUMEC 23. 9. 2019	SUROVÁ ÚV 5. 11. 2019	SUROVÁ ÚV 21. 1. 2020
<b>µg/l</b>					
<b>ACETOCHLOR ESA</b>	relevantní	0,10	0,260	0,200	0,251
<b>ACETOCHLOR OA</b>	relevantní	0,10	0,130	0,110	0,105
<b>PROPACHLOR ESA</b>	relevantní	0,10	0,099	0,110	0,072
<b>ALACHLOR ESA</b>	nerelevantní	1,00	0,190	0,150	0,171
<b>ALACHLOR OA</b>	nerelevantní	1,00	0,015	<0,010	0,015
<b>METOLACHLOR ESA</b>	nerelevantní	6,00	0,130	0,096	0,122
<b>METOLACHLOR OA</b>	nerelevantní	6,00	0,021	0,012	0,089
<b>METAZACHLOR ESA</b>	nerelevantní	5,00	0,430	0,350	0,354
<b>METAZACHLOR OA</b>	nerelevantní	5,00	0,200	0,160	0,178
<b>DIMETACHLOR ESA</b>	potencionálně	0,10	0,046	0,040	0,049
<b>CHLORIDAZON -METHYLDESPHENYL</b>	nerelevantní	6,00	0,934	-	-
<b>CHLORIDAZON</b>	základní látka	0,10	0,018	-	0,016
<b>BENTAZON</b>	základní látka	0,10	0,011	-	-

## Zvolené technické řešení

Rychlé řešení změny technologie úpravy vody se nabízelo vzhledem k technologické sestavě na ÚV Chlumec a faktu, že písková filtrace byla dvoustupňová, zatímco k úpravě vody dochází z největší části samovolně v přivaděči a druhý stupeň již vodu pouze dočišťuje. Naštěstí byly k dispozici provozní rozbor technologa, které dokládaly, že po 1. stupni filtrace je železo i mangan zcela odstraněné. Z toho vyplynul návrh změny technologie spočívající pouze ve výměně filtrační náplně na druhém stupni, kdy by místo písku bylo nasypáno granulované aktivní uhlí.

Vzhledem k tomu, že GAU odstraní i zbytkový chlór původně užívaný k hygienickému zabezpečení vody do sítě, bylo nutné doplnit dávkování chlornanu sodného za nový druhý stupeň filtrace. Velikost instalovaných filtrů umožnila při snížení výroby na 13 l/s kontaktní dobu uhlí s vodou na přibližně 13 minut, což je možno považovat za hraničně dostatečné. Ke konzultaci tohoto návrhu byl přizván i odborný projektant Ing. Smažík a během několika dní bylo rozhodnuto o okamžité realizaci. Technologické schéma ÚV Chlumec nad Cidlinou po úpravách je na obrázku (obr. 3).



Obr. 3. Technologické schéma ÚV Chlumec nad Cidlinou po provozní úpravě

## Dodávka GAU uhlí v rekordním čase

Pro rychlé řešení problému bylo nutné získat 12 m<sup>3</sup> uhlí, které bylo skladem v Evropě. Jako jediný vhodný dodavatel se jeví společnost ENVI-PUR, s.r.o., která v České republice zastupuje polského výrobce Grand Activated a dodává na náš trh uhlí WG12 s potřebnými atesty. Potřebné množství bylo naštěstí ve skladech v Polsku.

To bylo hned v pátek 27. 9. 2019 objednáno a v úterý 1. 10. 2019 dovezeno na ÚV v Chlumci nad Cidlinou.

## Výměna filtračních náplní

Původní pískové filtry byly v průběhu dvou pracovních dnů ručně vytěženy pracovníky z vodárenského střediska přes revizní otvor pomocí kyblíků a lopat. Ve středu 2. 10. 2019 na úpravnu dorazil zapůjčený hydroejektor z ÚV Mostiště a hned ve čtvrtek 3. 10. bylo pomocí tohoto stroje uhlí do filtrů naplněno. Další 3 dny byly ponechány na smáčení

naplněného uhlí ve filtroch a hned v pondělí 7. 10. 2019 ráno bylo zahájeno první praní dodaného GAU za odborného dozoru dodavatele firmy ENVI-PUR s.r.o. Ukázalo se, že dopírání je potřeba řídit do stabilního pH (výluh z nového uhlí má pH poměrně vysoké).

Současně se nám podařilo doplnit novou technologii chlorace vyrobené vody chlornanem sodným za GAU filtry, namísto původně využívaného zbytkového chloru z oxidace železa a mangantu.

Tímto byla úpravna vody Chlumec nad Cidlinou připravena k opětovnému uvedení do provozu. Byl sepsán dodatek k provoznímu řádu popisující novou technologii, včetně samozřejmě projednána s KHS.

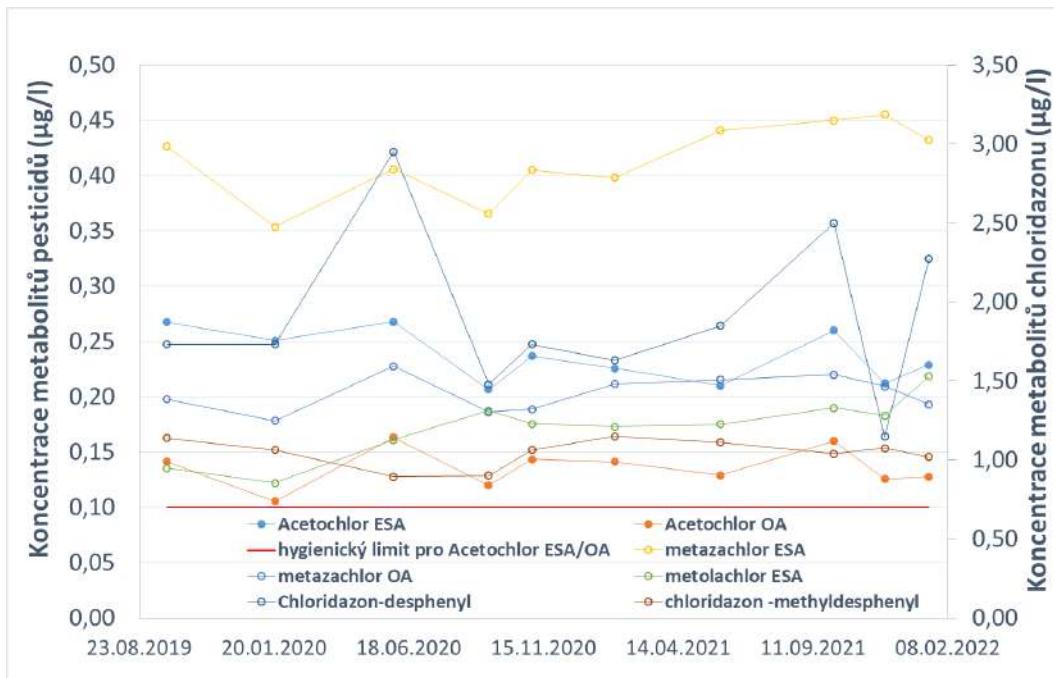
Dne 5. 11. 2019 byla zahájena výroba vody, která byla prozatím vypouštěna do kanalizace, a následně byl odebrán vzorek pro úplný rozbor pitné vody s rozšířenými pesticidními metabolismy. Výsledek byl ve všech parametrech vyhovující – všechny pesticidní látky i jejich metabolismy byly pod mezí stanovení. GAU uhlí tedy vše spolehlivě odstranilo. Díky této výsledkům mohla být úpravna dne 10. 11. 2019 – asi po 5 týdnech od nálezu pesticidních látek – opět uvedena do provozu. První rozbor a i výsledky za první tři měsíce byly poměrně nezajímavé (proto nejsou ve sborníku publikovány), nicméně pro nás byly pozitivní.

**Všechny hodnoty byly podmezí stanovení analytických metod. Sorpce metabolitů pesticidních látek na granulovaném uhlí byla tedy úplná.**

## PROVOZNÍ VÝSLEDKY V DELŠÍM ČASOVÉM OBDOBÍ

### Vývoj kvality surové vody – pesticidní látky ve zdroji

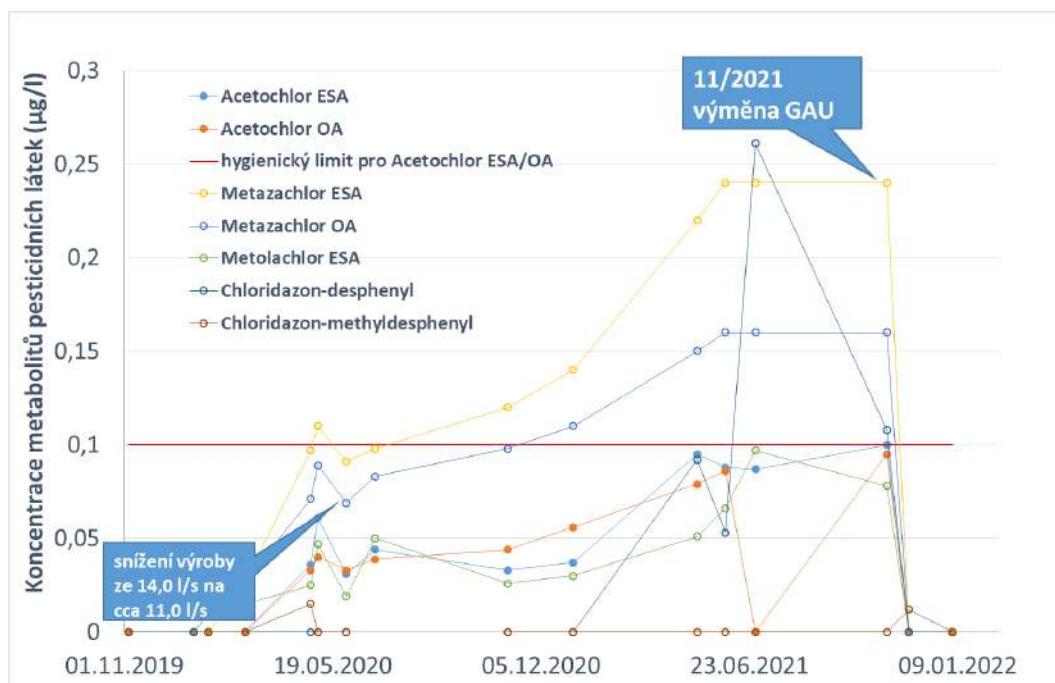
Během provozu úpravny je v režimu 4× ročně sledován obsah pesticidních látek ve směsi vody ze zdrojů prameniště Třešice – Písek, který je na následujícím obrázku (obr. 4). Kontaminace pesticidy má setrvalý trend – lehce kolísá podle ročních období a srážek. Největším problémem nadále zůstávají relevantní metabolismy Acetochlor ESA a OA, na druhou stranu největší koncentrace pesticidů jsou v případě metabolitů chloridazonu, kde byly dosaženy až obrovské hodnoty téměř 3,0 µg/l.



Obr. 4. Vývoj obsahu pesticidní látek ve zdrojích Třešice – Písek ve sledovaném období

## Vývoj kvality upravené vody

Na obrázku (obr. 5) je pak vývoj kvality upravené vody za ÚV Chlumec nad Cidlinou. Z obrázku je patrné, že zhruba po 4 měsících provozu se v únoru 2020 objevily první nenulové nálezy Metolachloru OA a Metazachloru ESA. Od té doby docházelo k postupnému růstu koncentrací s tím, jak se vyčerpávala kapacita GAU. V květnu 2020 jsme se rozhodli poměrně zásadně zbrzdit tento růst snížením výroby na ÚV a tím k prodloužení kontaktní doby na GAU. Od té doby bylo využíváno propojení s vodárenskou soustavou a vodu pro vodovod Chlumec n. C. jsme začali s touto vodou (neobsahující pesticidy ani jejich metabolity) mísit. Obsah pesticidů a jejich metabolitů jsme pečlivě monitorovali, ale rostoucímu trendu jsme nebyli schopni zabránit ani snížením objemu vyráběné vody. V listopadu 2021, téměř přesně po 2 letech provozu, došlo k tomu, že hodnoty obsahu Acetochloru ESA dosáhly hygienického limitu 0,1 µg/l a opět jsme se dostali do situace, kdy bylo nutné přistoupit k výměně GAU. Celá akce byla tentokrát již dopředu naplánovaná a granulované aktivní uhlí od dodavatele z Polska bylo zavčasu objednáno a dovezeno na místo, takže jsme po přislíbení hydroejektoru na 16. 11. 2021 naplánovali odstávku úpravny a v průběhu dvou dnů staré granulované uhlí z filtrů vytěžili a nový materiál do nich umístili. Vše proběhlo podle plánu, po vyprání náplně jsme spustili zkušební provoz bez čerpání vyrobené vody do vodojemu, během kterého byl odebrán vzorek vyrobené vody pro kontrolu účinnosti sorpce pesticidů a jejich metabolitů. Po obdržení výsledků tohoto úplného vzorku, z nichž vyplynulo, že GAU filtrace opět plní svůj účel a účinně odstraňuje veškeré pesticidy i jejich metabolity, jsme opět zahájili výrobu vody na úpravně a její čerpání na vodojem a distribuci spotřebitelům v Chlumci nad Cidlinou a okolí.

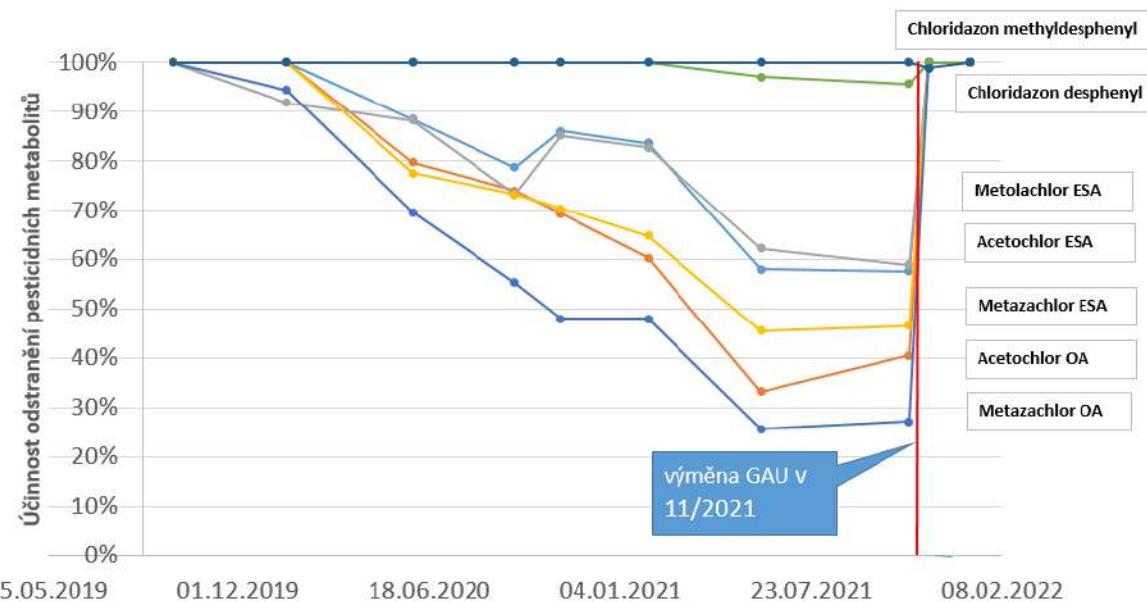


Obr.5. Vývoj obsahu pesticidní látek v upravené vodě za ÚV Chlumec nad Cidlinou

## Různá účinnost odstranění různých metabolitů pesticidních látek

Při porovnání dat na obrázcích č. 4 a č. 6 si lze všimnout, že sorpce všech metabolitů pesticidních látek neprobíhá se stejnou účinností. S klesající kapacitou GAU se začínají objevovat významné rozdíly. Na první pohled je patrné, že největší ochotu k sorpci mají metabolity Chloridazonu, kde účinnost stále dosahuje 95–100 %. Nejproblematický Acetochlor ESA/OA je ve spodní polovině pořadí účinnosti separace, kde účinnost odstranění už klesá pod 50 %. Látka, která začala přes GAU procházet jako první a kde je účinnost

odstranění i méně než 30 % je Metazachlor OA a podobně je na tom i Acetochlor OA. Tento jev s velkou pravděpodobností souvisí s polaritou a strukturou molekuly metabolitu pesticidní látky a hraje pravděpodobně obrovskou roli při odstranění pesticidních látek na GAU.



**Obr.6. Přehled účinnosti odstranění metabolitů pesticidních látek na GAU filtroch ÚV Chlumec nad Cidlinou**

## ZÁVĚR

Přidání GAU filtrace jako 2. stupně úpravy surové vody bylo možné realizovat s ohledem na dosavadní technologii instalovanou na úpravně a fakt, že v surové vodě obsažený mangan je oxidován a ukládán na stěnách potrubí přivaděče z prameniště do místa úpravy a není už nutné jeho obsah dvoustupňovou pískovou filtrací snižovat.

Bylo však nutné technologii úpravny doplnit o dávkování chlornanu sodného za nový druhý stupeň filtrace, jelikož GAU odstraňuje i zbytkový chlór původně používaný k hygienickému zabezpečení vody do sítě.

Při realizaci bylo využito i možnosti propojení samostatně provozovaného vodovodu na vodárenskou soustavu VSVČ bez nutnosti vyhlášení hygienické výjimky.

I přesto se naše rychle realizované řešení jeví pouze jako dočasné a již po dvou letech provozu bylo nutné přistoupit k výměně náplně GAU filtrů, aby bylo dosaženo dostatečné sorpcní kapacity pro takto pesticidy kontaminovanou surovou vodu. Navíc technologie na ÚV dozívá vzhledem k celkové zastaralosti a korozi zařízení.

Letos byla proto zahájena projektová příprava výstavby zcela nové úpravny.

## PODĚKOVÁNÍ

Děkujeme společnosti EKO EKO, s.r.o. (Ing. Josef Smažík) za výbornou spolupráci a cenné rady, společnostem ENVI-PUR, s.r.o. a GDF, s.r.o. za rychlosť, ochotu, kvalitu a zejména chuť rychle řešit problémy. Děkujeme i kolegům z ÚV Mostiště (VAS, a.s.) za kolegiální výpomoc a pravidelné zapojení hydroejektoru. A v neposlední řadě děkujeme vlastnické společnosti VAK Hradec Králové, a.s. jakožto uvědomělému vlastníkovi.

## LITERATURA

- Kodeš V. Hušková R. (2019). Pesticidní látky s pravděpodobným výskytem ve zdrojích. Časopis SOVAK, 7-8(2019), p. 12–14

# **ODSTRAŇOVÁNÍ MIKROPOLUTANTŮ VYUŽITÍM POKROČILÝCH SORPČNÍCH MATERIÁLŮ URČENÝCH PRO FILTRY PRO DOMÁCNOST**

**Ing. Tomáš LEDERER, Ph.D., Ing. Michal KOMÁREK, Ph.D.,  
Bc. Petra ŠUBRTOVÁ, Mgr. Milena JOHNOVÁ**

Technická univerzita v Liberci, Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace,  
Oddělení technologie životního prostředí, Studentská 2, 461 17 Liberec 1  
E-mail: [tomas.lederer@tul.cz](mailto:tomas.lederer@tul.cz)

## **ÚVOD**

V poslední době se na trhu začínají objevovat různé typy sorpčních filtrů pro domácnost, jejichž cílem je odstraňování reziduálních organických látek z pitné vody přímo u spotřebitele, zpravidla před vodovodní baterií v kuchyních. Standardně používané vodárenské technologie nejsou schopny odstraňovat výše uvedené kontaminanty s dostatečnou účinností a takto se mohou (naštěstí ve výjimečných případech) dostávat v koncentracích desetin mikrogramů na litr vody až ke konečným spotřebitelům. Přispěvek se zabývá adsorpčním odstraňováním mikropolutantů z pitné vody, uměle kontaminované vybranými pesticidy a farmaky. Testovány byly různé typy pokročilých sorpčních materiálů ve srovnání s aktivním uhlím, v závěru byl proveden pilotní dynamický sorpční test s filtrem na bázi uhlíkových nanotrubiček, simulující reálné provozní podmínky. Další testované sorpční materiály byly grafenoxid a jeho redukovaná forma. Cílem bylo ověřit funkčnost výše zmíněných sorpčních materiálů a jejich kvantifikované porovnání a současně vzájemně porovnat dostupné pokročilé sorpční materiály na bázi strukturovaných forem uhlíku<sup>°-°</sup> uhlíkové nanotrubičky jako 3D struktura a grafenoxid a redukovaný grafen oxid jako planární struktury.

## **METODIKA**

- Proměření kinetiky sorpce mikropolutantů materiály na bázi uhlíkových nanotrubiček, grafenoxidu a jeho redukované formy a jejich porovnání s běžným aktivním uhlím.
- 3 skupiny mikropolutantů (pesticidy, antibiotika a analgetika).
- Návrh a realizace experimentální aparatury pro dynamický střednědobý sorpční test.
- Proměření průnikové křivky pro filtr s náplní na bázi uhlíkových nanotrubiček

### **Jednorázové sorpční testy – proměření kinetiky sorpce**

Testy byly provedeny jako jednorázové vsádkové krátkodobé (batch) kinetické testy s různými koncentracemi sorpčního materiálu. Koncentrace sorbentu byla volena s ohledem na typ a předpokládanou cenu materiálu ve vztahu k běžně používanému aktivnímu uhlí, pro které byla, jako pro referenční sorbent, zvolena koncentrace 1 g/l.

Testy byly realizovány za běžné laboratorní teploty cca 20°C.

### *Testované materiály*

- Granulované aktivního uhlí pro vodárenské účely (Brenntag, K 835) se specifickým povrchem 1020 – 1050 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Použita byla koncentrace 1 g/l,
- uhlíkové nanotrubičky imobilizované na pískovém loži. Použita byla koncentrace 0,8 g/l s ohledem na předpokládaný maximální obsah uhlíkových nanotrubiček 0,2 g/l (25 % hmotnostních),

- experimentálně připravený grafenoxid a jeho redukovaná forma v koncentraci 0,2 g/l. Oxid grafenu byl syntetizován z grafitových vloček pomocí modifikované Hummersovy metody.

#### *Modelová voda*

Vodovodní voda (vodárna Bedřichov, zdroj vodní nádrž Josefův důl) byla odplněna (zbavena residiálního chloru) jemnobublinnou aerací po dobu 1 hodiny při laboratorní teplotě.

Takto upravená vodovodní voda byla naspikeována (kontaminována) směsí modelových kontaminantů v koncentracích o řadu vyšších, než jsou reálné:

- jako zástupce pesticidů byl používán atrazin (pro test s grafenoxidem ještě Alachlor) v koncentraci cca 1 µg/l,
- směs antibiotik (Clarithromycin, Nifuroxazid, Penicilin) o koncentracích cca 2 µg/l každé látky,
- směs analgetik (ibuprofen a paralen) opět o koncentraci cca 2 µg/l každé látky.

Přesná koncentrace jednotlivých kontaminantů byla stanovena vždy počáteční analýzou v naspikeované vodě před zahájením kinetického testu (před smícháním vody a sorbentu).

#### *Pracovní postup*

Nejprve byl nadávkován sorbent, tedy do každé reakční cely (uzavřena reakční láhev o užitném objemu 1 L) bylo nadávkováno příslušné množství sorbentu. Následně bylo do každé cely vlito 1000 ml odplněné naspikeované vodovodní vody

Sorpce byla sledována po dobu 10 minut s ohledem na požadovanou krátkou dobu zdržení v uvažovaném filtru pro domácnost a vzorky byly odebírány v intervalech 1, 3, 5 a 10 minut. Vzhledem k nízké frekvenci vzorkování a nutnosti okamžité separace sorbentu od čištěné vody byl každý jednotlivý test realizován samostatně, tedy testy byly provedeny postupně pro každý reakční čas.

Nádoby byly umístěny na třepačku (IKA KS 260 basic) s rychlosí 200 kmitů za minutu tak, aby byl sorbent udržován ve vznosu. Ve zvoleném časovém intervalu byla lahev odebrána a okamžitě přefiltrováno min. 100 ml vzorku přes propláchnutý skleněný filtr pórovitosti 0,4 µm. Vzorek byl zachlazen a předán na instrumentální analýzu. Filtrace přes skleněný filtr byla zvolena jako optimální metoda s ohledem na účinnost separace sorbentu a minimalizaci sorpce na filtrační materiál (centrifugace na dostupném zařízení s 10000 rpm byla pro grafen oxid nedostačující a u všech komerčně dostupných polymerních ultrafiltračních membrán byla zjištěna značná a variabilní sorpce kontaminantů)

#### *Instrumentální analýza kontaminantů*

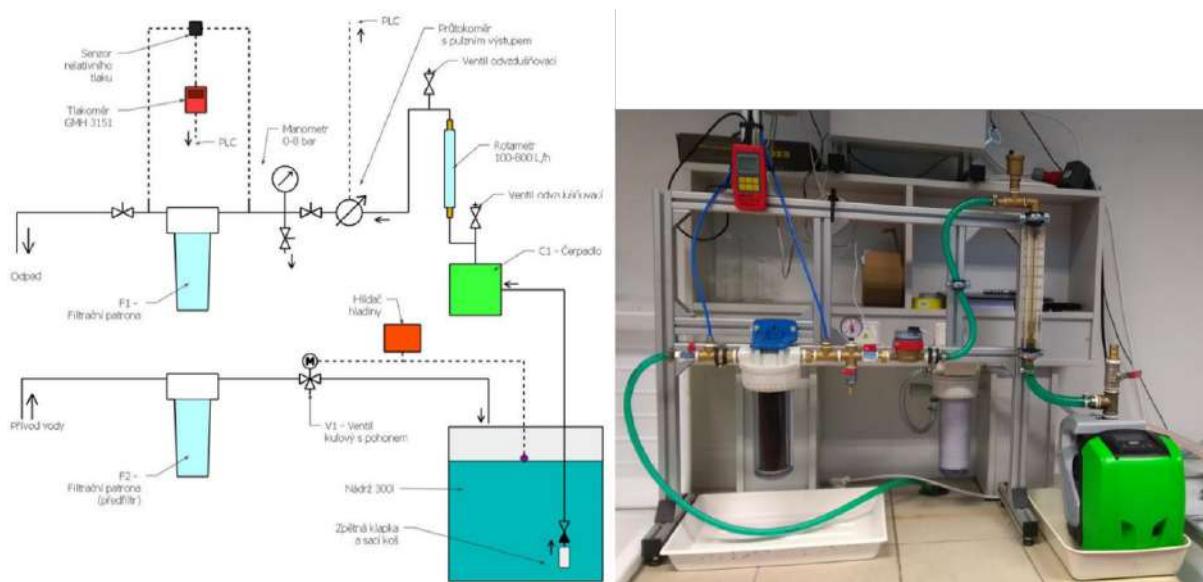
Vzorky byly měřeny na MS spektrometu s vysokým rozlišením Sciex X500R QTOF. Byly měřeny v pozitivním MRM módu s vysokým rozlišením. Byly sledovány MRM přechody Paracetamolu 152→93 a 152→65 m/z, D4Paracetamolu 156→114 m/z, Ibuprofenu 207,1→161 a 207,1→119 m/z, Atrazin 216,1→174 a 216,1→68 m/z, Alachloru 270,1→147,2 a 270,1→220,1 m/z, D3Alachloru 273,1→48 m/z, Nifuroxazidu 276,1→121 a 276,1→65 m/z, Penicilinu V 351,2→114 a 351,2→160 m/z a Clarithromycinu 748,5→113 748,5→590,2 m/z. Rovněž bylo zaznamenáváno fullscan spektrum ve vysokém rozlišení v rozmezí m/z 150-900. Teplota zdroje byla nastavena na 500°C, sprejovací napětí na 5500 V, Gas 1 30 PSI, Gas 2 40 PSI, Curtain gas 35 PSI. Separace probíhala na koloně YMC Triart C18 o délce 100 mm a vnitřním průměru 2 mm s částicemi o velikosti 3 µm a odpovídající předkolonou. Mobilní fáze byla tvořena 0,1 % kyselinou mravenčí ve vodě (vodná složka) a methanolem MS čistoty (organická složka). Byl použit 16 min trvající vícestupňový lineární gradient počínající na podílu 10 % organické složky a končící na podílu 90 % organické složky. V čase 1 minuta měla mobilní fáze složení 90 % vodné složky a 10 % organické složky. V čase 7 minut byl

podíl vodné složky 30 %, v čase 10,1 minut 10 %, v čase 13,5 m 10 % a v čase 13,7 minut 90 %, stejně jako v čase 16,2 minut. Chromatogramy byly zaznamenávány po dobu 15 min. Průtok mobilní fáze činil 420  $\mu$ l/min a teplota kolonového kompartmentu byla nastavena na 40°C. Bylo nastřikováno 50  $\mu$ l vzorku.

### Dynamický střednědobý sorpční test

Pro účely dynamického testu simulujícího reálnou aplikaci (přerušované využití filtru v kuchyni domácností) byla navržena a zkonstruována testovací trať umožňující simulovat předpokládané využití filtru pro domácnost, a to ve zrychleném semikontinuálním režimu. Doba testování byla 5 dní a přes testovanou filtrační vložku bylo postupně přefiltrováno celkem 3000 litrů naspikované (uměle kontaminované) vodovodní vody.

Testování vlastností filtračního elementu (H2O nanotec) bylo uskutečněno za detailně kontrolovaných testovacích podmínek blížících se reálné aplikaci filtru v domácnosti. Laboratorní testování probíhalo v laboratořích CXI TUL na vytvořené testovací aparatuře, umožňující průběžnou kontrolu vlastností filtračního elementu. Testovací aparatura umožňuje automatické ukládání hodnot aktuálního průtoku a tlakové ztráty. Tato funkce je zajištěna využitím PLC v kombinaci s ovládacím software, jenž byl vytvořen a optimalizován specificky pro tyto konkrétní aplikace. Dále bylo použito čerpadlo s možností programování chodu (regulace konstantního vstupního tlaku, vypnutí po dosažení definovaného proteklého objemu a rozpoznání krizových situací (chod naprázdno)). Schéma zapojení a fotodokumentace testovací aparatury jsou uvedeny na obrázku (obr. 1).



**Obr. 1. Schéma a fotodokumentace zapojení testovací aparatury pro dynamické zkoušky**

Nastaven a reguloval byl maximální vstupní tlak 2 bary a maximální průtok 300 l/h. Tlak byl v průběhu experimentu udržován konstantní, průtok klesal v čase dle vývoje tlakové ztráty na filtru.

#### Testovaný materiál

uhlíkové nanotrubičky imobilizované na pískovém loži, sendvičově uzavřené nanovlákkennou membránou. Pro experiment byla otestována filtrační kartuše obsahující 2,2 kg mokrého sorpčního materiálu.

### *Modelová voda*

Vodovodní voda (vodárna Bedřichov, zdroj vodní nádrž Josefův důl) byla odplyněna (zbavena residiálního chloru) hydrodynamickým mícháním v IBC kontejneru o objemu 300 L v průběhu plnění, 0,5 až 1 hodinu při laboratorní teplotě.

Takto upravená vodovodní voda byla naspikována (kontaminována) směsí modelových kontaminantů obdobně, jako při jednorázových testech (pesticidy 1 µg/l, antibiotika 2 µg/l a analgetika 4 µg/l). Přesná koncentrace jednotlivých kontaminantů byla stanovena vždy počáteční analýzou v naspikované vodě.

### *Pracovní postup*

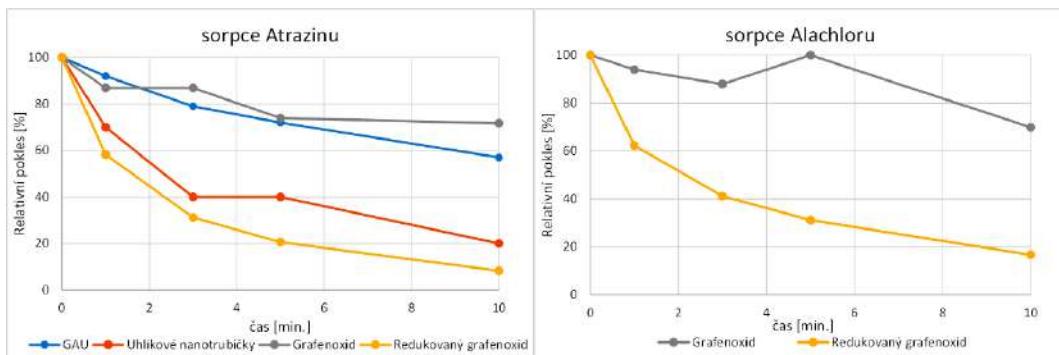
Dynamický filtrační test probíhal semikontinuálně v dávkách po 300 litrech. Nejprve byl vždy naplněn IBC kontejner objemu 300L vodovodní vodou z řádu mechanicky předčištěnou běžným svíčkovým filtrem pro domácnosti o pórovitosti 50 µm, nadávkována výše uvedená směs kontaminantů a kontejner kontinuálně míchán ponorným čerpadlem. I přes použitou mikrofiltraci voda obsahuje zbytkové železo, které dle našich zkušeností způsobuje zanášení filtračních materiálů s velikostí pórů menších než 1 µm. Následně byla spuštěna filtrace přes testovanou filtrační vložku a vždy na konci batche (po přefiltrování 300 litrů vody) odebrán vzorek za filtrem pro analýzy.

### *Instrumentální analýza kontaminantů*

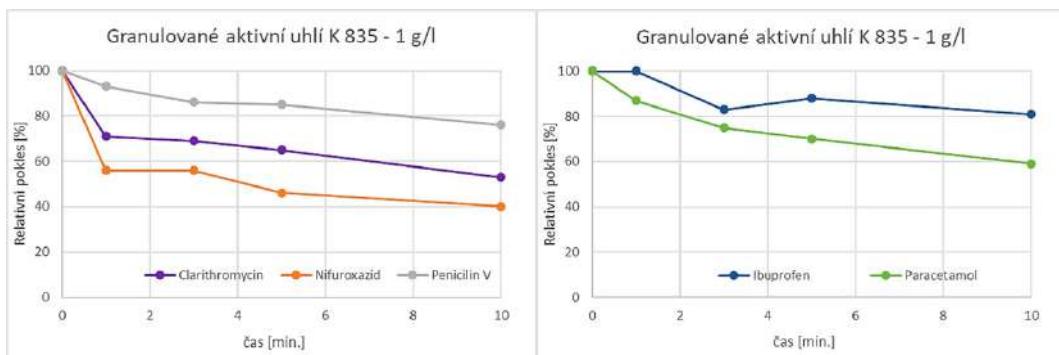
Vzorky byly měřeny stejnou metodikou jako v případě jednorázových kinetických testů.

## **VÝSLEDKY JEDNORÁZOVÝCH TESTŮ**

Výsledky kinetických sorpčních testů jsou pro jednotlivé sorpční materiály a pro jednotlivé skupiny kontaminantů summarizovány formou grafů, primárně jsou uvedeny testované pesticidy (obr. 2).



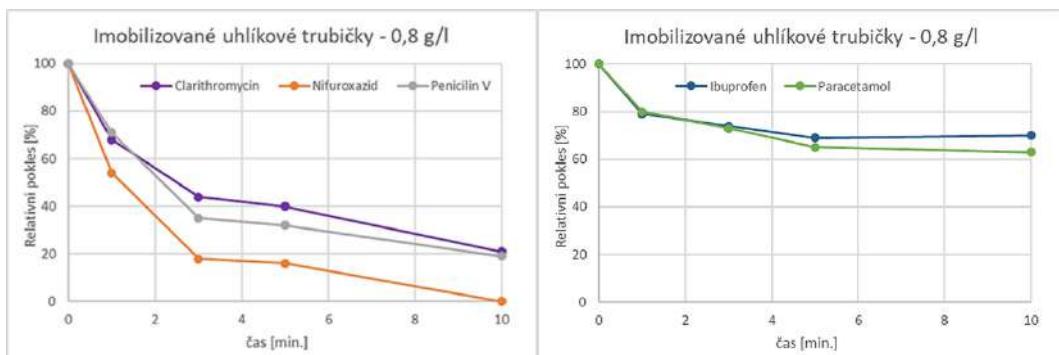
Obr. 2. Sorpce testovaných pesticidů na jednotlivé sorbenty



Obr. 3. Sorpce antibiotik a analgetik na granulované aktivní uhlí (K 835)

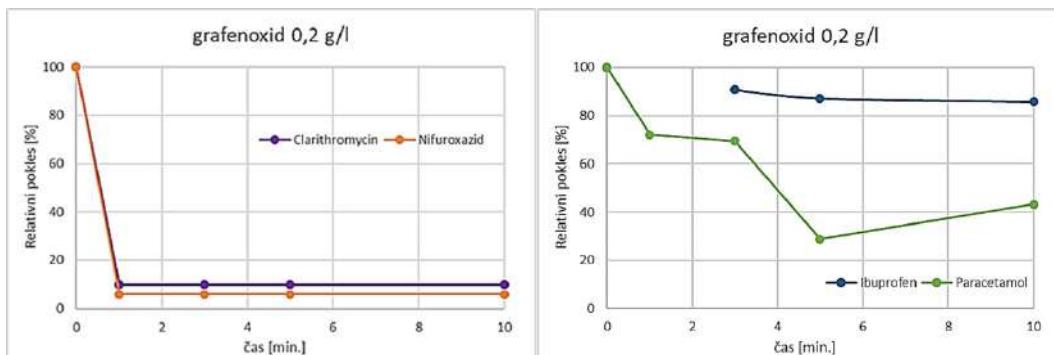
Z výsledků testu s granulovaným uhlím (obr. 3) je patrné, že kinetika sorpce jednotlivých kontaminantů při koncentraci GAU 1 g/l je natolik pomalá, že v průběhu testu nedošlo k odstranění nadávkovaných kontaminantů. Nejpomaleji se odstraňoval Penicilin a Ibuprofen, kdy se za 10 minut odstranilo pouze 20 %. Další skupinu tvořil Atrazin, Paracetamol a Clarithromycin, kde míra odstranění za 10 minut byla přibližně 40 %. Nejvyšší účinnosti dosáhla sorpce Nifuroxazidu, který byl odstraněn ze 60 %.

Na tomto místě je třeba poznamenat, že běžné aktivní uhlí má kapacitu pro organické látky minimálně 5 % hmotnosti, typicky až 10 %, samozřejmě dle typu organických látek. Pro nadávkovaný 1 g/l to představuje min. 50 mg sumy organických látek. V používané pitné vodě je celková suma organických látek ca 10 mg/l, celkový organický uhlík byl 4,8 mg/l a suma přidaných kontaminantů byla maximálně 15 mg/l. Sorpcní kapacita přidaného aktivního uhlí tedy neměla být vyčerpána a nízká účinnost je důsledkem kombinace pomalé kinetiky sorpce a předpokládané blokace aktivních míst za daných podmínek.



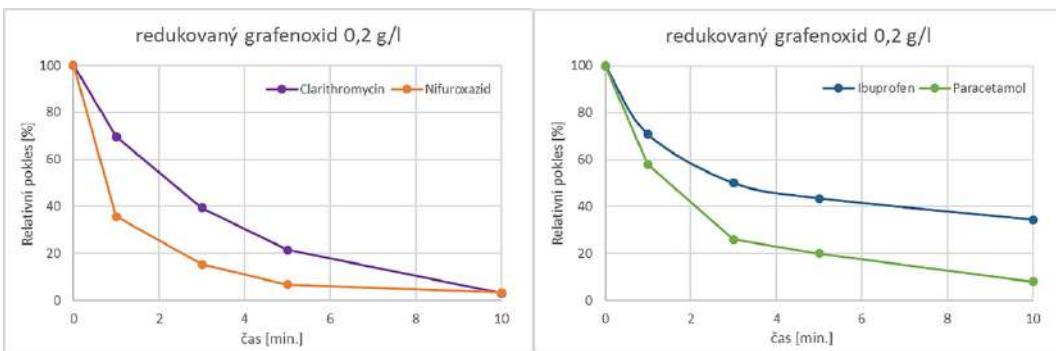
**Obr. 4. Sorpce antibiotik a analgetik na imobilizované uhlíkové trubičky**

Z výsledků testu s imobilizovanými uhlíkovými trubičkami (obr. 4) je patrné, že kinetika sorpce jednotlivých kontaminantů byla výrazně vyšší, ačkoliv v průběhu testu nedošlo k odstranění všech kontaminantů. Nejpomaleji se odstraňoval Paralen a Ibuprofen, kdy se za 10 minut odstranilo 40 %. Další skupinu tvořil Atrazin, Clarithromycin a Penicilin, kde míra odstranění za 10 minut byla již 80 %. Nejvyšší účinnosti opět dosáhla sorpce Nifuroxazidu, který byl odstraněn ze 100 %.



**Obr. 5. Sorpce antibiotik a analgetik na grafenoxid**

Z výsledků testu s experimentálně připraveným grafenoxidem (obr. 5) je patrné, že kinetika sorpce byla zcela odlišná ve srovnání s uhlíkovými trubičkami. Nejpomaleji se odstraňoval Ibuprofen, Atrazin a Alachlor, kdy se za 10 minut odstranilo pouze 30 % pesticidů a jen 10 % Ibuprofenu. Prakticky okamžitě byly odstraněny Clarithromycin a Nifuroxazid, kde se 90 % odstranilo již během první minuty.

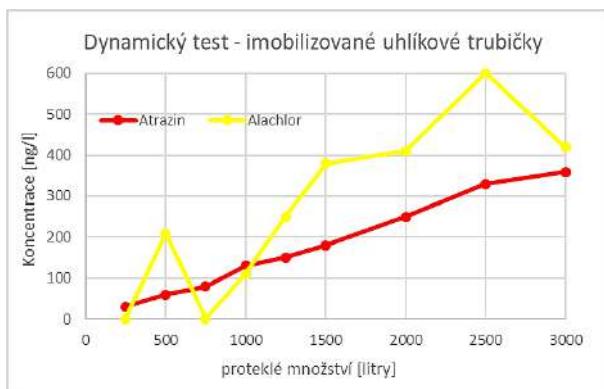


**Obr. 6. Sorpce antibiotik a analgetik na redukovaný grafenoxid**

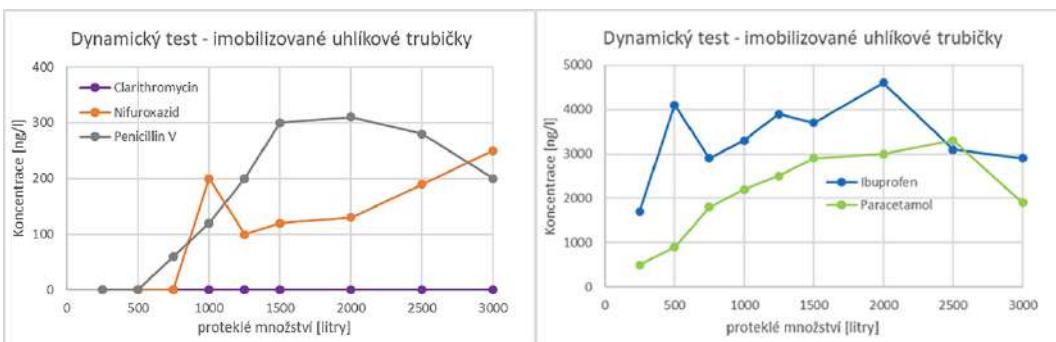
Z výsledků testu s experimentálně připraveným redukovaným grafenoxidem (obr. 6) je patrné, že kinetika sorpce je mezi testovanými materiály nejlepší. Velmi pravděpodobně se jedná o směs grafen oxidu a jeho redukované formy. Nejpomaleji se sice odstraňoval Ibuprofen, ale účinnost byla téměř 70% po 10°ti minutách. U atrazinu byla účinnost 90% a u Alachloru přes 80%. Velmi rychle a téměř kvantitativně byly odstraněny Clarithromycin a Nifuroxazidu, kde se 90% odstranilo již během první minuty.

### VÝSLEDKY DYNAMICKÉHO STŘEDNĚDOBÉHO TESTU

Výsledky dynamického testování komerčně dostupného sorpčního materiálu na bázi imobilizovaných uhlíkových trubiček (filtr H2O°nanotec) jsou pro jednotlivé skupiny kontaminantů opět sumarizovány formou grafů (obr. 7–8).



**Obr. 7. Sorpce testovaných pesticidů na imobilizované uhlíkové trubičky v dynamickém režimu**

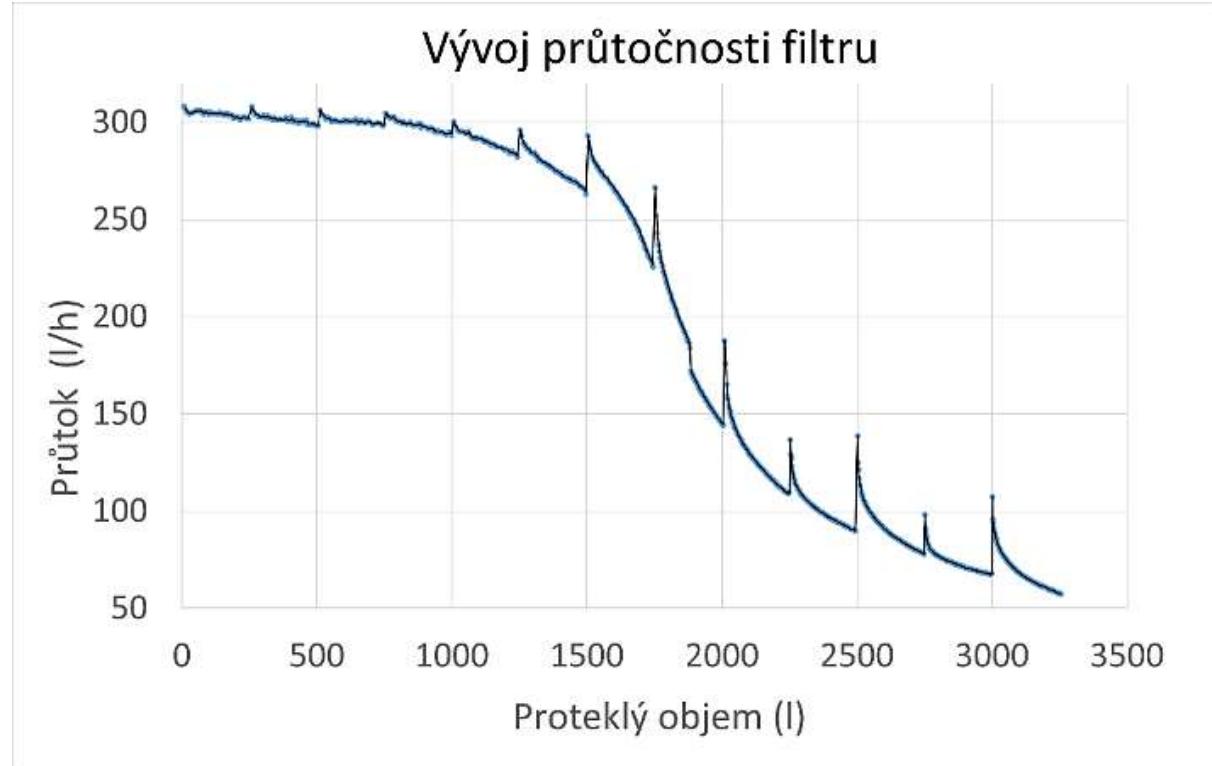


**Obr. 8. Sorpce antibiotik a analgetik na imobilizované uhlíkové trubičky v dynamickém režimu**

Z výsledků dynamického střednědobého testu s immobilizovanými uhlíkovými trubičkami je patrné, že sorpční kapacita se u jednotlivých kontaminantů velmi lišila. Nejrychleji se na odtoku z filtru vyskytovaly analgetika (vstupní koncentrace  $4\text{ }\mu\text{g/l}$ ), což souhlasí s výsledky jednorázových kinetických testů, kdy se analgetika sorbovaly nejhůře. Pesticidy Atrazin a Alachlor byly odstraňovány s účinností 90% až do proteklých 1000 litrů. Účinnost odstraňování Alachlora následně silně klesala a odtokové koncentrace narostly až na 500 ng/l (vstupní koncentrace  $1\text{ }\mu\text{g/l}$ ). Odstraňování Atrazinu byl mnohem účinnější a i po 3000 litrech byla účinnost cca 50 % (odtokové koncentrace byly do 400 ng/l). Koncentrace Penicilinu po 1500 litrech dosáhly nátokových hodnot (vstupní koncentrace  $2\text{ }\mu\text{g/l}$ ), u Nifuroxazidu byly odtokové koncentrace po 2000 litrech nad 1000 ng/l. Nejvyšší účinnosti bylo dosaženo pro Clarithromycin, který byl odstraňován ze 100 %.

Na konci experimentu byla zopakována analýza celkového organického znečištění. Filtr stále odstraňoval 1,4 mg/l DOC (odtoková koncentrace byla 3,5 mg/l oproti vstupní 4,9 mg/l DOC).

Průběh dynamického testování z hlediska zanášení filtrační vložky je uveden v následujícím grafu (obr. 9), který dokumentuje postupnou kolmataci filtru po cca 1500 litrech, která je způsobena nejpravděpodobněji reziduální koncentrací železa ve vodovodní vodě.



Obr. 9. Vývoj průtočnosti filtrační vložky s immobilizovanými uhlíkovými trubičkami

## ZÁVĚRY

Z výsledků jednorázových kinetických testů plyne, že kinetika sorpce je pro různé sorpční materiály a kontaminanty rozdílná a optimálním přístupem je kombinace sorpčních materiálů. Pesticidy Atrazin a Alachlor byly nejlépe odstraňovány uhlíkovými trubičkami a redukovaným grafenoxidem, ale sorpční kapacita se pro obě látky liší.

Grafenoxid dosahoval dobrých výsledků pro antibiotika Clarithromycin a Nifuroxazid, velmi účinný byl pro Paracetamol. Naopak pro sorpci pesticidů Atrazin a Alachlor se ukázal jako zcela nevhodný.

Optimální výsledky byly zjištěny v testech s redukovaným grafenoxidem, kdy kombinace grafenoxidu a jeho redukované formy vedla k eliminaci všech testovaných látek.

Pokles účinnosti sorpce filtrační vložky s imobilizovanými uhlíkovými trubičkami při dynamickém testu se kryl s poklesem propustnosti – hydraulického výkonu, tedy s kolmatací filtru.

Pokles účinnosti odstraňování nemusí tak neprodleně souviset s vyčerpáním kapacity filtrační vložky, jako je ovlivněn nepřístupností aktivní plochy vlivem mechanické kolmatace filtru.

Pro optimalizaci procesu sorpce je pak vhodné předřadit předfiltr mechanických nečistot (optimálně ultrafiltrační) i za cenu tlakové ztráty a poklesu hydraulického výkonu filtru.

Střednědobý test nezohledňuje možnost kolmatace filtru tvorbou biofilmu, zejména s ohledem na přerušovaný režim využití filtru a eliminaci zbytkového volného chloru při přerušení provozu (nepoužívání filtru).

## **PODĚKOVÁNÍ**

Práce byla podpořena projektem VI04000014, Vývoj mobilní energeticky nezávislé jednotky úpravny pitné vody pro pohotovostní nasazení v krizových situacích

# **PRVOTNÉ ZÍSKANIE ÚDAJOV O VÝSKYTE VYBRANÝCH NOVO ZARADENÝCH UKAZOVATEĽOV V REVIDOVANEJ SMERNICI PRE PITNÚ VODU VO VYBRANÝCH VODÁRENSKÝCH ZDROJOCH**

**Ing. Anna VAJÍČEKOVÁ, Ph.D., Ing. Karol MUNKA, Ph.D.,  
Ing. Stanislava KECSKÉSOVÁ, Ph.D., Ing. Margita SLOVINSKÁ,  
Ing., Dr. rer. nat. Peter TARÁBEK, Mgr. Alena MATIS**

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nábr. Arm. Gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava  
E-mail: [anna.vajicekova@vuvh.sk](mailto:anna.vajicekova@vuvh.sk)

## **ÚVOD**

V decembri 2020 bola prijatá do platnosti nová smernica Európskeho parlamentu (EP) a Rady (EÚ) 2020/2184 o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebu. Nové znenie smernice si dáva za cieľ zaviesť revidované pravidlá na ochranu ľudského zdravia pred kontamináciou vody určenej na ľudskú spotrebu zabezpečením toho, aby voda bola „zdravá a čistá“. Snaží sa tiež zaviesť hygienické požiadavky na materiály prichádzajúce do styku s pitnou vodou, zlepšiť prístup k vode určenej na ľudskú spotrebu a napokon, zaviesť efektívny prístup k monitorovaniu kvality vody založený na manažmente rizík.

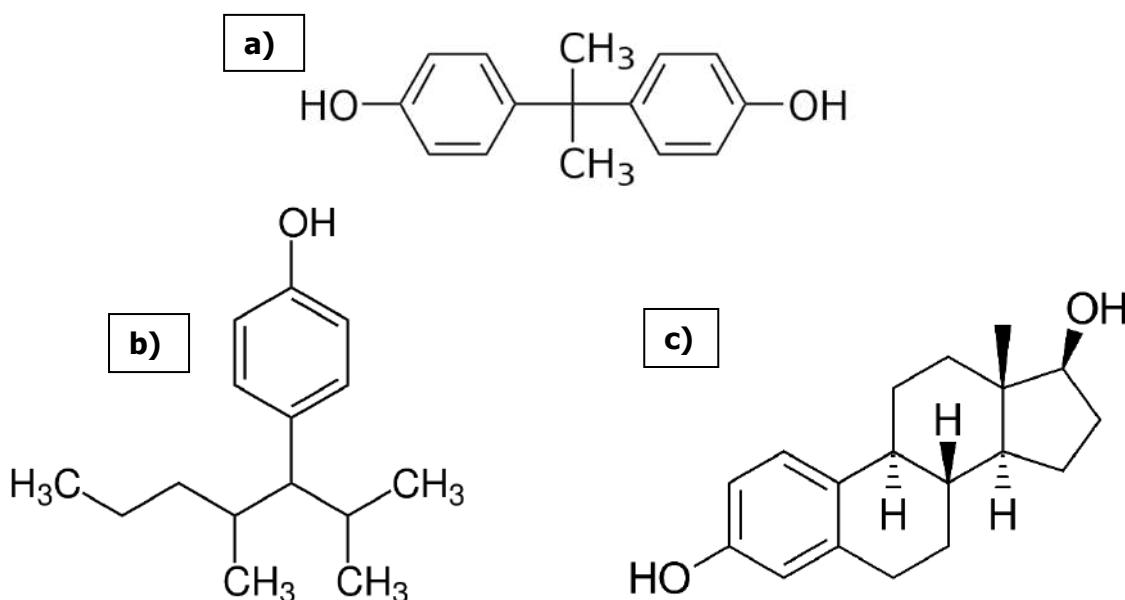
S cieľom vyriešiť rastúce obavy verejnosti v súvislosti s účinkami nových zlúčenín, ako sú endokrinné disruptory, liečivá a mikroplasty, na ľudské zdravie prostredníctvom používania vody určenej na ľudskú spotrebu a zaoberať sa novými zlúčeninami v systéme zásobovania sa v tejto smernici zaviedol mechanizmus zoznamu sledovaných látok. Uvedený mechanizmus umožní reagovať na rastúce obavy dynamickým a flexibilným spôsobom. Umožní tiež reagovať na nové poznatky o relevantnosti týchto nových zlúčenín pre ľudské zdravie a na nové poznatky o najvhodnejších prístupoch a metodikách monitorovania. Beta-estradiol a nonylfenol sa vzhľadom na ich vlastnosti endokrinných disruptorov zaradia do prvého zoznamu sledovaných látok už začiatkom roku 2022. Endokrinný disruptor bisfenol A sa priamo dopĺňa do tejto smernice, a to s parametrickou hodnotou 2,5 µg/l stanovenou na základe jeho vplyvu na zdravie [1].

Endokrinné disruptory sú látky narúšajúce činnosť endokrinného (hormonálneho) systému. Do tejto skupiny látok môžeme zaradiť široké spektrum zlúčenín prírodného alebo antropogénneho charakteru (látky vyprodukované ľudskou činnosťou). Súčasný výskum potvrzuje obavy, ktoré tieto látky vyvolávajú a to najmä ich širokospektrálnym použitím a zvýšenou kontamináciou v rôznych zložkách životného prostredia [2, 3]. Je pravdepodobné, že niektoré účinky látok s vlastnosťami endokrinného disruptora sa prejavia po expozícii až s veľkým časovým odstupom. Napríklad expozícia plodu v maternici voči látke s vlastnosťami endokrinného disruptora môže viest k účinkom, ktoré ovplyvnia zdravie dospelého človeka a možno aj nasledujúce generácie. Výskyt endokrinných disruptorov v systémoch zásobovania pitnou vodou, teda od vodárenského zdroja až po dodanie pitnej vody, vyvoláva obavy z hľadiska bezpečnosti a udržateľnosti systémov kvôli vystaveniu pôsobenia endokrinných disruptorov prostredníctvom spotreby vody [4].

## Bisfenol A

Bisfenol A (BPA) je priemyselne vyrábaná chemikália, ktorá sa bežne používa od 60. rokov 20. storočia. Chemicky ide o 2,2-bis(4-hydroxyfenyl)propán. Väčšinou sa používa na výrobu polykarbonátových plastov a živíc. Látka je zaradená medzi endokrinné disruptory, ktoré ovplyvňujú syntézu, transport, metabolizmus a vylučovanie hormónov.

V dôsledku jeho nebezpečných vlastností bolo alebo je používanie BPA v EÚ obmedzené s cieľom chrániť ľudské zdravie a životné prostredie. V roku 2011 bolo vo všetkých krajinách EÚ zakázané používanie BPA v dojčenských fl'ašiach, avšak ostatné obmedzenia sú stále diskutované. BPA a výrobky z neho nachádzajú stále širšie použíte v potravinárskom priemysle, v medicíne, stavebnictve, elektronike a v iných oblastiach, preto sa tátu chemikália stáva prakticky všadeprítomnou zložkou životného prostredia [5].



Obr. 1. Chemická štruktúra zlúčenín a) Bisfenol A, b) Nonylfenol, c) Beta-estradiol

## Nonylfenol

Nonylfenol je stavebný prvok etoxylátov alkylfenolu používaných v povrchovo aktívnych látkach (znižujú povrchové napätie vody). Alkylfenoly sú látky priemyselne vyrábané za účelom využitia v priemysle ako zmäkčovače, antioxidanty a stabilizátory. Najväčšie zastúpenie v použití majú v textilnom priemysle, kde slúžia pri úprave a farbení textilu.

Nonylfenol je látka perzistentná, t'ažko biodegradovateľná a s výraznou tendenciou k bioakumulácii. K toxickejmu účinkom nonylfenolu na vodné organizmy patria akútne toxicke účinky, účinky na rast a vývoj, estrogénové a reprodukčné účinky, neurotoxicita, toxicita pre pečeň a imunotoxicita [6, 7]. Po zistení jeho toxickeho potenciálu v životnom prostredí sa začalo s jeho postupným obmedzovaním. Od roku 2004 je jeho výroba a uvedenie na trh v EÚ prísne obmedzené.

## Beta-estradiol (17-β-estradiol)

Beta-estradiol je prírodný estrogén. Ako environmentálne alebo tiež exogénne estrogény sú označované látky nevyskytujúce sa ako prirodzená súčasť endokrinného systému avšak vykazujú estrogennu aktivitu. Vysoké množstvo vylúčeného estrogénu je aj napriek vysokej ľudskej populácii pripisované hlavne dobytku. Vysoké riziko tiež predstavuje aplikácia zvieracieho hnoja a tuhých kalov na pôdu v pol'nohospodárstve, ktorá je považovaná

za jeden z najväčších zdrojov estrogénov v prírode. Účinky prírodných aj syntetických estrogénov, ktoré sa v prostredí nachádzajú, môžu narušovať pôsobenie vnútorných hormónov, taktiež môžu ovplyvniť syntézu a výmenu vnútorných hormónov a receptorov týchto hormónov. Ich účinok je zistený už pri veľmi nízkych koncentráciách.

Koncentrácie týchto biologicky aktívnych látok v pôde a vo vodách v posledných rokoch rastú a výsledkom sú zvýšené obavy najmä z ich vysokej stability v životnom prostredí [8,9]. Na jednej strane ich pôsobenie môže viest' k vzniku početného množstva zdravotných problémov. Napríklad zvýšený výskyt estrogénov môže súvisieť so zvýšeným výskytom rakoviny prsníka u žien a rakoviny prostaty u mužov. Okrem toho v potravinách a vode môžu vyvolávať predčasné menopauzu u zrelých žien a spôsobiť virilizáciu u mladých dievčat, čo by mohlo ovplyvniť reprodukčný potenciál žien. Existujú dôkazy, že estrogény a najmä beta-estradiol sú spojené so zníženou kvalitou a kvantitou spermii a tým zapríčinenou zníženou mužskou plodnosťou. Na druhej strane sa Vedeckému výboru pre zdravie, environmentálne a náhle sa objavujúce riziká (SCHEER) nezdá vhodné stanoviť limity pre pitnú vodu pre beta-estradiol a estrón (E1), keďže tieto hormóny ľudia pravidelne konzumujú v mlieku a mliečnych výrobkoch už po stáročia [10].

## METODIKA A POSTUPY RIEŠENIA

### **Identifikovanie vybraných lokalít na zber vzoriek**

Prvým krokom výskumu bolo identifikovanie vhodných lokalít na zber vzoriek. Boli oslovené vodárenské spoločnosti so žiadostou o spoluprácu, v rámci ktorej bolo identifikovaných 22 lokalít v pôsobnosti 8 vodárenských spoločností.

### **Použité analytické metódy**

Analýzy odobraných vzoriek boli realizované v Národnom referenčnom laboratóriu pre oblasť vód na Slovensku.

#### *Bisfenol A*

Bisfenol-A sa stanovil vo vode metódou plynovej chromatografie s hmotnostnou spektrometriou s použitím extrakčnej techniky SBSE. Touto technikou sa analyty (BPA a ďalšie chlórované fenoly) prítomné vo vodných vzorkách derivatizujú acetanhydridom na príslušné acetáty. Vzniknuté deriváty sa zo vzorky vyextrahujú technikou „stir bar sorptive extraction“ (SBSE) mikroextrakciou do polydimethylsiloxánovej vrstvy na magnetickom miešadielku Twister. Analyty predkoncentrované na miešadielku Twister sa analyzujú po tepelnej desorpcii do prúdu nosného plynu a následnej kryofokusácii plynovou chromatografiou s hmotnostne selektívou detekciou. Pri stanovení sa vychádza zo Slovenskej technickej normy STN EN 12673 „Stanovenie niektorých vybraných chlórfenolov vo vode metódou plynovej chromatografie“.

#### *Nonylfenol*

Princíp metódy na analýzu nonylfenolu ako aj skupiny ďalších vybraných alkylfenolov a alkylfenol-etoxylátorov spočíval v extrakcii kvapalina-kvapalina (LLE) z vodnej vzorky za pomoci organického rozpúšťadla (*n*-hexán) a následnej separácii extrahovanej zmesi na HPLC (vysokoúčinná kvapalinová chromatografia) zariadení a detekcii s fluorescenčným detektorem (FLD). Extrakt v organickom rozpúšťadle sa po čiastočnom odparení a doplnení rozpúšťadlom kompatibilným s analytickým HPLC systémom (acetonitril) dávkoval do HPLC s chromatografickou kolónou so stacionárной fázou RP-18. Za účelom kvantitatívneho stanovenia sa používajú certifikované referenčné materiály, na ktorých odozvu je štandardne nastavený FLD. Zber údajov a vyhodnotenie zabezpečuje PC vybavený softvérom od výrobcu analytického zariadenia.

### Beta-estradiol

Na stanovenie 17-β-estradiolu sa použila metóda dvojstupňovej extrakcie na tuhej fáze (SPE) s následnou separáciou extraktov a detekciou na LC-MS zariadení. Prvý stupeň SPE zo vzorky vody sa uskutočňuje na sorpčných diskoch s fázou C-18. Druhý stupeň sa realizuje na vysoko-selektívnom sorbente typu MIP pre estrogény. Tento typ sorbentu umožňuje selektívne potláčať interferujúce koextrahované zložky matíc. Po následnej derivatizácii činidlom danzyl chlorid za účelom zlepšenia ionizácie na hmotnostnom detektore sa extrakty vzoriek dávkujú do vysokoúčinného kvapalinového chromatografu (HPLC) s napojením na hmotnostný detektor cez iónový zdroj ESI. Detektor (MS) je nastavený na odozvy štandardných roztokov certifikovaných referenčných materiálov (v ultračistej deionizovanej vode), spracovaných rovnakým spôsobom ako vzorky pitných vód na analýzu. Zber a spracovanie nameraných údajov sa uskutočňuje na počítači vybavenom analytickým softvérom od výrobcu zariadenia.

## VÝSLEDKY RIEŠENIA

V priebehu výskumu bolo postupne odobraných spolu 23 vzoriek surovej vody priamo z vodárenských zdrojov (pramene, studne, zmesné vzorky). Vzorky boli odobrané v druhej polovici roku 2021 od mesiaca august až po mesiac november. Po odbere boli vzorky dopravené na Výskumný ústav vodného hospodárstva, kde boli analyzované v Národnom referenčnom laboratóriu pre oblasť vód na Slovensku. Výsledky analýz troch sledovaných ukazovateľov (beta-estradiol, nonylfenol a bisfenol A) sú uvedené v tab.1.

**Tab. 1. Výsledky analýz sledovaných ukazovateľov**

Odberné miesto		Sledované ukazovatele		
Vodárenská spol.	Lokalita	E2 – beta-estradiol [ng/L]	Alkylfenoly 4-nonylfenol [µg/L]	Bisfenol A [µg/L]
ZsVS, a.s	Slatinka n/Bebravou	<1	<0,1	<0,1
ZsVS, a.s	Gabčíkovo	<1	<0,1	<0,1
ZsVS, a.s	Jelka	<1	<0,1	<0,1
BVS, a.s	Sihot'	<1	<0,1	<0,1
BVS, a.s	Pečníansky les	<1	<0,1	<0,1
BVS, a.s	Rusovce - Ostrovné lúčky	<1	<0,1	<0,1
BVS, a.s	Rusovce - ZMES	<1	<0,1	<0,1
BVS, a.s	Sihot' - sorpčný disk	<1	-	-
TVK, a.s	Dobrá - prameň	<1	<0,1	<0,1
TVK, a.s	Dobrá - studňa	<1	<0,1	<0,1
TVK, a.s	Nemšová	<1	<0,1	<0,1
PoVS, a.s	Tŕstie	<1	<0,1	<0,1
PVS, a.s	Gelnica – ÚV Perlová dolina	<1	<0,1	<0,1
PVS, a.s	ÚV Mlynčeky	<1	<0,1	<0,1
PVS, a.s	ÚV Jakubany	<1	<0,1	<0,1
PVS, a.s	Vikartovce	<1	<0,1	<0,1
SEVAK, a.s	Turie	<1	<0,1	<0,1
SEVAK, a.s	Fačkov	<1	<0,1	<0,1
SEVAK, a.s	ÚV Nová Bystrica	<1	<0,1	<0,1
LVS, a.s	Demänovská dolina (ÚV)	<1	<0,1	<0,1
LVS, a.s	Lipt. Porúbka (ÚV)	<1	<0,1	<0,1
LVS, a.s	Zapače (zmes 2 prameňov)	<1	<0,1	<0,1
VSR, a.s	Jazierce	<1	<0,1	<0,1

V prípade odberného miesta Sihot' bola vzorka analyzovaná dvomi rôznymi spôsobmi, priamo na mieste za pomoci sorpčného disku a druhým spôsobom totožným s ostatnými skúmanými vzorkami, teda zachladením vzorky po odbere a následnou analýzou, ktorá ale prebehla až po transporte vzorky do laboratória. V tomto prípade bolo zistené, že preprava, konzervácia zachladením a až následná analýza vzoriek nemala negatívny vplyv na samotnú analýzu, ktorý by následne zapríčinil rozdielny výsledok.

Na základe výsledkov uvedených v tab.1 možno konštatovať, že sa nepreukázala prítomnosť sledovaných látok v jednotlivých lokalitách, resp. podľa dostupných analytických metód boli koncentrácie pod medzou stanoviteľnosti.

## ZÁVER

Aktualizovanou smernicou 2020/2181 o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebú sa zavedením mechanizmu zoznamu sledovaných látok riešia rastúce obavy v súvislosti s účinkami endokrinných disruptorov, liekov a mikroplastov na ľudské zdravie. Endokrinný disruptor bisfenol A sa priamo doplnil do tejto smernice, a to s parametrickou hodnotou 2,5 µg/l stanovenou na základe jeho vplyvu na zdravie. Beta-estradiol a nonylfenol sa vzhľadom na ich vlastnosti endokrinných disruptorov zaradia do prvého zoznamu sledovaných látok na začiatku roku 2022.

Z prvotných výsledkov vyplynulo, že všetky odobrané vzorky boli v príprave sledovaných ukazovateľov pod medzou stanoviteľnosti. Bolo odobraných 23 vzoriek z 22 lokalít, čo však predstavuje veľmi malú vzorku na objektívne posúdenie skutočného stavu výskytu týchto látok vo vodárenských zdrojoch. Preto je vysoko odporúčané v danom prvotnom prieskume pokračovať a tak zameriť pozornosť aj na účinnú ochranu vodárenských zdrojov.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Ministerstvom životného prostredia (kontrakt č. 146/2020/4.2; kód úlohy 1.7.2), Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-18-0205 a podákovanie patrí aj osloveným vodárenským spoločnostiam za ochotu a spoluprácu.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

1. Smernica EP a Rady (EÚ) 2020/2184 z 16. decembra 2020 o kvalite vody určenej na ľudskú spotrebú.
2. Ismail, N. A. H., Wee, S. Y., Aris, A. Z. Multi-class of endocrine disrupting compounds in aquaculture ecosystems and health impacts in exposed biota. Chemosphere 188, 2017, p. 375–388. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.08.150
3. Wee, S. Y., Aris, A. Z. Endocrine disrupting compounds in drinking water supply system and human health risk implication. Environ. Int. 2017, Vol. 106, p. 207–233. DOI: 10.1016/j.envint.2017.05.004
4. Wee, S. Y., Aris, A. Z., Yusoff, F. Md., Praveena S.M. Occurrence of multiclass endocrine disrupting compounds in a drinking water supply system and associated risks. Scientific reports. 2020, Vol. 10(1), p. 1-12. DOI:10.1038/s41598-020-74061-5
5. Nohelová, G. Bisfenol A ve vodním ekosystému (Diplomová práca). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2014. 78 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.

6. Sedláček, J. Stanovení nonylfenolu a jeho izomerů ve vodách (Diplomová práca). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2013. 73 s. Vedoucí diplomové práce prof. RNDr. Milada Vávrová, CSc.
7. Hong, Y., Feng, C., Yan, Z., Wang, Y., Liu, D., Liao, W., Bai, Y. Nonylphenol occurrence, distribution, toxicity and analytical methods in freshwater. Environ Chem Lett. 2020, Vol. 18, p. 2095–2106. DOI:10.1007/s10311-020-01060-3
8. Gajdová, P. Hormony v odpadních vodách (Bakalárska práca). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2009. 37 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
9. Krajňáková, Soňa. Interakcia hormónov a liečiv s pôdnou organickou hmotou (Bakalárska práca). Brno: Vysoké učení technické v Brne, Fakulta chemická, Ústav fyzikálnej a spotrebnej chémie, 2019. 49 s. Vedúci práce prof. Ing. Martina Klučáková, Ph.D.
10. Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER). Scientific Opinion on "Draft Environmental Quality Standards for Priority Substances under the Water Framework Directive". 17-Alpha-Ethinylestradiol (EE2), Beta-Estradiol 19 (E2) and Estrone (E1). The SCHEER adopted this document 28 via written procedure on 19 November 2021.

# JAK PROVOZOVATELÉ VODOVODŮ INFORMUJÍ O KVALITĚ PITNÉ VODY A ŘEŠÍ STÍŽNOSTI NA NI

**Mgr. Jiří PAUL<sup>1, 3)</sup>, MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.<sup>2)</sup>, Mgr. Petr PUMANN<sup>2)</sup>,  
MUDr. Hana JELIGOVÁ<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Vodovody a kanalizace Beroun, a.s., Mostníkovská 255/3, 266 01 Beroun

<sup>2)</sup> Státní zdravotní ústav, Šrobárova 48/49, 100 00 Praha 10

<sup>3)</sup> Asociace pro vodu ČR (CzWA), Traťová 574/1, 619 00 Brno

E-mail: [jiri.paul@vakberoun.cz](mailto:jiri.paul@vakberoun.cz)

## ÚVOD

Nedostatečná důvěra spotřebitelů v kvalitu a bezpečnost kohoutkové vody je vedle organoleptických vlastností vody hlavním faktorem, proč lidé nepijí kohoutkovou vodu a uchylují se k vodě balené [1]. Vnímáme tedy jako důležité, jakým způsobem dodavatelé vody spotřebitele informují o její kvalitě a zabezpečení její nezávadnosti, ale také jak reagují na podněty (stížnosti) spotřebitelů.

Zmapování této praxe mezi provozovateli vodovodů v ČR se proto stalo jednou ze součástí výzkumného projektu TAČR „Kohoutkovou nebo balenou: Bariéry a motivace konzumace pitné vody“, jehož cílem je identifikovat motivy a bariéry konzumace kohoutkové vody v ČR a zjistit, jak tyto bariéry překonat. Preference a postoje spotřebitelů budou zjištěny s pomocí několika vln reprezentativních dotazníkových šetření, které budou zahrnovat randomizované intervence. Zároveň se připravují doporučení pro provozovatele vodovodů, jak zvyšovat důvěru spotřebitelů v kvalitu a bezpečnost kohoutkové vody.

Tento příspěvek přináší poznatky z dotazníkového šetření mezi provozovateli vodovodů, jakým způsobem informují o kvalitě vody a jak přistupují k řešení stížností spotřebitelů. Na vyhodnocení dotazníků navazuje rozhovorové šetření ke zjištění podrobností o správě reklamací, stížností a podnětů u těch provozovatelů, kteří souhlasili, že se podělí o své zkušenosti podrobněji.

## METODIKA

Autoři připravili dotazník, který obsahoval 18 základních otázek a byl (vedle zjištění velikosti provozovatele) zaměřen především na způsob evidence a vyřizování stížností odběratelů, dále pak na způsob informování o kvalitě vody a průzkum spokojenosti zákazníků. Aby mohl být dotazník anonymní, bylo ho nakonec možné vyplnit pouze on-line v Google forms.

Způsob distribuce dotazníku, resp. výběr respondentů, byl dvojí a bral v úvahu skutečnost, že v ČR v současné době existuje více než 3 000 provozovatelů vodovodů [2], ale v naprosté většině se jedná o provozovatele malé, neprofesionální (obce). Proto byl dotazník zaslán v první fázi všem provozovatelům vodovodů, kteří jsou členy Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR (SOVAK ČR). Těch je 91 (stav k 1. 6. 2021) a jedná se o největší profesionální provozovatele (vodárenské společnosti) v ČR, kteří dohromady zajíšťují dodávku vody pro více než 9 mil. obyvatel (tj. cca 90 % populace) [3]. Díky tomu, že SOVAK ČR je jedním z aplikačních garantů projektu, byl dotazník rozeslán provozovatelům přímo ředitelem SOVAK ČR, což pravděpodobně zvýšilo jeho vážnost mezi respondenty. Dotazník

byl rozeslán v červnu, podruhé pak s urgencí počátkem listopadu 2021. Z této skupiny se vrátilo 59 vyplněných dotazníků (respondence tedy činila téměř 65 %).

Pokud se jedná o malé provozovatele, bylo rozhodnuto obeslat vzorek asi 10 % z nich čili 300 provozovatelů vybraných metodou náhodného výběru, přičemž záměr byl mít z poloviny zastoupeny neprofesionální provozovatele – obce a z poloviny profesionální subjekty; pojem profesionální se zde musí brát s určitou rezervou, protože se jedná např. o technické služby dané obce, které mají vlastní právní subjektivitu, ale nic to nevypovídá o jejich profesní zdatnosti. Ve druhé skupině se však nacházelo pouze 130 subjektů, proto byly do výběru zařazeny všechny. Z obcí bylo metodou náhodného výběru vybráno 170 provozovatelů (stratifikovaných podle velikosti vodovodu).

Těmto provozovatelům zaslal dotazník přímo SZÚ. Respondence byla dle očekávání velmi nízká, zhruba 11 %. Přes nízkou respondenci jsou však obdržené odpovědi většinou natolik očekávané či typické pro malé provozovatele, že bylo rozhodnuto je do zpracování zařadit; obě datové sady byly spojeny a vyhodnoceny byly společně. Dohromady tak soubor představuje odpovědi 93 subjektů – provozovatelů.

V tabulce (tab. 1.) je přehled respondentů v kategoriích podle počtu zásobovaných obyvatel.

**Tab. 1. Rozdělení respondentů – provozovatelů podle počtu zásobovaných obyvatel a výběru respondentů.**

počet zásobovaných obyvatel	celkový počet respondentů	SOVAK	malí provozovatelé
≤299	5		5
300 – 999	12	2	10
1000 – 9999	26	7	19
10000 – 49999	23	23	
50000 – 99999	12	12	
100000 – 199999	6	6	
200000 – 499999	7	7	
≥500000	2	2	
<b>celkový součet</b>	<b>93</b>	<b>59</b>	<b>34</b>

## VÝSLEDKY

V tabulkách 2 a 3 jsou uvedeny odpovědi na otázku, jakým způsobem a jak často informují provozovatelé své odběratele o kvalitě dodávané vody a jak tedy naplňují požadavek zákona: „...zajistit, aby byly na jejich internetových stránkách nebo způsobem v místě obvyklým veřejně přístupné aktuální informace o jakosti dodávané pitné vody a chemických látkách a chemických směsích použitych k úpravě této vody...“ (zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů, § 3a, odst. 9). Z odpovědí vyplývá, že 11 provozovatelů (12 %) tuto povinnost neplní, protože informuje jen na dotaz (7), popř. vůbec (4). Všechny odpovědi jsou z kategorie 300–999 (2) nebo 1000–9999 (9) zásobovaných obyvatel.

Významný podíl provozovatelů poskytuje informace 1x za rok. Zde se nabízí otázka, zda je taková informace dostačující a zda ji lze považovat za aktuální. Toto, podle názoru autorů, nelze posoudit bez znalosti stability kvality zdrojové vody a dlouhodobých výsledků ukazatelů měnících se v průběhu distribuce pitné vody. Pokud má provozovatel dobře nastavený systém reakce na závady v kvalitě vody vč. informování zákazníků a přijímání příslušných opatření (např. omezení užívání) a voda jinak dlouhodobě vyhovuje parametrům, pak

informace o kvalitě aktualizovaná 1× za rok může plnit dobře svůj účel. Spotřebitel se tak může spolehnout na kvalitu vody, využít např. informaci o tvrdosti vody k údržbě a nastavení domácích spotřebičů, a jinak se o kvalitu vody nestarat – důvěrovat v ni. Rozdílné to může být u vodovodních systémů, kde se kvalita vody v průběhu roku mění významně (např. vlivem srážek, občasným zapojováním jiného zdroje). Pak informace o kvalitě 1× za rok nepopisuje dostatečně stav v zásobování vodou a může, v extrémních případech, být až zavádějící, když provozovatel zveřejní jen takový rozbor nebo přehled kvality, který odpovídá limitům.

**Tab. 2. Jakým způsobem informujete své odběratele o kvalitě dodávané pitné vody?**

způsob informování	počet odpovědí
<b>neinformujeme</b>	<b>4</b>
web	72
informace přes vlastníka (např. obec)	23
sociální sítě	7
<b>na dotaz</b>	<b>7</b>
zpravodaj	2
média	2
SMS	1

**Tab. 3. Jak často poskytujete nebo aktualizujete informace o kvalitě vody?**

četnost poskytování informací	počet odpovědí
vždy po analýze vzorku/průběžně	17
častěji než 1x za půl roku	9
1x za půl roku	6
1x za rok	46
méně často než 1x za rok	1
jinak. Prosím vypište níže	5
neposkytujeme	5
nevím / nechci odpovědět	2

Předmětem diskuse by neměla být jen aktuálnost poskytovaných rozborů vody, ale také jejich rozsah. I když to není výslovně uvedeno, zákon o ochraně veřejného zdraví předpokládá či požaduje poskytování informací o kvalitě vody v rozsahu všech sledovaných ukazatelů podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Orientační kontrolou webových stránek vybraných velkých provozovatelů jsme však zjistili, že i někteří velcí provozovatelé uvádějí na webových stránkách jen krácený rozsah, cca 20–25 ukazatelů, obvykle v něm chybí kovy a organické látky včetně pesticidních. O další ukazatele musí případný zájemce požádat. Je však pravda, že z dosavadních rozhovorů s provozovateli vyplynulo, že zájem veřejnosti o kvalitu vody je nízký (co do počtu dotazů na kvalitu vody, pokud se nejedná o nějaký havarijní stav). A v dotazech v drtivé většině převažuje zájem o tvrdost vody z důvodů technických (nastavení domácích spotřebičů).

Na otázku „Evidujete stížnosti či podněty na kvalitu pitné vody?“ odpovědělo kladně 48 provozovatelů (52,7 %), z toho 27 vede evidenci pouze v písemné podobě a 21 v elektronické podobě umožňující práci s daty (databáze, Excel); 43 provozovatelů (47,3 %) bud' evidenci nevede (41) nebo nechtělo odpovědět (2). V tab. 4. jsou odpovědi na evidenci stížností a její formu rozděleny podle velikosti provozovatele. Zatímco absence evidence u malých provozovatelů moc nepřekvapuje, za znepokojující ji lze považovat u provozovatelů zásobujících řádově desítky tisíc osob (do 50 tisíc) a za alarmující u jednoho ještě většího provozovatele.

**Tab. 4. Evidujete stížnosti či podněty na kvalitu pitné vody?**

počet zásobovaných obyvatel	evidence stížností nebo podnětů			
	ne	ano, písemně	ano, elektronicky	nevím / nechci odpovědět
0 – 299	5			
300 – 999	8	2	1	1
1 000 – 9 999	19	6	1	
10 000 – 49 999	9	9	4	1
50 000 – 99 999	1	5	6	
100 000 – 199 999		3	3	
200 000 – 499 999		2	5	
≥ 500 000		1	1	
<b>celkový součet</b>	<b>42</b>	<b>28</b>	<b>21</b>	<b>2</b>

Standardizovaný systém vypořádání stížností a podnětů má pouze 35 provozovatelů (37,6 %), většinou se jedná o provozovatele zásobující více než 10 tisíc obyvatel.

Na otázku, zda se zabývají zpětným vyhodnocováním všech stížností jako celku, odpovědělo kladně 27 provozovatelů (29 %). Jako důvody pro toto vyhodnocování bylo uváděno:

- zpětná vazba ve vztahu k prováděným úkonům údržby distribuční sítě;
- vyhodnocení trendu;
- podněty pro zlepšení dodávek a komunikace;
- vytipování oblastí se špatnou kvalitou vody a zajištění způsobu řešení;
- ověření, zda přijatá opatření jsou funkční;
- zlepšení kvality služeb;
- informace, kde jsou významnější problémy a kde je potřeba přijmout opatření (provozní, investiční) a zda jsou dodržovány interní postupy pro řešení stížností a reklamací – včasnost;
- přijetí preventivních organizačních opatření; plánování obnovy vodovodů.

Počty evidovaných stížností (žádány byly počty v letech 2018, 2019 a 2020) se pohybovaly od nuly (za celé tři roky – 8 provozovatelů), přes jednotky až desítky případů (obvykle) po řádově stovky stížností za rok (3 provozovatelé, maximum v jednom roce 255 případů). Neplatí přitom úměra čím více zásobovaných obyvatel, tím více stížností. Velmi nízké počty u některých velkých provozovatelů mohou svědčit jak o mimořádně dobré kvalitě vody a servisu pro odběratele, tak i „mimořádně dobrém“ filtru stížností, který stížnosti vyhodnotí jako neopodstatněné.

Vzhledem k tomu, že v dotazníku nebylo přesně specifikováno, co mají respondenti za stížnost považovat, se na objasnění tohoto fenoménu zaměřuje další fáze projektu při bližších rozhovorech s provozovateli, kteří souhlasili s poskytnutím bližších informací. Z prvních poznatků vyplývá, že definice (opravněné) stížnosti se mezi provozovateli pojímá velmi různým, často neporovnatelným způsobem. Ku příkladu „stížnost na kvalitu vody“ není pro některé provozovatele totéž co „reklamace kvality vody“. U některých subjektů za stížnosti považují jen ta podání, která poukazují na neprofesionální chování konkrétních zaměstnanců vodárenské společnosti, zatímco označení, že z kohoutku teče zakalená voda, se považuje za pouhý podnět ke kvalitě vody, nikoliv stížnost. Vyskytuje se i přístup, že když provozovatel o závadě na kvalitě vody již ví, nepočítá došlou stížnost mezi stížnosti.

Na otázku „Máte reklamační řád, který řeší také stížnosti na kvalitu?“ odpovědělo kladně jen 58 provozovatelů (62,4 %), přitom povinnost mít reklamační řád je ukořena přímo v zákoně č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích (§ 36, odst. 3g). Jak vyplývá z níže uvedeného rozdělení odpovědí podle velikosti provozovatele, standardem či samozřejmostí je reklamační řád až pro vodárenské společnosti zásobující od 50 tisíc obyvatel výše (tab. 5).

**Tab. 5. Máte reklamační řád, který řeší také stížnosti na kvalitu vody?**

počet zásobovaných obyvatel	reklamační řád		
	ne	ano	nevím / nechci odpovědět
0 – 299	2	3	
300 – 999	8	2	2
1 000 – 9 999	15	10	1
10 000 – 49 999	5	18	
50 000 – 99 999	1	10	1
100 000 – 199 999		6	
200 000 – 499 999		7	
≥ 500 000		2	
<b>celkový součet</b>	<b>31</b>	<b>58</b>	<b>4</b>

Na otázku „Prováděli jste někdy v minulosti průzkum spokojenosti odběratelů s kvalitou vody?“ (tab. 6) odpovědělo kladně jen 20 provozovatelů (21,5 %), nejvíce z kategorie provozovatelů zásobujících mezi 200 a 500 tisíci obyvateli, nicméně alespoň jedna kladná odpověď se vyskytla v témař každé kategorii. Jedenáct provozovatelů je ochotno se o výsledky průzkumu podělit.

**Tab. 6. Prováděli jste někdy v minulosti průzkum spokojenosti odběratelů s kvalitou vody?**

počet zásobovaných obyvatel	průzkum spokojenosti s kvalitou vody		
	ne	ano	nevím / nechci odpovědět
0 – 299	4	1	
300 – 999	8	1	3
1 000 – 9 999	24	1	1
10 000 – 49 999	17	3	3
50 000 – 99 999	10	2	
100 000 – 199 999	2	4	
200 000 – 499 999		7	
≥ 500 000	1	1	
<b>celkový součet</b>	<b>66</b>	<b>20</b>	<b>7</b>

Na otázku „Zabývali jste se v minulosti propagací konzumace kohoutkové vody?“ (tab. 7) odpovědělo kladně 32 provozovatelů (34,4 %), ze všech velikostních kategorií (s výjimkou té nejmenší). Tři provozovatelé uvedli rok kampaně v roce 2015, čtyři ji provádějí trvale (kontinuálně), ostatní v některém z posledních čtyř let.

**Tab. 7. Zabývali jste se v minulosti propagací konzumace kohoutkové vody?**

počet zásobovaných obyvatel	propagace konzumace kohoutkové vody		
	ne	ano	nevím / nechci odpovědět
0 – 299	5		
300 – 999	11	1	
1 000 – 9 999	20	5	1
10 000 – 49 999	11	9	3
50 000 – 99 999	8	4	
100 000 – 199 999	2	4	
200 000 – 499 999		7	
≥ 500 000		2	
<b>celkový součet</b>	<b>57</b>	<b>32</b>	<b>4</b>

Propagace se realizuje nejčastěji skrze vlastní webové stránky nebo sociální sítě, dále přes placenou reklamu a články v tisku. K méně obvyklým způsobům patří články v časopise vydávaném obcí (městem), letáky, informativní bannery, karafy v restauracích, propagační stánky (vodoreny) na sportovních a jiných veřejných akcích, polepy vozidel, billboardy, programy a soutěže pro školy aj.

Jak již bylo zmíněno, v dalším pokračování projektu jsou kontaktováni provozovatelé, kteří souhlasili s poskytnutím bližších údajů. Jedná se o 14 provozovatelů ochotných se podělit o evidované stížnosti (a způsob evidence stížností) a 9 provozovatelů bylo ochotno se podělit o výsledky průzkumu spokojenosti.

## DISKUSE

Výsledek průzkumu ukazuje na významný nedostatek oboru. Na rozdíl od jiných technických a výrobních odvětví se ve vodárenství málo používá procesní přístup založený na soustavném zlepšování výkonu a kvality výrobků/služeb nebo na podobném systému založené přístupy k řízení firem. Je to z velké části dáné již zmíněným významným podílem obecních provozovatelů (obce nebo obcemi zřizované subjekty). U této skupiny provozovatelů nejsou uplatňovány komerční přístupy a postupy, a to ani takové, které vedou ke zlepšování výkonnosti. Ve výsledku to vede k tomu, že se provozování u řady subjektů omezuje na plnění zákonem stanovených povinností. U nejmenších provozovatelů je zjevné, že v dostatečné míře nejsou plněny dokonce ani zákonné povinnosti, jak ukazují výsledky benchmarkingu vlastníků a provozovatelů vodohospodářského majetku, který pravidelně provádí Ministerstvo zemědělství [4].

Situaci nepříznivě ovlivňuje také to, že provozování vodovodů je z pohledu obchodní soutěže do značné míry přirozeným monopolem – naprostá většina provozovatelů má zajištěný odbyt formou střednědobé nebo dlouhodobé smlouvy, nebo je dokonce sám vlastník vodovodu provozovatelem, tudíž bez konkurence. V takovém podnikatelském prostředí se o zlepšování, tedy získání obchodní výhody, snaží vesměs jen profesionální provozovatelé, kteří své provozovatelské kontrakty získávají nebo obhajují ve výběrových řízeních.

Je tedy nutné, aby zásady komunikace se zákazníkem byly zakotveny v legislativě? Autoři na základě vlastních zkušeností i výsledků této studie soudí, že ano, resp. alespoň v zásadních bodech, přičemž podrobnosti mohou být usměrněny např. formou metodického doporučení. Ostatně obecné zásady i přímo konkrétní povinnosti nařizuje implementovat do národních legislativ novelizovaná evropská směrnice pro pitnou vodu [5]. Kromě informace o kvalitě vody, která musí být poskytnuta v intervalu ne menším než jeden rok,

bude také zavedena povinnost poskytovat souhrnné informace o stížnostech odběratelů včetně statistického zpracování; směrnice předpokládá toto zavést alespoň u provozovatelů dodávajících pitnou vodu více než 50 tisícům zákazníků (v současné době se tento požadavek transponuje do zákona o vodovodech a kanalizacích). Je zjevné, že tvůrci směrnice jednak považují informovanost a dobrou komunikaci se zákazníkem za důležitou, a na druhé straně za nedostatečnou. S ohledem na převládající koncept provozování evropských vodovodů municipalitami a výsledek našeho průzkumu to lze skutečně považovat za potřebné.

V kontextu povinného zveřejňování počtu stížností, které může svádět média k porovnávání výkonnosti služeb a kvality dodávané vody mezi provozovateli, by bylo nanejvýš žádoucí, aby se definice stížností (reklamací) na kvalitu vody a přístup k jejich vypořádání mezi provozovali co nejvíce sjednotily. Předejde se tím mnohemu mediálnímu šumu a nedorozuměním.

## ZÁVĚR

Dodávka pitné vody vodovodem pro veřejnou potřebu je pro téměř 95 % populace naší země samozřejmostí. Jak velký podíl odběratelů ale pitné vodě věří a bez obav ji konzumuje? Přitom kvalita pitné vody dodávaná v ČR je přísně limitovaná a monitorovaná, snese srovnání s vyspělými státy světa. Mělo by tedy být i zájmem dodavatelů pitné vody, aby jejich produktu zákazník věřil. U jakékoliv jiné potravinářské komodity je samozřejmostí, že její producent propaguje kvalitu a další přednosti.

Práce s reklamacemi a stížnostmi je jedním z pilířů tzv. zákaznické orientace čili zaměření na zákazníka. Negativní reakce zákazníka má být vždy prozkoumána a má se zjistit, zda nespokojenost je oprávněná a nejedná se o závadu systémovou, jejímuž opakování lze předejít úpravou procesů. Nevyužívání tohoto typu zpětné vazby může vést k opakování problémů, prohlubování nespokojenosti a ve vztahu ke kvalitě vody k ztrátě důvěry v její bezpečnost. Ukazuje se tak, že osvěta mezi provozovateli vodovodů v ČR v tomto oboru má jednoznačně smysl.

Podobně jako u posouzení rizik systémů zásobování pitnou vodou má také propagace kvality a bezpečnosti kohoutkové vody a systematická práce se stížnostmi potenciál významně zlepšit úroveň provozování vodovodů v ČR. Nutnou podmínkou je ale správné uchopení a **chtěné** využívání těchto moderních přístupů; nucené splnění zákonné povinnosti v úrovni požadované příslušným předpisem samozřejmě změnu nepřinese. Důležité je také zapojení všech zaměstnanců. V našich podmínkách to bude často znamenat dlouhou cestu ke změně přístupů nebo dokonce čekání na generační obměnu. Ale obor jde jednoznačně tímto směrem a jedná se o změny, které mají smysl.

Dva z výstupů našeho projektu se diskutované problematiky úzce dotýkají. Jedním výstupem by mělo být metodické doporučení Ministerstva zemědělství pro provozovatele vodovodů „Komunikace se spotřebiteli jako základní prostředek pro zvyšování důvěry v kohoutkovou vodu“, které by mělo být vydáno do konce roku 2023, druhým výstupem pak workshop „Jak přistupovat k řešení stížností na kvalitu kohoutkové vody“, který by měl být uspořádán v polovině roku 2023.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu TAČR TL0300025 Kohoutkovou nebo balenou: Bariéry a motivace konzumace pitné vody.

## **SEZNAM LITERATURY**

1. Zvěřinová I., Chadimová K., Ščasný M.: Promoting Switch from Bottled to Tap Water: A Systematic Literature Review of Interventions. Manuscript.
2. Duda J., Bogdanova V., Šuráňová P.: Vodovody a kanalizace ČR, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 2021, ISBN 978-80-7434-627-9.
3. SOVAK ČR: Profil SOVAK ČR, dostupné z <https://www.sovak.cz/cs/profil-sovak-cr>.
4. Benchmarking VaK, Ministerstvo zemědělství ČR, dostupné z <https://eagri.cz/public/web/mze/voda/vodovody-a-kanalizace/benchmarking-vak/>.
5. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast) (2020) Official Journal L435.

# KAUZA FALEŠNĚ POZITIVNÍCH VÝSLEDKŮ THM V PITNÉ VODĚ A JEJÍ DOPAD DO VODÁRENSKÉ, HYGIENICKÉ A LABORATORNÍ PRAXE

Ing. Radka HUŠKOVÁ<sup>1)</sup>, MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.<sup>2)</sup>, Ing. Marek MICHNA<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Ke Kablu 971, 102 00 Praha 10

<sup>2)</sup> Státní zdravotní ústav, Šrobárova 49/48, 100 00 Praha 10

<sup>3)</sup> Ministerstvo zdravotnictví ČR, Palackého náměstí 375/4, 128 01 Praha 2

E-mail: [radka.huskova@pvk.cz](mailto:radka.huskova@pvk.cz)

## ÚVOD

Na konci roku 2020 se obrátil starosta obce A na Státní zdravotní ústav (SZÚ) s žádostí o řešení situace s kvalitou pitné vody, kdy z důvodu vysokých nálezů trihalogenmethanů (THM) zakázala Krajská hygienická stanice užívat vodu v obci jako pitnou.

Dalším šetřením bylo zjištěno, že vysoké nálezy THM nejsou pouze v této obci A, ale i v jiných vodovodech, kde dodavatelem výsledků je stejná akreditovaná laboratoř L.

## PROVĚŘOVÁNÍ VÝSLEDKŮ THM V IS PIVO V ROCE 2020

SZÚ prověřoval neobvyklé nálezy THM kontrolou výsledků v Informačním systému Pitná voda (IS PiVo). Bylo zjištěno, že se v několika desítkách malých vodovodů vyskytly abnormální hodnoty brom dichlormethanu (BDCM), který je do sumy THM započítáván. V roce 2020 bylo zjištěno 120 výsledků BDCM vyšších než 18,3 µg/l (= nalezené republikové maximum v roce 2019), z toho 19 nálezů bylo vyšších než 100 µg/l (maximum 361,5 µg/l). Tolik vysokých hodnot BDCM nebylo dosud v ČR nikdy zaznamenáno.

Vodovody s takto vysokými nálezy (jednalo se ve všech případech o malé vodovody, provozované většinou obcí) byly z větší části situovány do jedné oblasti České republiky, na rozhraní dvou krajů.

## HYPOTÉZY PŘÍČIN NEOBVYKLÝCH VÝSLEDKŮ

Na základě zjištěných informací formuloval SZÚ tři možné hypotézy příčin neobvyklých nálezů THM, které prověřoval:

**a) Hypotéza špatné provozní praxe:** provozovatelé vodovodů změnili – k horšímu – způsob provozování vodovodů nebo nereagovali na změněnou kvalitu surové vody, takže došlo k nárůstu THM.

K prověření této hypotézy zajistil SZÚ prostřednictvím krajských hygienických stanic dotazníkovou akci u provozovatelů vodovodů se zvýšenými nálezmi THM, pokud se týká změn v technologii místní úpravy vody, zejména změn způsobu desinfekce pitné vody. Dotazník také zjišťoval přesný druh a dodavatele chemických přípravků používaných k úpravě vody (kvůli další hypotéze).

Z dotazníkové akce vyplynulo, že 5 provozovatelů, kde byly zjištěny zvýšené hodnoty THM, nakupuje vodu od velkých vodárenských společností a distribuuje ji bez další úpravy. Přitom žádný z těchto velkých výrobců pitné vody nezaznamenal neobvykle vysoké nálezy THM v jím dodávané vodě. Ani u menších provozovatelů, kteří si vyrábějí vodu sami, nebyly zjištěny nějaké změny v technologii úpravy nebo společně používaný chemický přípravek.

**b) Hypotéza závadných chemických látok při úpravě vody:** desinfekce vody použitím chlornanu sodného (NaClO) nevhodné kvality, s neobvyklým množstvím bromidů a bromovaných látok.

SZÚ zjišťoval, zda se nevyskytl nový distributor NaClO nebo některý ze stávajících distributorů dodává NaClO nevhodné kvality. SZÚ prověřil desinfekční činidlo používané v obci A, tedy možnost vnosu THM aplikací NaClO nevhodné kvality. Byly provedeny chlorační zkoušky s NaClO používaném v obci A a s místní vodou. Tyto zkoušky neprokázaly nevhodnou kvalitu používaného NaClO, ani nadměrnou tvorbu THM.

Shrnutím poznatků z dotazníků a výsledků testů s NaClO bylo vyloučeno, že by se mohlo jednat o nesprávnou provozní praxi nebo použití závadného chemického přípravku na úpravu vody.

**c) Hypotéza laboratorní chyby:** vyloučením dvou výše uvedených hypotéz zůstala hypotéza jediná, a to, že se jedná o laboratorní chybu, což podporovala skutečnost, že všechny zvýšené hodnoty THM (cca dvacetkrát vyšší ve srovnání s jinými laboratořemi) pocházejí z jedné laboratoře L.

K dalšímu důkazu podporující tuto hypotézu patří rozbory vody ze skupinových vodovodů, jejichž jednotlivé části provozují různí provozovatelé, kteří si zajišťují rozbory vody v různých laboratořích. Přestože kvalita vody by měla být v celém skupinovém vodovodu přibližně stejná (obsah THM se může v jednotlivých částech vodovodu mírně měnit v závislosti na době stagnace vody; tento rozdíl může být pouze v řádu jednotek  $\mu\text{g/l}$ ), různé laboratoře zjistily ve skupinovém vodovodu významně odlišné výsledky od laboratoře L. Laboratoř L poskytovala vždy hodnoty násobně vyšší.

K prokázání této hypotézy přispělo srovnávací měření THM třemi dalšími akreditovanými laboratořemi a laboratoří L, které proběhlo v lednu 2021, kdy vzorky vody byly odebrány v asi 10 min. intervalech na stejném odběrném místě (laboratoř L však o paralelních odběrech jinými laboratořemi nevěděla). Dříve zjištěné informace a toto poslední srovnávací měření jednoznačně potvrdilo hypotézu laboratorní chyby.

**Tab. 1** srovnávací měření THM

Lokalita obec A	Laboratoř 1	Laboratoř 2	Laboratoř 3	Laboratoř L
<b>Čas odběru</b>	<b>10:30-10:40</b>	<b>10:30-10:40</b>	<b>asi 8:00</b>	<b>asi 10:15</b>
<b>Jednotky</b>	<b><math>\mu\text{g/l}</math></b>	<b><math>\mu\text{g/l}</math></b>	<b><math>\mu\text{g/l}</math></b>	<b><math>\mu\text{g/l}</math></b>
<b>Brom dichlormethan</b>	5,47	5,13	4,71	150,3
<b>Bromoform</b>	0,41	0,59	0,6	2,8
<b>Dibrom dichlormethan</b>	2,99	3,31	4,11	31,3
<b>Chloroform</b>	10,54	10,12	7,75	53,8
<b>Suma THM</b>	19,41	19,15	17,2	238,2

Následně SZÚ informoval o zjištění Ministerstvo zdravotnictví (MZ) a požádal ho o řešení situace.

## **AKTIVNÍ ROLE MZ V KAUZE FALEŠNĚ POZITIVNÍCH VÝSLEDKŮ THM V PITNÉ VODĚ**

Násobnou korespondencí mezi MZ a laboratoří L, resp. jejím vedením, nedošlo k objasnění přičin vysokých hodnot THM. Zdálo se však nepochybně, že v laboratoři L selhaly vnitřní kontrolní mechanismy vyplývající ze statutu akreditované laboratoře. Nebylo také objasněno,

o jaké období, ve kterém byly zvýšené výsledky THM poskytnuty zákazníkům, se jedná. Z historické řady výsledků se dalo usuzovat, že ke změně došlo nejpozději na jaře 2020. MZ vyzvalo laboratoř L k několika konkrétním nápravným krokům.

Vedle toho si MZ vyzádalo odborné stanovisko VŠCHT k problematice vysokých nálezů THM v pitné vodě. Závěr tohoto stanoviska uvádí: „*Z chemicko-technologického pohledu je obtížné, ne-li nemožné, vysvětlit, proč se v pitné vodě v lokalitě obce A vyskytují nárazově v roce 2020 neobvykle vysoké až extrémní koncentrace THM, když před tímto rokem byl při stejné kvalitě vody tento parametr v limitu. Podzemní voda v lokalitě obsahuje nízké koncentrace NOM (natural organic matters), běžné pro podzemní vody, které by nepostačovaly pro tvorbu tak vysokých koncentrací THM. Diskutabilní jsou i potřebné vysoké dávky chloru spojené se vznikem vysokých koncentrací THM. Podezřelý je i náhlý vznik vysokých koncentrací bromdichlormethanu na konci roku 2020, což by vyžadovalo prudký nárůst koncentrace bromidů v surové podzemní vodě, jejíž kvalita je jinak stálá.*“

MZ dospělo k názoru, že poskytnuté podklady včetně odborného posudku VŠCHT jsou dostatečné pro vyhodnocení, že vysoké hodnoty THM nemohou být správné. Nestandardní hodnoty THM pořízené laboratoří L v roce 2020 jsou rovněž nedílnou součástí databáze informačního systému PiVo a pokud nejsou správné, byly by v budoucnu zdrojem chybných výsledků statistik, čímž by byly podstatně desinterpretovány reálné výsledky a stav kvality pitné vody v ČR, a to jak v případě zpráv o kvalitě vody pro EU či WHO, tak v případě výzkumných projektů, které z dat IS PiVo vycházejí. Mezi provozovateli vodovodů by rovněž vznikly pochybnosti o správnosti postupu orgánů ochrany veřejného zdraví, jejichž rozhodnutí se opírala o výsledky THM z laboratoře L.

Z výše uvedených důvodů se v březnu 2021 MZ rozhodlo sestavit auditní tým k provedení externího auditu v laboratoři L, který měl jednoznačně prokázat či vyvrátit případná pochybení laboratoře L.

## **EXTERNÍ AUDIT V LABORATOŘI L**

Externí auditní tým byl pověřen Ministerstvem zdravotnictví, skládal se z 5 členů. Z toho byli 3 techničtí experti, 1 expert na systém managementu a laboratorní systém a vedoucí auditor. Audit proběhl začátkem května 2021 ve dvou dnech na místě v laboratoři L. Vybrané dokumenty si auditoři vyžádali předem. Cílem auditu bylo vyšetřit příčiny neobvyklých výsledků THM v pitné vodě a stanovit období, ve kterém byly tyto neobvyklé výsledky THM laboratoří L produkovány.

### **Prostředky k dosažení cíle auditu**

- Prověřit dokumentaci k akreditované metodě stanovení THM; zda došlo k aktualizaci metody a kdy?
- Zda došlo ke změnám v nastavení přístroje, případně k výměně kolony plynového chromatografu?
- Prověřit dokumentaci přístroje používaného ke stanovení THM, servis, zásahy, kalibrace včetně primárních dat, regulační diagramy min. od r. 2019.
- Prověřit používané chemikálie včetně kalibračních a validačních standardů; jak je ověřována stabilita ředěných standardů?
- Prověřit organizační řád a politiku jakosti; byla problematika vysokých nálezů THM řešena např. v rámci porady laboratoře L? Byla provedena riziková analýza i pro metodu stanovení THM?
- Prověřit personální složky osob, které se podílely od r. 2019 včetně a podílejí v současnosti na analýze THM – při změně pověřených osob, zda proběhlo zaškolení, ověření dovedností, předávání informací apod.?

- Poslední reakreditace nebo dozorová návštěva ČIA – byla prověřována metoda stanovení THM?
- Prověřit výsledky okružních rozborů THM včetně primárních dat a záznamů; jaká je četnost? Zaměřit se na bromované THM.
- Vyžádat si úplný rozbor vody z lokalit s vysokými nálezy THM (zejména TOC, CHSK, turbiditu, konduktivitu, zbytkový volný chlor, sumu Ca + Mg, pokud jsou k dispozici huminové látky) za období od roku 2018.
- Při vertikálním auditu vzorků v laboratoři L zapsaných do IS PiVo prověřit a) vzorky s nejvyššími koncentracemi THM z různých lokalit; b) vzorky s obvyklými koncentracemi THM z různých lokalit (dohledat i příslušný regulační diagram a kalibrační křivku).
- Vyžádat si informace o zdroji/zdrojích vody v obcích s vysokými THM (voda podzemní, povrchová, technologie úpravy, používané chemikálie, voda nakoupená od jiné vodárenské spol. a od které, je nakupovaná voda dále hygienicky zabezpečována?).

### **Co bylo posuzováno**

V rámci externího auditu byla posuzována kritéria, která dle uvážení auditorů mohla mít vliv na výsledky THM. Byly posuzovány kapitoly ČSN EN ISO/IEC 17025:2018: Pracovníci; Prostory a podmínky prostředí; Vybavení; Metrologická návaznost; Výběr, verifikace a validace metod; Vzorkování; Zacházení se zkušebními a kalibračními položkami; Technické záznamy; Vyhodnocení nejistoty měření; Zajišťování platnosti výsledků; Uvádění výsledků; Řízení dat a management informací; Řízení dokumentů systému managementu.

Dále byl proveden vertikální audit vybraných vzorků (jednak s vysokými nálezy THM a jednak s očekávanými hodnotami THM).

### **Co bylo zjištěno**

Celkově externí audit identifikoval 7 závažných neshod:

1. Nebyl předložen (neexistoval) plán údržby zařízení ke stanovení THM.
2. Nebyly vedeny záznamy o údržbě zařízení, údržba nebyla doložena.
3. Četnost kalibrace byla v rozporu se Standardním operačním postupem metody (SOP) (četnost byla podstatně snížena).
4. Jednotlivé verze SOP neodpovídaly skutečnému období používání zařízení.
5. V cca ½ roku 2019 byla provedena rekonstrukce zařízení pro stanovení těkavých organických láttek (TOL), včetně změny chromatografické kolony. Tato skutečnost nebyla zaznamenána v provozním deníku, byla potvrzena pouze ústně v rámci auditu. Neproběhla následná validace metody. Plnohodnotná validace proběhla až v únoru 2021 po servisním zásahu, který si laboratoř L vyžádala poté, co byla ze strany MZ upozorněna na chybné výsledky. Tím bylo ohrazeno období vydávání nesprávných výsledků.
6. Analytické schéma metody nebylo dodrženo jak v četnosti, tak v koncentračním rozsahu metody. Metoda nebyla dostatečně interně kontrolována.
7. V rámci diskuse bylo zjištěno, že vzorky s obsahem chloroformu nad 30 µg/l nebo suma THM nad 100 µg/l jsou pro další analýzu ředěny, vzorky do hodnot těchto koncentrací ředěny nejsou, i když lineární závislost byla ověřena pouze do hodnoty 10 µg/l.

Kromě identifikovaných neshod dali techničtí experti (techničtí auditoři) laboratoři L praktická doporučení.

### **Závěr externího auditu**

Nejvýznamnější vliv na vydané výsledky měly neshody číslo 5. a číslo 6. Auditoři zjistili časové rozmezí, ve kterém mohlo dojít k nesprávné funkci různých součástí analytického

přístroje,  
a tím mohlo být odhadnuto období, v jehož průběhu docházelo ke generování nesprávných výsledků.

Analytický systém nebyl interně ani externě udržován. Při vertikálních auditech byla zjištěna významná fluktuace odezvových faktorů analytů v čase, která měla za následek nelineární průběh kalibračních křivek analytů v rozsahu 2–10 µg/l, korelační koeficienty kalibračních křivek byly nízké a tyto kalibrační křivky nebyly tedy vhodné pro vyhodnocení výsledků. Zpráva z auditu závěrem konstatovala, že výsledky THM vyprodukované laboratoří L v období od 9. 7. 2019 do 14. 1. 2021 byly nevěrohodné.

## NÁSLEDNÉ KROKY

Detailní zpráva auditorů byla předána s ústním komentářem MZ. Následně MZ vyzvalo laboratoř L, aby podala informaci o provedených nápravných opatřeních a u ještě probíhajících opatření doplnění o termín plnění. Dále MZ nařídilo vydání opravných protokolů pro období, kdy byly vydávány nevěrohodné výsledky s výjimkou velmi nízkých výsledků THM (pod LOQ nebo THM do 10 µg/l).

Laboratoř L doložila zavedená a zaváděná nápravná opatření. Dále pro období, kdy byly vydávány nevěrohodné výsledky, provedla laboratoř L analýzu rizik, zaměřenou na negativní ovlivnění výsledků zákazníka a celkové hodnocení kvality vody. Na základě této analýzy rizik se laboratoř L rozhodla vystavit opravné protokoly za dané období pouze těm zákazníkům, kde byly vydány výsledky THM s koncentrací nad limitem daným vyhláškou č. 252/2004 Sb. U vydaných výsledků THM pod limitem uvedené vyhlášky vyhodnotila laboratoř L, že nedošlo k poškození zákazníka, přesto, že tyto výsledky v rámci analýzy rizik označila laboratoř L za nesprávné.

MZ se na konci roku 2021 opět obrátilo na skupinu externích auditorů, aby zpracovala stanovisko k předloženým důkazním dokumentům z laboratoře L o nápravných opatřeních a posoudila jejich adekvátnost.

Z dokumentů předaných MZ externím auditorům bylo možné konstatovat, že laboratoř L předložila nápravná opatření pro všechny zjištěné neshody v rámci provedeného auditu, akceptovala i doporučení auditního týmu, kdy doporučení nejsou závazná.

Rozsah opravných protokolů se laboratoř L rozhodla omezit analýzou rizik s možným dopadem na zákazníka (jednalo se o více než 250 protokolů). Obecně lze postup analýzy rizik vůči zákazníkovi akceptovat, ovšem nelze souhlasit s konstatováním, že nesprávný výsledek, byť byl vydán jako hodnota splňující limit vyhlášky, nemá negativní dopad na zákazníka. Takto ponechané hodnoty zkreslí statistické údaje daného vodovodu a sledovaných látek v celostátní databázi PIVO. Může se jednat o hodnoty zatížené jak negativní, tak pozitivní chybou. Zároveň tímto postupem nebylo splněno nařízení MZ k opravě protokolů.

## NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ

Při zjištění neshodné práce v akreditované laboratoři vyplývají nápravná opatření ze samé podstaty akreditace. Nutné kroky k nápravě byly projednány s účastníky v průběhu auditu a auditoři – experti formulovali také doporučení, která laboratoř akceptovala a provedla. Realizaci nápravných opatření doložila laboratoř L následně MZ.

Jedná se o kroky, které musí analytik realizovat, jako je např. linearita kalibrační křivky a měření v oblasti lineární kalibrace, provedení kalibrace v odpovídajícím rozsahu očekávaných koncentrací, návaznost výsledku analytu/ů na aktuální kalibraci, v případě zjištěné vyšší koncentrace analytu provést ředění vzorku a ověřit nejistotu tohoto ředění, průběžné prověrování funkčnosti přístroje (měření standardů), verifikace metody

při významném zásahu do konfigurace přístroje (tím výměna chromatografické kolony rozhodně je), pravidelný servis přístroje, dostatečný zácvik analytiků a odborný dohled, atd.

Dalším kontrolním prvkem může být i dříve zjištovaná koncentrace analytu v dané lokalitě a porovnání vývoje kvality vody v základních parametrech. Jde o nastavení vlastního kontrolního mechanismu laboratoře, nastavení systému odborného vzdělávání apod., aby lidské (analytické) pochybení bylo minimalizováno.

## ZÁVĚR

Ministerstvo zdravotnictví považuje situaci kolem vzniku a následného využití nesprávných výsledků za závažnou a zcela nepřijatelnou, neboť generací velkého množství nesprávných výsledků a jejich použitím při rozhodování orgánů ochrany veřejného zdraví došlo k poškození jména hygienické služby, dále byly zkresleny výsledky o kvalitě vody v ČR, které jsou dále interpretovány široké odborné i laické veřejnosti (Evropská unie, Světová zdravotnická organizace apod.).

Pro vykazování statistických údajů se MZ a SZÚ rozhodly veškeré výsledky THM vydané laboratoří L v inkriminovaném období 9. 7. 2019 – 14. 1. 2021 ze statistiky (z databáze IS PiVo) vyjmout i přesto, že nebyly vydány opravné protokoly. Jedná se řádově o tisíce hodnot. Jen při zpracování Zprávy o kvalitě pitné vody v ČR za rok 2020 bylo takto vyřazeno 2913 hodnot THM z vodovodů a 1250 hodnot THM z veřejných a komerčních studní.

Co tato kauza ukázala v praxi? Většina provozovatelů si abnormálně zvýšených nálezů THM pravděpodobně ani nevšimla, i když se zjištěné hodnoty pohybovaly třeba na desetinásobku řady předešlých výsledků. Kupodivu si někteří nevšimli ani toho, že výsledek jednoho z ukazatelů je v rozporu s hygienickým limitem, nebo alespoň podle toho nekonali – podle zákona měli provést opakovaný rozbor a šetřit příčinu překročení limitu. Je to proto, že se, jak bylo uvedeno výše, jednalo o malé vodovody, které provozují samy obce nebo fyzické osoby, jejichž vodárenská profesionalita je velmi nízká.

Určitou vinu zde mají i pracovníci hygienických stanic, kteří všechny došlé výsledky do databáze IS PiVo za svůj region tzv. verifikují (v databázi musí potvrdit, že výsledek kontrolovali). Řadě z nich nepřišly abnormální výsledky THM jako podezřelé, v některých nadlimitních případech ani nezjišťovali, zda byl proveden opakovaný rozbor – popř. se spokojili s opakovaným (a stejně vysokým) nálezem ze stejné laboratoře, který považovali za potvrzení nevyhovujícího stavu, i když ve stejném úplném rozboru vycházely výsledky volného chloru a CHSK-Mn nebo TOC obvykle nízké.

Zákazníci se zřejmě spokojili s tím, že výsledky poskytla akreditovaná laboratoř. Výše popsaná kauza by měla být poučením pro akreditované laboratoře, aby k takovým omylům nedocházelo. V případě laboratoře L se jednalo o významné riziko – selhání lidského faktoru.

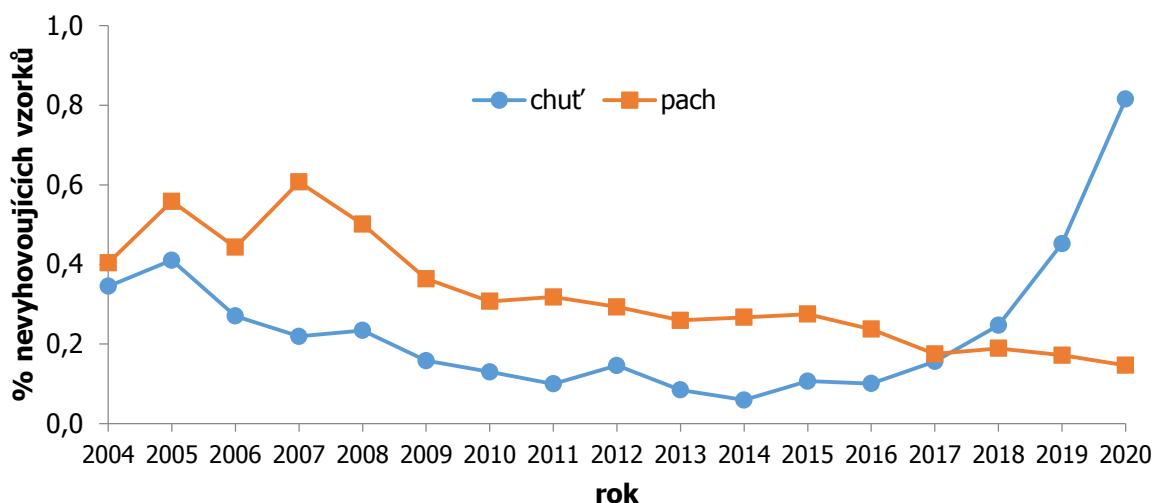
# PŘÍČINY ZVÝŠENÉHO POČTU VZORKŮ S NEPŘIJATELNOU CHUTÍ V LETECH 2018–2021

Mgr. Petr PUMANN, MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.,  
Ing. Lenka MAYEROVÁ, Ph.D., Ing. Daniel Weyessa GARI, Ph.D.

Státní zdravotní ústav, Šrobárova 49/48, Praha 10, 100 00  
E-mail: [petr.pumann@szu.cz](mailto:petr.pumann@szu.cz)

## ÚVOD

Státní zdravotní ústav každoročně připravuje Zprávu o kvalitě pitné vody v ČR [1]. Od roku 2004, kdy začaly být zprávy vytvářeny z dat informačního systému Pitná Voda (IS PiVo) pro celou ČR, zhruba deset let klesalo zastoupení výsledků překračujících limitní hodnoty. Poté se tento trend zastavil a v posledních letech dokonce došlo k mírnému nárůstu [1]. Jednou z příčin tohoto nárůstu je zvyšující se počet vzorků s nepřijatelnou chutí. Do roku 2016 se počet vzorků s nevhovující chutí ve veřejných vodovodech pohyboval v řádu nižších desítek ročně. V roce 2014 bylo zaznamenáno pouze 17 nevhovujících výsledků chuti, což odpovídalo zhruba 0,10 % vzorků (obr. 1). Od 2017 počet vzorků s nepřijatelnou chutí zasílaných do IS PiVo začal znatelně narůstat. V roce 2020 bylo vzorků s nepřijatelnou chutí již 237 (0,82 %). Zajímavé na celé situaci je navíc to, že počet vzorků s nevhovujícím páchem stále mírně klesá. Vzhledem k tomu, že v roce 2018 proběhla novelizace vyhlášky č. 252/2004 Sb., která přinesla změny při vzorkování, a v roce 2019 byla revidována také metodická norma (převod TNV 75 7340 [2] na ČSN 75 7340 [3]), jsme chtěli zjistit, zda za navýšením počtu výsledků s nevhovující chutí stojí právě tyto změny.



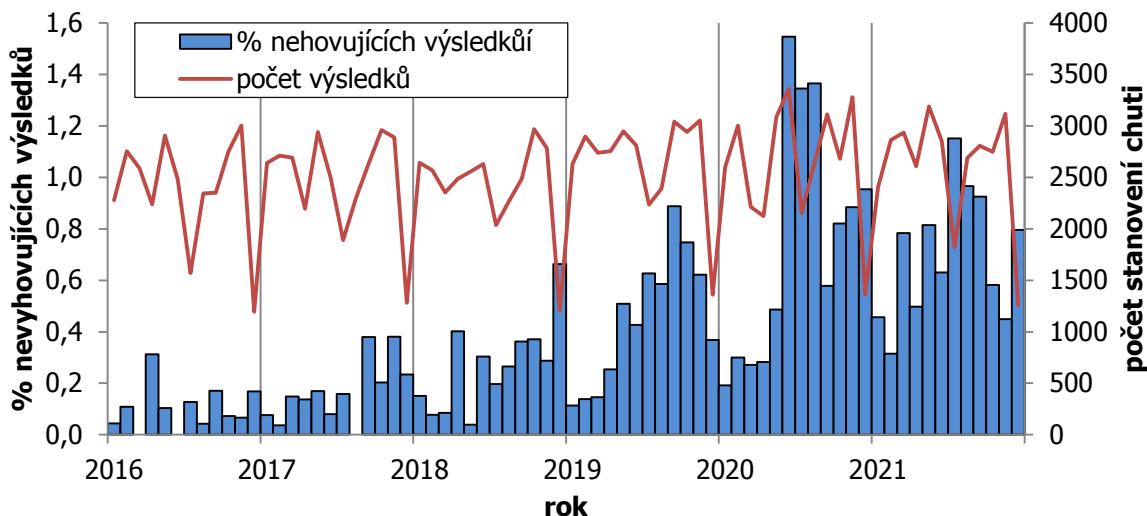
Obr. 1. Procento překročení limitní hodnoty pro pach a chut' ve veřejných vodovodech v letech 2004–2020. Data ze Zpráv o kvalitě pitné vody v ČR

## METODY

Počátkem února 2022 byla z IS PiVo stažena data pro ukazatel chut' za období 2016–2021 (více než 180 tisíc hodnot), a později také další ukazatele (pach, teplota, mikrobiologické indikátory). Data byla následně zpracována v MS Excel. V dubnu 2022 byly také kontaktovány čtyři laboratoře kvůli upřesnění údajů zasílaných do IS PiVo.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

První analýza dat zasílaných do IS PiVo se týkala rozložení nepřijatelných výsledků chuti během roku. Z obr. 2 je zřejmé, že od roku 2017 dochází k častějšímu výskytu vzorků s nevhovující chutí především v létě, nejméně se vyskytují v lednu a únoru. Nabízí se tedy hypotéza, že za tím může, alespoň z části, stát vyšší teplota v letních měsících (obr. 3). Rozdíl teplot pitné vody (celorepublikových středních hodnot) mezi nechladnější únorem a nejteplejším srpnem byla v období 2016 až 2021 vždy vyšší než 8 °C (max. 10,5 °C). Zvýšená teplota se může projevit zhoršenými senzorickými vlastnostmi, díky vyšší mikrobiální aktivitě nebo vyššímu vyluhování látek z potrubí. Zároveň je v případě provádění senzorické zkoušky v místě odběru v zimním období větší riziko, že bude testován podchlazený vzorek (pod 17 °C). Pach a chut' podchlazených vzorků jsou mnohem méně výrazné. Testování takových vzorků je však metodická chyba a je v rozporu s požadavky ČSN 75 7340.



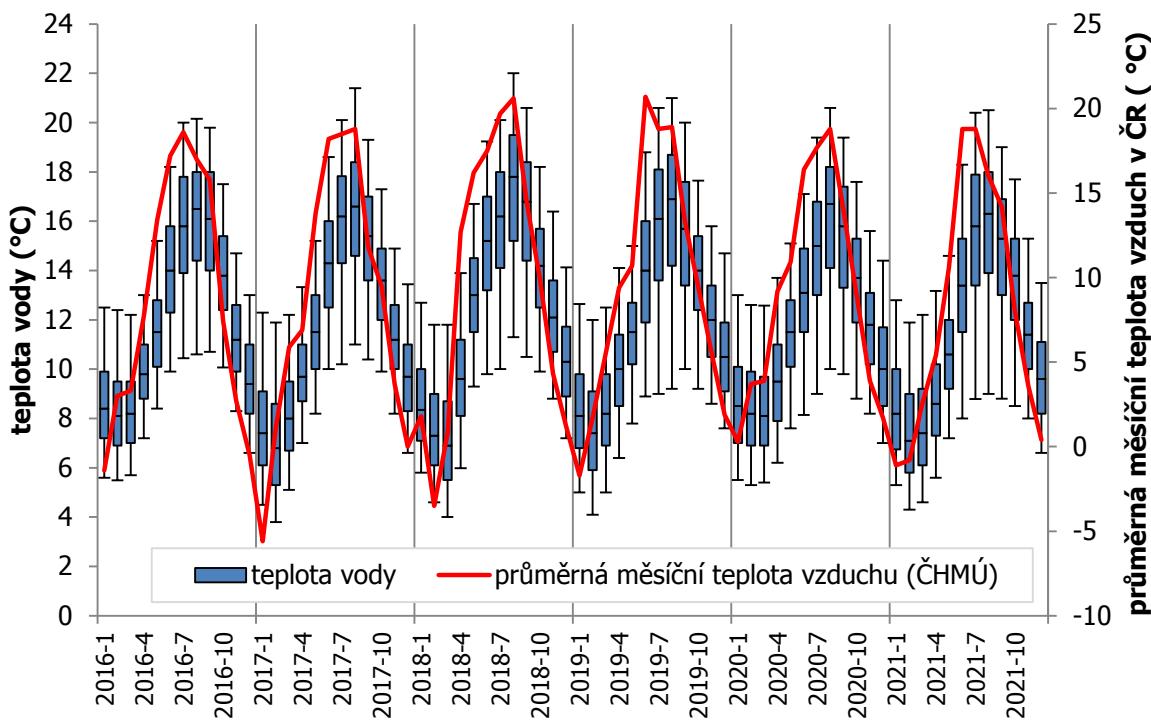
**Obr. 2. Překročení limitní hodnoty pro chut' ve veřejných vodovodech v jednotlivých měsících v letech 2016–2021. Data z IS PiVo**

Další možnou příčinou růstu počtu vzorků s nevhovující chutí, kterou jsme zvažovali, je změna ve vzorkování, kterou přinesla novela vyhlášky č. 252/2004 Sb. z roku 2018. Ta v návaznosti na revizi evropské směrnice z roku 2015 upřesnila postup pro vzorkování. Před touto novelizací byla obvykle voda při standardním odběru odtočena do konstantní teploty a teprve po té byly plněny vzorkovnice pro většinu ukazatelů (včetně senzoriky), címž se výrazně omezil vliv domovního rozvodu na kvalitu vody. Novelizovaná legislativa však přinesla požadavek na vzorkování mikrobiologických ukazatelů pouze po krátkém odtočení, které je nutné k odplavení prostředku použitého k dezinfekci kohoutku (podrobnosti v metodickém doporučení SZÚ [4]).

To by hypoteticky mohlo přinést zvýšení teploty odebíraného vzorku a také možnost většího ovlivnění senzorických vlastností vody domovním rozvodem. Jak je však patrné z obr. 3, přinejmenším v celorepublikových hodnotách není po novelizaci v roce 2018 patrný ani malý nárůst teplot ve srovnání s obdobím před novelizací. Problematika určitě stojí za hlubší prozkoumání přesahující rámec tohoto příspěvku (prověřit změny především u mikrobiologických ukazatelů).

Dále jsme se zaměřili na laboratoře, které nepřijatelné nálezy chuti do IS PiVo zaslaly. Výsledky stanovení chuti ve veřejných vodovodech v období 2016–2021 pocházely od 79 laboratoří. Alespoň jeden vzorek s nepřijatelnou chutí zaznamenalo 21 z nich. Celkem bylo do IS PiVo v tomto období zasláno 749 vzorků s nepřijatelnou chutí. Více než 85 % z nich

však připadá pouze na 5 laboratoří (obr. 4). U prvních čtyř bylo zaznamenáno po roce 2016 znatelné zvýšení počtu vzorků s nepřijatelnou chutí, aniž by se odpovídajícím způsobem zvýšil celkový počet vzorků. U laboratoře č. 2 bylo zvýšení patrné již v roce 2017, u laboratoře č. 4 od roku 2018 a u laboratoří č. 1 a 3 od roku 2019. U laboratoře č. 5 není z dat jasné, zda k nějakému výraznému zvýšení došlo, nebo zda se jedná jen o meziroční kolísání. Proto jsme se blíže zabývali jen prvními čtyřmi laboratořemi.



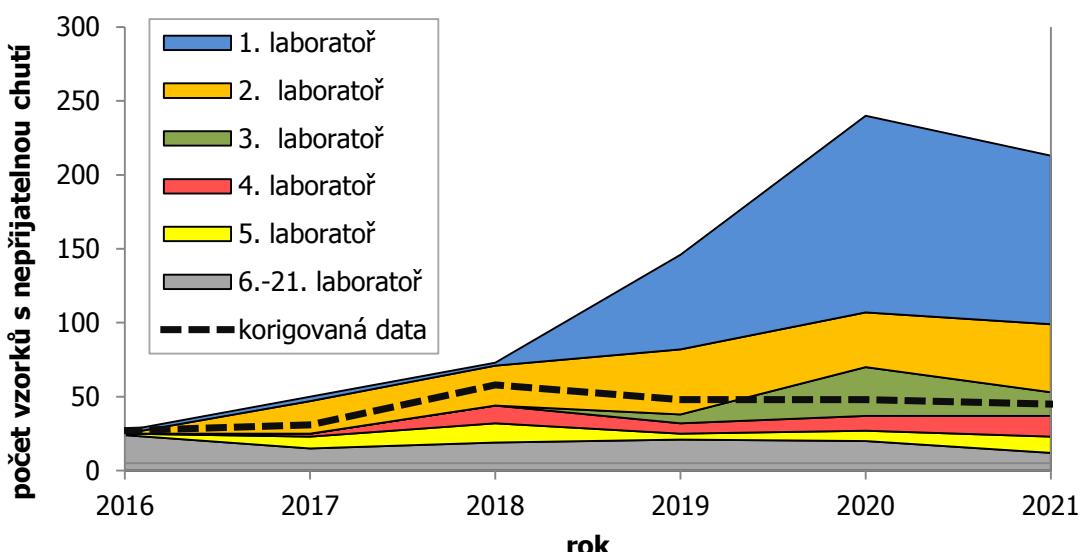
**Obr. 3. Teplota vody ve veřejných vodovodech v letech 2016–2021. Jednotlivé krabičky představují měsíční hodnoty pro 25., 50. a 75. percentil (standardně), vousy pak 5. a 95. percentil (data IS PiVo). V grafu jsou dále zobrazeny měsíční průměry teploty vzduchu v ČR (data ČHMÚ)**

Laboratoře č. 1, 2 a 4 jsou laboratoře vodárenských společností, laboratoř č. 2 není spojena s žádným provozovatelem. Z tabulky 1 je zřejmé, že laboratoře č. 1 a 3 mají zastoupení vzorků s nevyhovující chutí vyšší u systémů, které zásobují menší počet obyvatel. U laboratoře č. 4 se četnější nálezy nevyhovující chuti objevily pouze u tří vodovodů (různě velkých). U laboratoře č. 2 žádný vztah k velikosti zásobovaných oblastí není patrný. Tato laboratoř však rozboru z vodovodů na 50 tisíc zásobovaných obyvatel téměř neprovádí.

Z rozhovorů a emailové komunikace s jednotlivými laboratořemi vyplynulo, že u laboratoří č. 1 a 3 se jednalo o stejnou příčinu, která se však vůbec netýká nevyhovující chuti. Obě laboratoře vzorkují a provádějí laboratorní rozboru jak vodovodů, které jejich společnost sama provozuje, tak pro jiné provozovatele (často obce). U těch druhých provádějí stanovení chuti pouze u vzorků mikrobiologicky nezávadných (před senzorickou analýzou se čeká na výsledek mikrobiologického rozboru). V IS PiVo u mikrobiálně závadných vzorků pak chyběl výsledek chuti, což se nelíbilo pracovníkovi příslušné KHS. Řešením situace byla dohoda, že se u těchto vzorků bude zadávat chut' jako nepřijatelná. To je však, vzhledem k dalšímu zpracování dat, přinejmenším z našeho pohledu velmi nešťastné řešení.

Laboratoř č. 2 vykazuje chut' u vzorků s nevyhovujícím mikrobiologickým rozbořem jako nepřijatelnou, tedy stejně jako laboratoře č. 1 a 3. U této laboratoře však navíc došlo i ke změně v provádění senzorických zkoušek. V průběhu roku 2017, od kdy tato laboratoř vykazuje vyšší podíl vzorků s nevyhovující chutí, byly stávající i noví pracovníci provádějící senzorický rozbor externě proškoleni a byla také zvýšena vzájemná zastupitelnost pracovníků. Laboratoř začala rovněž místo TNV 75 7340 pracovat podle ČSN EN 1622. Výhodou pro senzorické analýzy také může být skutečnost, že se nejedná o laboratoř provozovatele vodovodů, takže nejsou zpracovávány žádné vzorky z vlastních vodovodů ke kterým v jiných laboratořích můžou přistupovat s lehkými předsudky typu „*naše voda nemůže chutnat špatně*“. V této laboratoři navíc pracovníci zpracovávají vzorky pouze pod kódem a tím pádem opět bez možných předsudků, které při senzorické analýze mohou hrát důležitou roli.

Z laboratoře č. 4 jsme zatím nedostali odpověď. Její výsledky se však od laboratoří č. 1–3 liší jednak již zmíněnou kumulací nepřijatelných výsledků pouze ve třech vodovodech (zásobovaných oblastech) a pak také vzájemným vztahem ukazatelů pach a chut' v jednotlivých vzorcích. Ten je zcela odlišný než u laboratoří č. 1–3, u kterých v letech 2019–2021 ve vzorcích se senzorickým problémem (tj. nepřijatelný pach nebo chut' nebo oba ukazatele) jednoznačně převládala varianta nepřijatelná chut' a přijatelný pach (tab. 2). U laboratoře č. 4 tvořila polovinu případů vzorků se senzorickým problémem kombinace nepřijatelné chuti a nepřijatelného pachu (tab. 2). Proto se domníváme, že za zvýšením nálezů nevyhovující chuti bude pravděpodobně jiná hlavní příčina než u laboratoří č. 1–3.



**Obr. 4. Počet vzorků z veřejných vodovodů v jednotlivých měsících v letech 2016–2021 s nepřijatelnou chutí.** Jednotlivě jsou zobrazeny čtyři laboratoře s výrazným zvýšením hodnot. Dalších 18, u kterých nedošlo v období k významné změně, bylo sloučeno do jedné skupiny (šedě). Zbylých 58 laboratoří nezaslalo do IS PiVo v tomto období žádný vzorek s nevyhovující chutí. Korigovaná data představují výsledky s nevyhovující chutí od všech laboratoří po odečtení nevhodně vykázaných vzorků (viz tab. 3). Data z IS PiVo

Ze srovnání výsledků mikrobiologických indikátorů a stanovení chuti u jednotlivých vzorků laboratoří č. 1–3 zjistíme přibližný počet vzorků, u kterých nebyla chut' stanovena, ale v IS PiVo byla označena jako nevyhovující. Jedná se o vzorky s nevyhovujícím mikrobiologickým rozbořem a zároveň nepřijatelnou chutí (tab. 3). Celkově jde o téměř

500 vzorků. Na celkovém počtu vzorků s nepřijatelnou chutí by odečtení těchto vzorků byl v letech 2017–2021 patrný jen velice mírný vzestupný trend, který by pravděpodobně nevzbudil naši pozornost (obr. 4 – křivka korigovaná data).

**Tab. 1. Počet stanovení chuti a procento výsledků s nepřijatelnou chutí u čtyř laboratoří s nejvyšším počtem výsledků s nepřijatelnou chutí zaslaných do IS PiVo v období 2016–2021. Rozděleno podle počtu zásobovaných obyvatel**

Počet obyvatel	1. laboratoř		2. laboratoř		3. laboratoř		4. laboratoř	
	N	%	N	%	N	%	N	%
<100	1412	7,6	265	7,9	497	3,6	18	11,1
100-499	2937	3,1	719	7,6	777	4,6	435	0,2
500-999	1340	2,0	664	4,2	102	0,0	245	0,0
1000-2999	1803	1,8	456	5,0	159	0,6	556	2,7
3000-4999	667	1,6	122	0,8	0	-	292	1,0
5000-9999	646	0,8	244	4,9	215	0,0	126	0,0
10000-19999	1673	1,6	255	7,5	0	-	403	1,5
20000-49999	1170	1,5	192	8,9	5	0,0	2	0,0
50000-99999	440	0,5	2	0,0	370	0,0	975	0,1
>100000	19	0,0	3	0,0	0	-	683	2,5

**Tab. 2. Kombinace různých výsledků pachu a chuti (v absolutních počtech i procentech) u jednotlivých vzorků v letech 2019–2021 ve čtyřech laboratořích s nevětším počtem vzorků s nepřijatelnou chutí a souhrnně ve všech ostatních laboratořích (P – přijatelný/přijatelná; N – nepřijatelný/nepřijatelná; X – stanovení neprovedeno/výsledek neuveden). Data z IS PiVo**

laboratoř č.	chut' P pach P	chut' N pach P	chut' P pach N	chut' N pach N	chut' X pach P	chut' X pach N	chut' P pach X	chut' N pach X
1	n	6068	284	0	3	38	0	287
	%	91	4,2	0,00	0,04	0,57	0,00	4,3
2	n	1433	127	0	0	11	0	12
	%	91	8,0	0,00	0,00	0,69	0,00	0,76
3	n	991	45	0	0	8	0	58
	%	89	4,1	0,00	0,00	0,72	0,00	5,2
4	n	1858	13	3	16	2	0	11
	%	98	0,68	0,16	0,84	0,10	0,00	0,58
ost.	n	82817	23	41	51	1847	49	545
	%	97	0,03	0,05	0,06	2,2	0,06	0,64
								0,00

**Tab. 3. Vzájemná kombinace výsledků chuti a tří mikrobiálních indikátorů (koliformní bakterie, E. coli, enterokoky) u laboratoří č. 1–3 v letech 2017–2021 („+“ nepřekračuje limit; „–“ alespoň jeden mikrobiální indikátor překračuje limit). Data z IS PiVo**

laboratoř	chut'	výsledky mikrobiálních indikátorů										Σ	
		2017		2018		2019		2020		2021			
		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-		
1	nepřijatelná	2	1	2		6	58	7	126	3	111	296	
	přijatelná	1827	31	1810	32	1989	45	2132	59	2089	41		
2	nepřijatelná	4	18	12	15	10	34	4	33	4	42	142	
	přijatelná	463		454		497	1	464		483			
3	nepřijatelná						6		33	1	15	54	
	přijatelná	343	1	335		365	1	395		288			

## **ZÁVĚR**

Z komunikace s vybranými laboratořemi vyplynulo, že u velké části vzorků s nepřijatelnou chutí ve skutečnosti vůbec stanovení chuti neproběhlo z důvodu nevyhovujícího mikrobiologického rozboru. K neprovedení stanovení chuti u takovýchto vzorků nic nemáme, způsob vykazování však považujeme za velmi nešťastný.

Do budoucna považujeme za nutné celou situaci vyřešit jiným způsobem.

Jedním z uvažovaných řešení je úprava IS PiVo tak, aby mohl být přijat výsledek chuti nejen jako *přijatelná* či *nepřijatelná*, ale rovněž jako *nelze stanovit*. Tato alternativa by se mohla využít nejen z důvodu nevyhovujícího rozboru pro mikrobiologii, ale i v dalších případech jako je např. nepřijatelný pach, velmi silný zákal či barva.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu TAČR TL0300025 Kohoutkovou nebo balenou: Bariéry a motivace konzumace pitné vody. Velmi děkujeme pracovníkům laboratoří, kteří nás informovali o důvodech zvýšených nálezů nevyhovujících výsledků chuti ve svých vzorcích.

## **SEZNAM LITERATURY**

1. Státní zdravotní ústav (2021). Monitoring pitné vody. Available from: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/kvalita-vody/monitoring-pitne-vody>
2. TNV 75 7340 Jakost vod – Metody orientační senzorické analýzy (1/2005)
3. ČSN 75 7340 Kvalita vod – Metody orientační senzorické analýzy (12/2019)
4. Státní zdravotní ústav (2020). Metodické doporučení NRC pro pitnou vodu k provedení odběru pitné vody u spotřebitele podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. ve znění vyhlášky č. 70/2018 Sb. Available from: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/kvalita-vody/odbery-pitne-vody>

# **DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ MEZI ÚSPĚŠNÝMI ŽADATELI O PODPORU Z PROGRAMU DEŠŤOVKA**

**RNDr. Šárka BOBKOVÁ, Ph.D.<sup>1)</sup>, Jakub HRBEK<sup>2)</sup>, Mgr. Petr PUMANN<sup>1)</sup>,  
Ing. Martina MYŠAKOVÁ<sup>1)</sup>, MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Oddělení hygieny vody, Státní zdravotní ústav, Šrobárova 48/49, 100 00 Praha 10

<sup>2)</sup> Státní fond životního prostředí ČR, Olbrachtova 2006/9, 140 00 Praha 4

E-mail: [voda@szu.cz](mailto:voda@szu.cz)

## **ÚVOD**

Hledání a využívání alternativních zdrojů vody je oblast, která se v posledních letech nejen velmi rozvíjí, ale též finančně podporuje. Jedním z takových dotačních programů je program Ministerstva životního prostředí (MŽP) a Státního fondu životního prostředí (SFŽP) s názvem „Dešťovka“. Cílem programu je podpora šetrného hospodaření s vodou v domácnostech s tím, že dotace podporuje pořízení některého ze čtyř typů systémů (I. využití srážkové vody na zálivku, II. využití srážkové vody pro splachování WC a zálivku, III. využití části odpadní vody (šedé vody) jako užitkové, IV. využití vycištěné odpadní (tzv. šedé) vody v kombinaci se srážkovou vodou. Uvedené systémy (kromě I.) lze budovat jak do stávajících staveb, tak do novostaveb.

K tomuto programu i k celému využívání alternativních vodních zdrojů existuje ale jen velmi málo zpětných vazeb a vyhodnocení. Proto jsme se rozhodli oslovit ve spolupráci se Státním fondem životního prostředí úspěšné příjemce dotace „Dešťovka“ s dotazníkem týkajícím se jak použitých technologií a údržby systému, tak především jejich zkušeností s provozem a vyskytnutými problémy i s motivací jejich pořízení. Výsledky dotazníkového šetření nám pomohli shrnout nejčastější problémy a deficity, na které by bylo dobré upozornit, a také zhodnotit vlastní program Dešťovka. Ten velká část respondentů vnímá jako smysluplný a užitečný.

## **MATERIÁL A METODY**

Elektronický dotazník byl rozeslán prostřednictvím SFŽP úspěšným příjemcům dotace Dešťovka. Jednalo se celkem o více než 6800 žadatelů. Dotazník byl vytvořen v programu Google forms (<https://docs.google.com/forms/u/0/>) a byl aktivní po dobu 4 měsíců (duben – červenec 2021). V paralele s uvedenými dotačními typy byl dotazník rozdělen na 3 nezávislé okruhy a 2 podokruhy:

1. pro ty, co využívají srážkovou vodu,
  - a) podokruh využití pouze na zálivku,
  - b) podokruh využití srážkové vody i k jiným účelům, než je zálivka,
2. pro ty, co využívají šedou vodu,
3. pro ty, co využívají kombinaci srážkové a šedé vody.

Dotazník byl anonymní a každý z respondentů si mohl po první otázce zvolit, který z okruhů/podokruhů bude vyplňovat. Otázky se týkaly způsobů využití, některých provozních aspektů systému a jeho údržby, dále pak slovního hodnocení problémů a dalších zkušeností s provozem i vlastní dotační podporou. Většina otázek byla uzavřených (výběrové i výčtové otázky).

Většina uzavřených otázek byla povinná, otevřené otázky s nutností slovního hodnocení byly dobrovolné. Statistické vyhodnocení probíhalo v programu Excel 2016 (Microsoft Office).

## VÝSLEDKY

Z 6 854 oslovených příjemců odpovědělo na dotazník 1671 respondentů, z nichž 1637 bylo pro okruh srážkových vod a 34 pro okruh šedých vod. Po odstranění odpovědí, které se dublovaly, bylo k hodnocení celkem 834 dotazníků týkajících se využití srážkové vody na zálivku (respondence 21 %), 792 dotazníků týkajících se využití srážkové vody i v interiéru budov (respondence 28 %), 1 dotazník v okruhu využití šedých vod (respondence 14 %) a 33 dotazníků v okruhu využití šedých a srážkových vod (respondence 55 %), viz tabulka (tab. 1).

**Tab. 1. Počet příjemců dotace v programu „Dešťovka“, počet získaných dotazníků pro jednotlivé okruhy a respondence v jednotlivých okruzích.**

	<b>počet oslovených (příjemci dotace)</b>	<b>získaný počet dotazníků</b>	<b>respondence %</b>
<b>Srážková voda, zálivka (B1)</b>	3939	834	21
<b>Srážková voda, i interiér (B2)</b>	2848	792	28
<b>Šedá voda (C1)</b>	7	1	14
<b>Šedá + srážková voda (C2)</b>	60	33	55

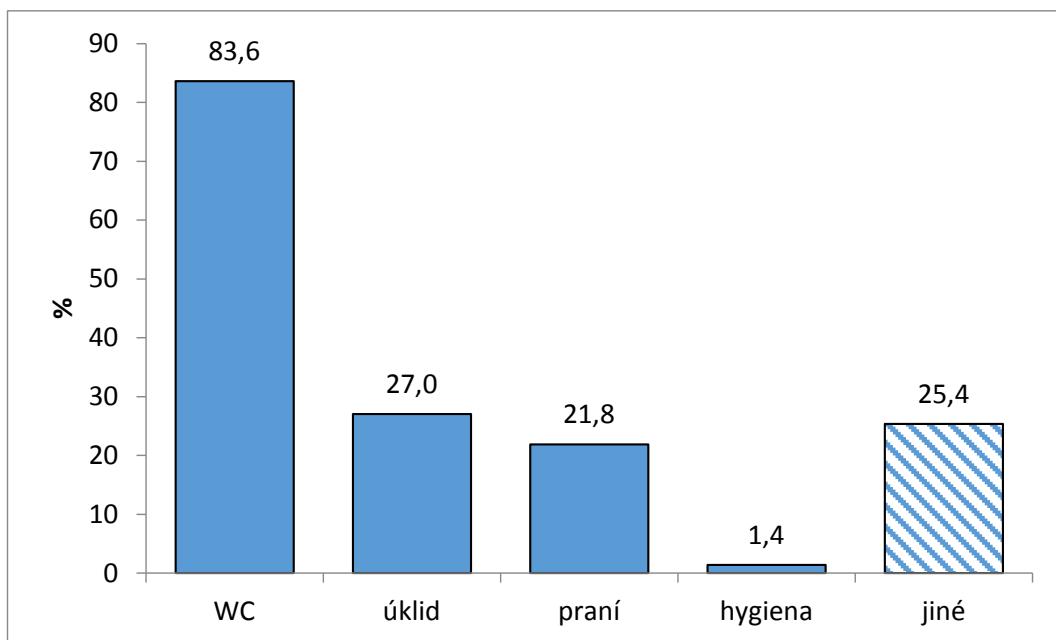
Předmětem přednášky budou především výsledky části týkající se využití srážkových vod uvnitř interiéru, neboť v tomto okruhu máme statisticky významný počet odpovědí a je to spolu s využitím přečištěných šedých vod alternativa, která se v posledních letech stále více diskutuje a využívá.

## SRÁŽKOVÉ VODY K JINÝM ÚČELŮM, NEŽ JE ZÁLIVKA

### Provoz a použití

Zatímco dotace pro zálivkové systémy lze čerpat pouze pro stávající obytné domy, v případě komplexních systémů pro využití srážkové vody jako vody užitkové lze dotaci čerpat jak pro stávající domy, tak i domy ve výstavbě. V prezentovaném dotazníku byly hodnocené systémy v 53 % součástí novostavby postavené po 1. 1. 2017 a ve zbylých 47 % šlo o stavby staršího data, do kterých byl systém dodatečně zaveden nebo byl rozšířen původní zálivkový systém. Většina systémů (90 %) byla vybudována v letech 2018–2020 a jde tedy převážně o technologie, které byly v době vyplňování dotazníku v provozu 1–4 roky.

Nejčastějším způsobem využití srážkové vody v interiéru je splachování WC (84 %), asi čtvrtina respondentů používá srážkovou vodu též k úklidu nebo praní a malá část respondentů (1,4 %) ji užívá též k osobní hygieně (obr. 1). Někteří respondenti používají srážkovou vodu i k jiným účelům, mezi nimiž uvedli např. mytí aut, kol, nářadí, čištění ploch kolem objektu (chodníčků, teras) a napouštění bazénů či zahradních jezírek. Bohužel blíže neurčitelná část respondentů v rozporu s otázkou mezi jiné účely zařadila také zálivku, takže tuto kategorii nelze smysluplně vyhodnotit. Na obrázku (obr. 1) je proto sloupec odpovídající jiným účelům znázorněn šrafováně.



**Obr. 1. Účely použití srážkové vody v interiéru. Kategorii „jiné“ nelze smysluplně vyhodnotit proto je na obrázku znázorněna odlišně (šrafovaně).**

### Zdroj vody a dostatečnost

Ve všech systémech je zdrojem srážkové vody voda ze střech, v 5 % objektů je k tomu ještě svedena voda z přilehlých komunikací (z parkovišť, chodníků, silnic apod.). V jedenácti objektech (ze 792) je zdrojem i jiná voda než pocházející ze střech či komunikací, ale její původ nebyl blíže specifikován. At' je zdroj vody jakýkoliv, podle 82 % respondentů srážková voda obvykle dostačuje k uvedeným účelům. V komentářích pak sice 11 respondentů kritizovalo nedostatečnou velikost akumulační nádrže, i přesto ale hodnotili množství srážkové vody jako obvykle dostačující.

### Technologická řešení

Systémy pro využití srážkových vod uvnitř budov nebývají nijak komplikované – jejich součástí jsou akumulační nádrže, filtry a případně jednotka zabezpečující dezinfekci. Z našeho dotazníku vyplývá, že si je alespoň zčásti zřizovali/sestavovali respondenti svépomocí. Překvapivě ale téměř v 90 % není voda před použitím nijak dezinfikována, a to ani tehdy, když ji respondenti používají k osobní hygieně.

Z technologických aspektů řešení je důležité, aby byly dodrženy požadavky normy ČSN EN 1717 a ČSN 75 5409, tedy vodovody různých druhů vod (zde pitné a užitkové) se nesmí vzájemně přímo spojovat [1, 2]. To je podle respondentů asi ve většině případů dodrženo, ale více než polovina respondentů (59 %) nemá potrubí jasně barevně označeno. To může představovat riziko při zásazích do systému, kdy může dojít k neúmyslnému propojení rozvodu pitné a užitkové vody.

### Problémy s kvalitou vody a funkcí systému

Většina respondentů (77 %) nemá nebo dosud nemělo s kvalitou vody nebo celým systémem žádné problémy, přesto ale někteří z nich v dalších otázkách některé problémy uvedli. Nejčastěji se jednalo o zanášení filtrů pylem či jinými nečistotami (hlína, prach, saze) a zápach. Jemné nečistoty pak způsobují i zanášení keramiky, která se hůře čistí. Kromě jemných nečistot se podle respondentů dostávají do nádrží i drobní živočichové (myši, slimáci apod.) a vodu „kazí“. Dalšími nedostatkami byly technické problémy – poruchovost čerpadla, spínače apod.

Jako hlavní pozitivum využívání srážkové vody respondenti uvedli správné hospodaření s vodními zdroji popisované jako šetření vodou, šetření přírody, dobrý pocit apod. Druhým nejčastějším pozitivem byla kvalita vody popisovaná jako voda bez chemické úpravy, přirozeně měkká voda vhodná k praní i úklidu. Dalším pozitivem byla finanční úspora za pitnou vodu. Čtvrtým zmíněným pozitivem byl pocit nezávislosti na vodovodní síti a možnost využití i v době sucha.

Výčet negativ byl o něco rozmanitější. Překvapivě 16 % respondentů žádná negativa v užívání dešťové vody nevidí. Dalších 53 % respondentů ale negativa našlo a mezi zásadní uvedli zejména časovou a/nebo též finanční náročnost s údržbou systému a dále pak velkou počáteční investici. Tu v komentářích 15 respondentů označilo jako nenávratnou i přes dotaci od SFŽP. Jde tedy právě spíše o dobrý pocit než finanční úsporu. Dalším negativem bylo zbarvení vody, přítomnost drobných nečistot, které zanásejí sanitární zařízení, a zápach. Dále je to nerovnoměrnost srážek během roku, a tudíž nestálost tohoto zdroje závislá na počasí. Vzhledem k tomu, že ale jiná část respondentů naopak uvedla, že výhodou dešťovky je její dostupnost i v době sucha, může zde být otázkou dostatečná velikost akumulační nádrže.

Ta byla diskutována i v následných komentářích a často bylo označeno, že velikost vypočtená dotační kalkulačkou bývá nedostatečná, neboť nezohledňuje vícero použití srážkové vody a také fakt, že část srážek nepadá rovnoměrně, ale ve formě přívalových dešťů. Významné negativum, které se objevilo i 17krát v následujících komentářích je též platba stočného, kterou uživatelé dešťovky chápou jako nespravedlivou až demotivující pro ty, kdo užívají alternativní vodní zdroje.

Celkově je program Dešťovka vnímám pozitivně, respondenti s ním byli spokojeni a program 67 respondentů označilo jako smysluplný, který by měl stát dále podporovat.

Na druhou stranu se nám ale podařilo identifikovat několik problémů/nedostatků, o kterých by bylo dobré vědět a snažit se je řešit:

1. Jde o technické aspekty systému – často nedostatečnou velikost akumulační nádrže vypočtenou dotační kalkulačkou, která nezohledňuje nerovnoměrnost srážek a možnost vícero využití dešťové vody.
2. Špatně těsnící víka nádrží, kterými pronikají do nádrže nečistoty i drobní živočichové, čímž se značně zhoršuje kvalita akumulované vody.
3. Nespopojenost s výší dotace, která je podle některých nedostatečná a počáteční investice je proto v podstatě nenávratná.
4. Problém platby stočného, kterou uživatelé vnímají jako nespravedlivou, když šetří vodními zdroji. V tomto ohledu se již vedou diskuse a hledají se možná oboustranně přiměřená řešení [3]. Jedním z prvních podnětů pro diskuse mělo být též šetření mezi provozovateli vodovodů a kanalizací [4].

## ZÁVĚRY

Dotazníkovým šetřením jsme se pokusili zjistit názory a zkušenosti osob, které si díky státnímu dotačnímu titulu Dešťovka pořídili do domácnosti systém na využití srážkové vody.

Velká část respondentů vnímá dotační podporu jako smysluplnou a vhodnou a celý program hodnotili pozitivně.

Podařilo se nám ale též identifikovat několik nedostatků, které by bylo dobré řešit a diskutovat o nich. Jednalo se jednak o technické aspekty (akumulační nádrže), vyhodnocení kvality vody (zápach, zakalení) a v neposlední řadě také platbu stočného.

Podrobnější vyhodnocení dotazníku bude k dispozici ve formě článku (*Š. Bobková, J. Hrbek, P. Pumann, F. Kožíšek – Dotazníkové šetření mezi úspěšnými žadateli o podporu z programu Dešťovka. Část 1: využití srážkových vod*), který vyjde v časopise Vodní hospodářství.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Práce byla financována za podpory grantové agentury TAČR v rámci projektu TAČR SS01010179 Stanovení hygienických požadavků na recyklovanou vodu využívanou v budovách a městských vodních prvcích

## **SEZNAM LITERATURY**

1. ČSN EN 1717 Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem. 2002, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
2. ČSN 75 5409 Vnitřní vodovody. 2013, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
3. Kopačková, D., Technické dotazy k Dešťovce. TZB info, 2017.
4. Kožíšek, F., Pumann, P., Jeligová, H., Bobková, Š., Baudišová, D., Paul, J., Recyklace vody v budovách – přínos nebo problém pro provozovatele vodovodů a kanalizací? Sovak, 2021. 9: p. 21-25.

# OBOHACOVANIE PITNEJ VODY O Ca A Mg, DEVIČIE

doc. RNDr. Stanislav RAPANT, DrSc., Mgr. Veronika CVEČKOVÁ, Ph.D.

PF UK Bratislava, Ilkovičova 6, Bratislava  
E-mail: [stanislav.rapant@uniba.sk](mailto:stanislav.rapant@uniba.sk)

## ÚVOD

Pitná voda používaná na zásobovanie verejnosti musí spĺňať limitné hodnoty normy pitnej vody príslušnej krajiny. V jednotlivých normách sa stanovujú maximálne prípustné koncentrácie rôznych kontaminantov, či už biologického alebo chemického charakteru. Zatiaľ čo všetky tieto látky, ktoré sú nebezpečné a škodlivé pre ľudské zdravie, sú veľmi prísne regulované

v normách pitnej vody, len veľmi málo nariem reguluje obsah biogénnych (esenciálnych) prvkov, ako sú Ca, Mg, Na, K, F, I a ďalšie. Výskumy uskutočnené za posledných 50–70 rokov však potvrdili, že obsah Ca a Mg v pitnej vode má významný vplyv na ľudské zdravie [1, 2, 3, 4, 5].

Pri nízkom obsahu Ca a Mg sa veľmi výrazne zvyšuje výskyt/úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia, ale aj na onkologické ochorenia, diabetes mellitus, choroby tráviacej a dýchacej sústavy a na ďalšie diagnózy. Okrem toho priemerná dĺžka života ľudí zásobovaných pitnou vodou s nízkym obsahom Ca (menej ako  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) a Mg (menej ako  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) býva o päť rokov nižšia ako u ľudí zásobovaných pitnou vodou so zvýšeným obsahom Ca ( $>50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) a Mg ( $>25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) [4, 6]. Tento nepriaznivý stav je možné napraviť zvýšením obsahu Ca a Mg v pitnej vode, procesom známym ako rekarbonizácia (RC). Na RC pitnej vody sa používajú rôzne postupy a rôzne karbonatické horniny, väčšinou za sýtenia  $\text{CO}_2$ . Používajú sa najmä prietokové systémy, kde sa karbonatická hornina pridáva do prietokového zariadenia s rôznymi filtriemi, cez ktoré preteká celá upravená voda [7, 8, 9, 10, 11].

Za účelom obohatenia pitnej vody o Ca a Mg pre zásobovanie obyvateľov obce Devičie bol vyvinutý prototyp fluidného rekarbonizačného reaktora (RRF). V RRF je vrstva pevných častic karbonatickej horniny – polovypáleného dolomitu (PVD) udržiavaná vo vznose a v pohybe prúdením vody zdola nahor, čo zintenzívňuje proces rozpúšťania karbonatickej horniny. Predkladaný príspevok má za cieľ overiť funkčnosť a účinnosť vyrobeného prototypu RRF pre vodný zdroj Devičie, ktorý slúži na zásobovanie miestneho obyvateľstva pitnou vodou, teda či dochádza k dostatočnému obohateniu pitnej vody o Ca a Mg, resp. tvrdosť pitnej vody. Obohatenie pitnej vody o Ca a Mg môže výrazne znížiť potenciálne zdravotné riziko pre miestnych obyvateľov z nízkeho obsahu Ca a Mg v pitnej vode. Očakávame progresívne zlepšovanie zdravotného stavu ľudí, čo bude sledované meraním pružnosti (tuhosti) ciev [12].

## Popis oblasti

Vodný zdroj Devičie (obr. 1) slúži na zásobovanie obyvateľov obce (približne 300 obyvateľov). Voda sa do vodojemu čerpá z hydrogeologického vrtu (37 m) podľa aktuálnej spotreby vody. Priemerná ročná spotreba vody je cca  $11\ 000 \text{ m}^3$  a denná spotreba cca  $30 \text{ m}^3$ . Vrt sa nachádza v neogénnych vulkanitoch (andezity a ich pyroklastiká). Podzemná voda v Devičí sa vzhľadom na geologické podmienky vyznačuje nízkou celkovou mineralizáciou (cca  $300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ), nízkou tvrdosťou vody a nízkym obsahom Ca a Mg (tab. 1). Zdravotný stav obyvateľov obce Devičie je výrazne horší v porovnaní s priemerom Slovenskej republiky [6].

Slovenská norma pre pitnú vodu však upravuje obsah Ca a Mg a tvrdosť vody (vyjadrené ako  $\text{Ca} + \text{Mg}$  v  $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) len ako odporúčané hodnoty. **Tab. 1** ukazuje, že hodnoty uvedených parametrov sú na spodnej hranici regulovaných odporúčaných hodnôt. Na základe rizikovej analýzy bolo potvrdené zvýšené zdravotné riziko z nedostatku Ca, Mg a tvrdosti vody pre miestne obyvateľstvo [13, 14]. Zistilo sa, že priemerná úroveň rizikového kvocientu pre deficitné prvky ( $\text{HQ}_d$ ) je 1,6 pre Ca, 1,56 pre Mg a 1,58 pre tvrdosť vody. Na elimináciu uvedeného rizika je potrebné zvýšiť obsah Ca minimálne o  $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , obsah Mg o  $6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a tvrdosť vody o  $0,35 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ . Dali sme si za cieľ zvýšiť obsah Ca o  $6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , obsah Mg o  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a tvrdosť vody o  $0,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ .



**Obr. 1. Situačná mapa**

**Tab. 1 Obsah Ca, Mg a tvrdosti vody v pitnej vode na vodnom zdroji Devičie v porovnaní se štandardnými hodnotami slovenskej normy pre pitnú vodu a navrhovanými koncentráciami Ca, Mg a tvrdosti vody po rekarbonizácii**

	<b>Ca</b> [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	<b>Mg</b> [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	<b>Tvrdosť vody</b> [ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ]
<b>Devičie</b>	30,0	10,2	1,15
<b>Slovenská norma pre pitnú vodu<sup>1</sup></b>	>30	10–30	1,1–5,0
<b>Navrhované hodnoty po rekarbonizácii<sup>2</sup></b>	35–40	16–21	1,5–1,6

Poznámka: <sup>1</sup>Výhláška MZ SR č. 247/17 Z. z.; <sup>2</sup>navrhované hodnoty vychádzajú z rizikovej analýzy

## MATERIÁL

Na obohatenie pitnej vody využívame PVD, ktorý sa vyznačuje najvyššou rozpustnosťou z karbonatických hornín [15]. Polovypálený dolomit sa vyrába z dolomitu žíhaním

pri 600–800 °C. Pri žíhaní dolomitu  $[CaMg(CO_3)_2]$  sa horčík mení na oxid a vápnik zostáva ako uhličitan. Oxid horečnatý je oveľa rozpustnejší ako uhličitan Mg, a preto sa ióny Mg prednostne uvoľňujú, keď sa PVD rozpustí v kvapalnej fáze.

Použili sme PVD Magno-Dol (Nemecko)s frakciou 2,0–4,5 mm. Magno-Dol je schválený v EÚ na úpravu pitnej vody. Obsahuje približne 98,2 % oxidov a uhličitanov Ca a Mg, približne 0,9 % oxidov Si, Al a Fe a 0,8 % vody. Ostatné prvky sú menej ako 0,1 %. Toxicke tăžké kovy sú prítomné len v stopových množstvách.

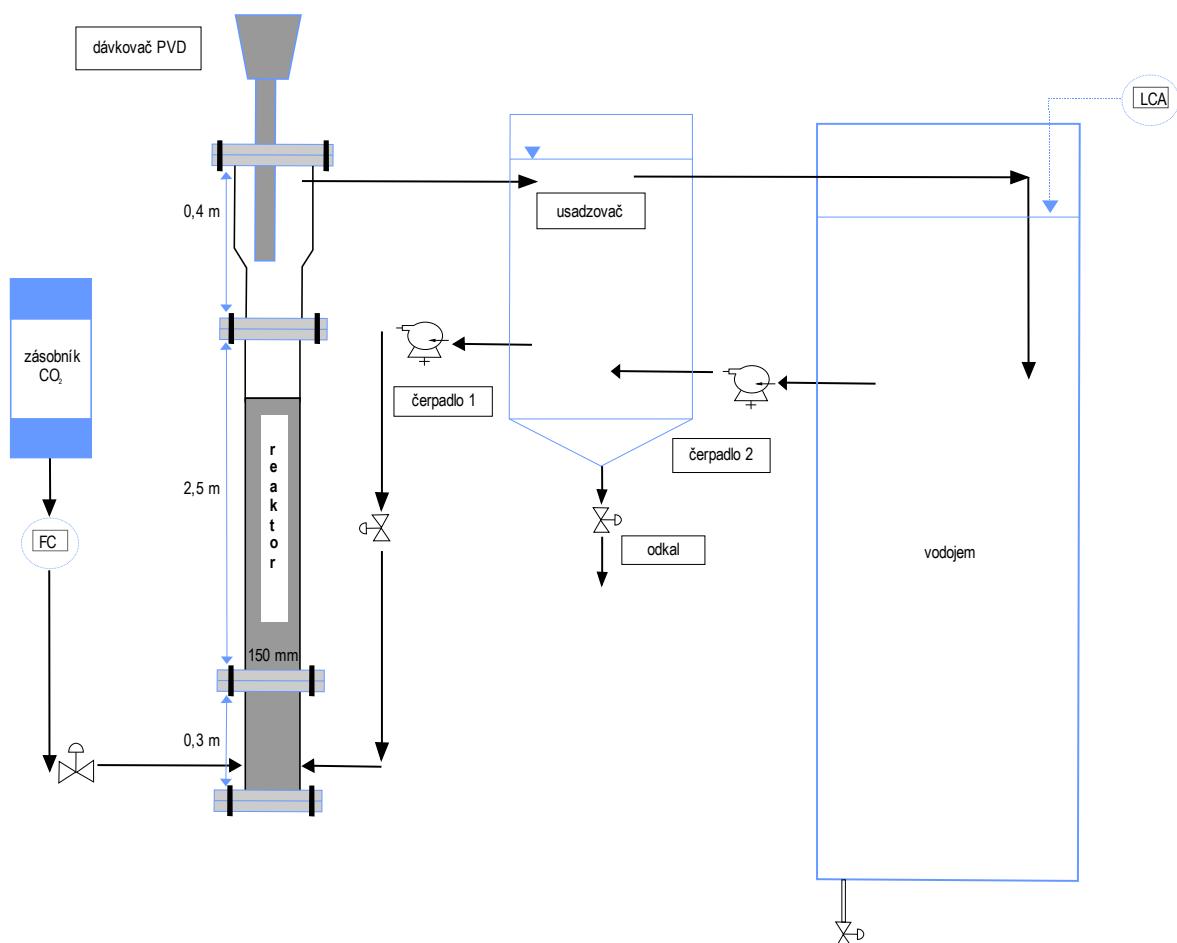
Ako oxidačné činidlo na rozpúšťanie PVD bol použitý potravinársky  $CO_2$  (Messer Tatragas), ktorý obsahuje viac ako 99 %  $CO_2$  a je schválený EÚ na potravinárske účely.

## METÓDY

### *Návrh reaktora na rekarbonizáciu s fluidným lôžkom*

Na obohatenie pitnej vody o Ca a Mg bol pre špecifické podmienky vodného zdroja Devičie navrhnutý fluidný rekarbonizačný reaktor (**obr. 2**).

Zariadenie sa skladá z dvoch hlavných častí, a to z telesa reaktora a z cirkulačnej nádrže [16].



**Obr. 2. Schéma zariadenia na rekarbonizáciu pitnej vody na vodnom zdroji v obci Devičie**

Systém je poháňaný dvoma čerpadlami. Jedno čerpadlo slúži ako obenové čerpadlo (cirkulácia medzi reaktorom a cirkulačnou nádržou) a druhé na odvádzanie vyrobeného koncentrátu do rezervoára pitnej vody. Oxid uhličitý je dodávaný pomocou tlakových fliaš so sériovým zapojením. Reaktor je približne 3,3 m dlhý a má priemer 150 mm. Horná časť je rozšírená a má priemer 250 mm. Dávkovač PVD je umiestnený v hornej časti reaktora.

Reaktor obsahuje 20 až 40 kg PVD. Cirkulačná nádrž má kapacitu cca  $0,5 \text{ m}^3$ . Obehové čerpadlo má výkon do  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Dávkovacie čerpadlo má kapacitu do  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Výkon cirkulačného čerpadla je teda približne 25 krát vyšší ako u čerpadla na dopĺňanie vody, čím sa zabezpečí mnohonásobné premývanie PVD a vyšší obsah Ca a Mg v koncentrátu. Vyrobenej koncentrát sa samospádom privádza priamo do vodnej nádrže, kde sa zmiešava s pitnou vodou. Oxid uhličitý sa privádza do spodnej časti reaktora a jeho prítok sa meria rotametrom. Celé zariadenie je vyrobené z materiálov odolných voči korózii. Všetky použité materiály splňajú hygienické požiadavky pre styk s pitnou vodou.

Konštrukcia a umiestnenie reaktora rešpektuje existujúce podmienky vodojemu, reaktor je vyrobený a umiestnený tak, že neboli potrebné žiadne stavebné úpravy. Fotodokumentácia je dostupná na internetovej stránke projektu LIFE – WATER and HELTH [17].

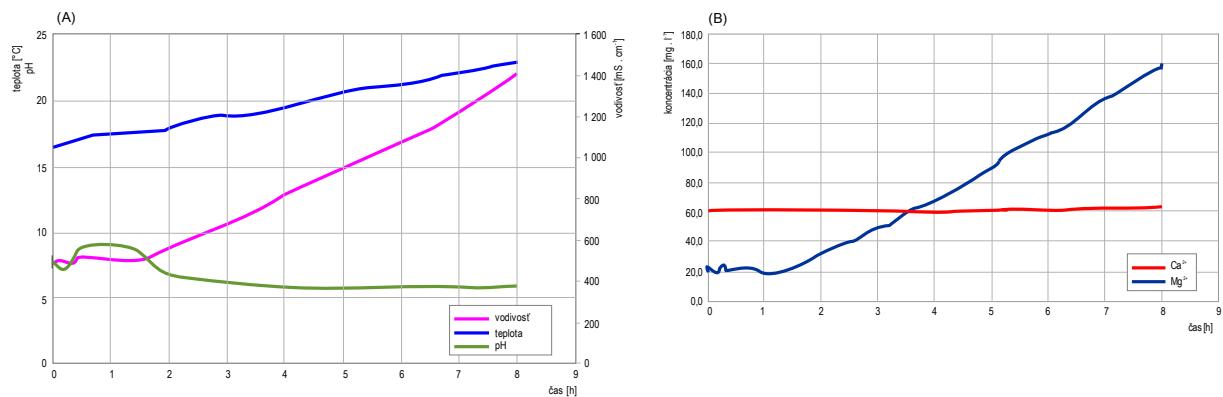
### *Poloprevádzková skúška*

Pred uvedením RRF do prevádzky na vodnom zdroji v obci Devičie bola na reaktore vykonaná poloprevádzková skúška v laboratórnych podmienkach. Prvá séria testov bola zameraná na zistenie funkčnosti zariadenia s cieľom identifikovať možné obmedzenia z hľadiska množstva PVD, rýchlosťi cirkulácie vody, spotreby  $\text{CO}_2$  a prítoku vody do systému [18].

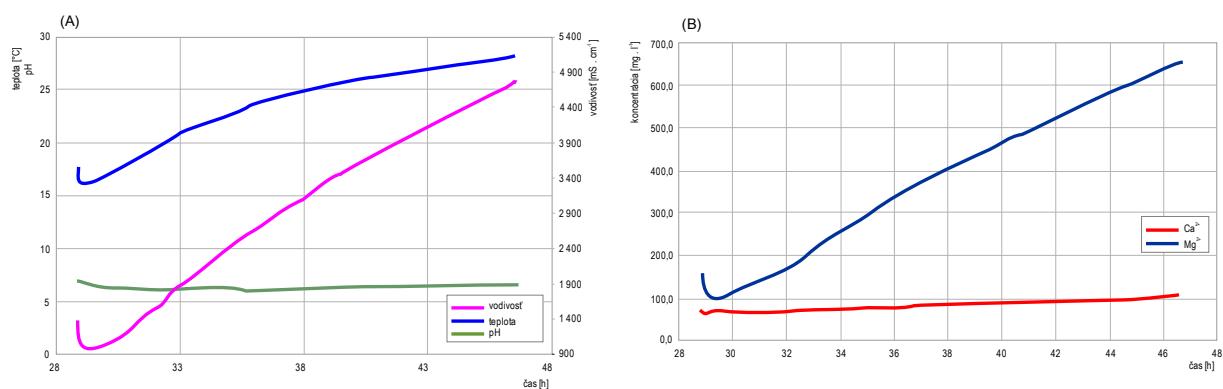
V prvom kroku bol systém naplnený 10 kg PVD a  $0,45 \text{ m}^3$  vody. Prítok cirkulujúcej vody bol  $3,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , čo zodpovedá prahu fluidizácie. Prítok  $\text{CO}_2$  bol  $1 \text{ NL CO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$  a tlak na regulátore bol 1 bar. Sledovala sa vodivosť, pH, teplota vody a obsah Ca a Mg. Po ôsmich hodinách prevádzky RRF sa vodivosť zvýšila z  $550 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  na  $1\ 400 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , pH sa znížilo zo 7,75 na 6,22 a teplota vody sa zvýšila zo  $17,0^\circ\text{C}$  na  $22,8^\circ\text{C}$ . Obsah Ca sa zvýšil z  $57,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  na  $67,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a obsah Mg sa zvýšil z  $20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  na  $160 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (**obr. 3**).

Potom sa pridalo ďalších 10 kg PVD. Vodivosť sa zvýšila na  $4\ 756 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , obsah Ca a Mg sa zvýšil na  $104,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a  $665,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  v priebehu nasledujúcich 27 hodín (**obr. 4**). Potom sa do reaktora pridala voda s prítokovým prítokom  $316 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ . Cirkulácia vody a prítok  $\text{CO}_2$  sa nezmenili. Prílev vody vykazoval výrazné zriedenie. Po šiestich hodinách sa obsah Ca a Mg stabilizoval na približne  $60 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , resp.  $75 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Podobne sa hodnota vodivosti znížila po približne šestich hodinách na  $600 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  (**obr. 5**). Po znížení prítoku vody z  $316 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$  na  $60 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$  sa výrazne zvýšila vodivosť vody, obsah Mg a Ca na viac ako  $3\ 100 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ,  $400 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a  $85,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ .

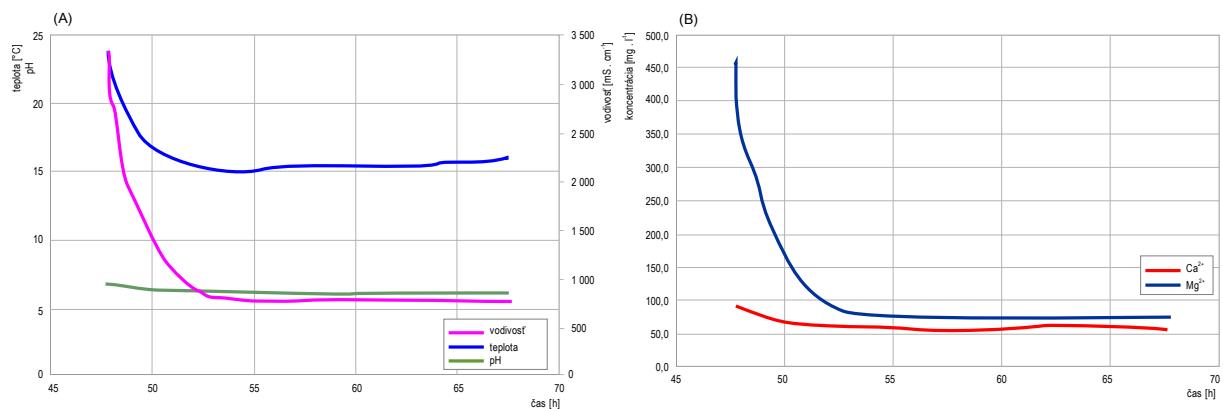
Koncentrát bol zakalený, obsahoval značné množstvo mikročastic PVD. Preto bol prítok vody upravený na  $120 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ . Tento prítok v reálnom systéme znamenal zmiešanie koncentrátu a vody spotrebiteľovi v pomere 1 : 10. Zmena prítoku vody zo  $60 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$  na  $120 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$  sa prejavila poklesom koncentrácie Mg zo  $400 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  na  $235 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , koncentrácie Ca z  $85,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  na  $71 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a vodivosti z  $3\ 100 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  na  $1\ 825 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  (**obr. 6**). Tieto hodnoty možno považovať za stabilné. Pokles koncentrácie Mg na  $131 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  medzi 114 a 122 hodinou bol spôsobený stratou  $\text{CO}_2$  v systéme. O 118 hodín sa tok  $\text{CO}_2$  obnovil. Ďalej bolo vykonaných niekoľko testov za rôznych podmienok, pri ktorých sa menil prítok vody, množstvo dodávaného  $\text{CO}_2$  a množstvo PVD [18].



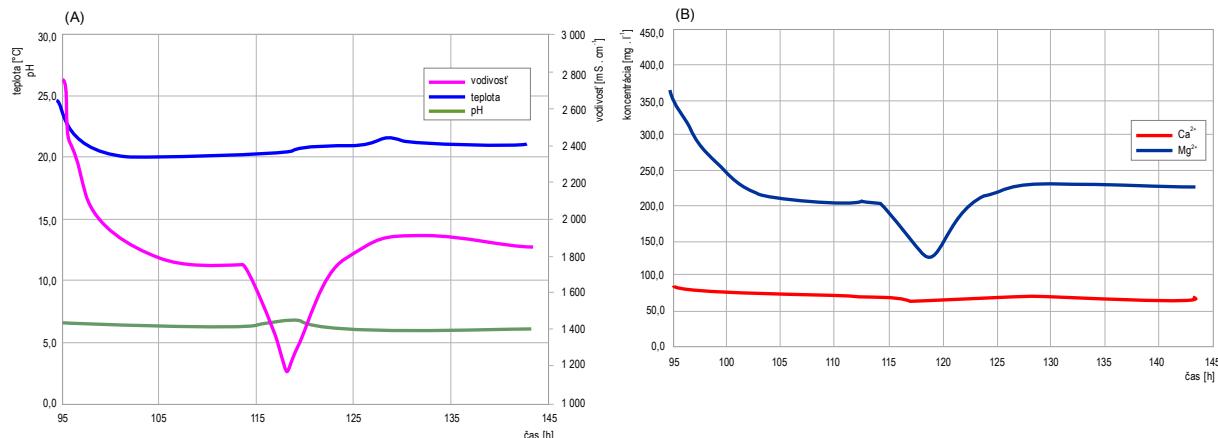
Obr. 3. (A) Vodivosť', pH a teplota na začiatku nasýtenia; (B) Koncentrácie Ca a Mg na začiatku nasýtenia



Obr. 4. (A) Vodivosť', pH a teplota počas nasýtenia zvýšeným množstvom PVD; (B) Koncentrácie Ca a Mg počas nasýtenia zvýšenými množstvami HBD



Obr. 5. (A) Závislosť vodivosti, pH a teploty pri prítoku  $316 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ ; (B) Koncentrácie Ca a Mg pri prítoku  $316 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$



**Obr. 6. (A) Vodivost', pH a teplota po zmene prietoku vody z  $60 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$  na  $120 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ ; (B) Koncentrácie Ca a Mg po zmene prietoku vody z  $60 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$  na  $120 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$**

Výsledky boli podobné. S klesajúcim prítokom vody sa zvyšovala koncentrácia Ca a Mg, a podobná závislosť bola pozorovaná aj so zvyšujúcim sa prítokom  $\text{CO}_2$ , aj keď nie tak výrazne. Optimálny prítok a odtok vody v reálnom systéme je stanovený na  $120 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Tento prítok a odtok v reálnom systéme znamenal pridávanie koncentrátu do vody vo vodojeme v pomere 1 : 10. Zmiešaním koncentrátu s vodou vo vodojeme dôjde k zvýšeniu koncentrácie Ca o  $6,4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a koncentrácie Mg o  $12 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

Na základe priemernej ročnej spotreby vody v obci Devičie ( $11\ 000 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ ) a požadovaného zvýšenia obsahu Mg o  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  je denná potreba Mg  $301 \text{ g}$ . Získané denné hodnoty Mg produkovaného za rôznych použitých podmienok sú uvedené v tabuľke (tab. 2).

**Tab. 2. Produkcia Mg v ustálenom stave pri rôznych podmienkach procesu**

Prítok vody [ $\text{l}\cdot\text{h}^{-1}$ ]	60	120	120	180	316
Prietok $\text{CO}_2$ [ $\text{NL}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	1	1	2	2	1
Produkcia Mg [ $\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ ]	564,5	567,3	633,6	695,5	455,1

Z tab. 2 je zrejmé, že pre všetky použité podmienky RC množstvo vyprodukovaného Mg značne prevyšovalo požiadavku  $301 \text{ g}\cdot\text{deň}^{-1}$ . Po rozpustení mikročastic PVD vo vode vo vodojeme je možné ešte predpokladať ďalší nárast produkcie Mg, keďže koncentrát obsahoval zvyškové množstvo nespotrebovaného  $\text{CO}_2$  (cca  $150\text{--}200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ).

Treba však počítať s postupným poklesom obsahu Mg a nárastom obsahu Ca s pribúdajúcim časom. Keď sa  $\text{MgO}$  rozpustí,  $\text{CaCO}_3$  sa začne rozpúšťať zvýšenou rýchlosťou. Okrem toho je potrebné vziať do úvahy, že pri nižšej teple v reálnom systéme vo vodojeme (cca  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) je rozpustnosť  $\text{CO}_2$  vyššia a rozpúšťanie bude intenzívnejšie. Predpokladaná spotreba PVD a  $\text{CO}_2$  približne  $500\text{--}600 \text{ kg}$ , resp.  $600\text{--}700 \text{ kg}$  bola stanovená ako maximálna spotreba PVD a  $\text{CO}_2$  na zvýšenie obsahu Mg aspoň o  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a obsahu Ca minimálne  $6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  pri priemernej ročnej spotrebe vody  $11\ 000 \text{ m}^3$ . Spotreba PVD vychádza zo 65 % využiteľnosti Mg a Ca.

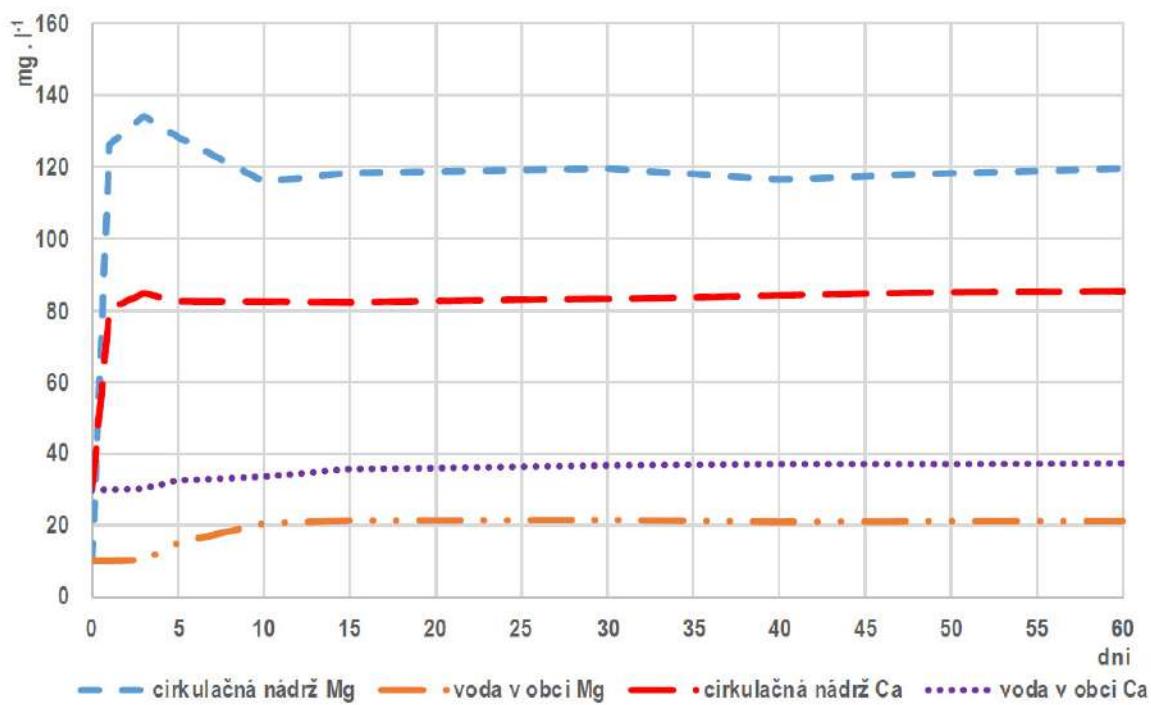
Dá sa však predpokladať, že využiteľnosť Mg a Ca bude vyššia a spotreba PVD nižšia. Návrh prevádzkových podmienok procesu rekarbonizácie vody vo vodnom zdroji Devičie s priemernou dennou spotrebou vody  $30 \text{ m}^3\cdot\text{deň}^{-1}$  a zvýšením obsahu Mg najmenej o  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a Ca najmenej o  $6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  je nasledovný: rýchlosť cirkulácie vody medzi reaktorom a zásobníkom:  $3,8\text{--}4,1 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ; prietok vody do nádrže:  $110\text{--}30 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ ; dosiahnutá koncentrácia rozpusteného Mg:  $100\text{--}130 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ; prietok  $\text{CO}_2$ :  $58,5 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $2 \text{ NL}\cdot\text{min}^{-1}$ ); denná dávka PVD:  $5\text{--}6 \text{ kg}$ ; zvýšenie Mg:  $12,56 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ; zvýšenie Ca:  $6,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

## VÝSLEDKY

Rekarbonizačný reaktor bol uvedený do prevádzky 25. júna 2021 za nasledujúcich podmienok. Rýchlosť cirkulácie vody bola  $3,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  a prítok  $\text{CO}_2$  bol  $2 \text{ NL} \cdot \text{min}^{-1}$ . Do reaktora sa nasypalo približne 25 kg PVD. Prítok vody do reaktora bol  $120 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ . Výsledky za prvých 60 dní prevádzky reaktora sú uvedené v **tab. 3** a pre koncentráciu Mg a Ca na **obr. 11**. Keďže požadovaný obsah Mg ( $120 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) a Ca ( $80 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) v koncentráte v cirkulačnej nádrži bol zaznamenaný za 48 hodín, prítok  $\text{CO}_2$  sa postupne znižoval na  $1 \text{ NL} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $30 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

**Tab. 3** Výsledky rekarbonizácie vody v cirkulačnej nádrži a vo vode v obci

Dni	Cirkulačná nádrž				Voda v obci			
	vodivosť	Mg	Ca	pH	vodivosť	Mg	Ca	pH
	[ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]	[ $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ]			[ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]	[ $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ]		
0	300	10,1	30,1	7,1	298	10,2	30,1	7,1
1	1 245	126,2	80,4	6,4	300	10,1	30,1	7,1
3	1 250	134,1	84,8	6,5	310	10,4	30,3	7,3
5	1 190	128,3	82,5	6,4	360	15,2	32,6	7,2
10	1 140	115,9	82,4	6,5	380	20,7	33,7	7,1
15	1 180	118,3	82,3	6,5	425	21,4	35,8	7,1
30	1 180	119,4	83,2	6,4	430	21,5	36,8	7,2
40	1 067	116,5	84,2	6,5	428	21,0	37,1	7,1
50	1 098	118,2	85,1	6,5	472	21,2	37,1	7,1
60	1 105	119,4	85,4	6,4	444	21,2	37,4	7,2



**Obr. 7.** Koncentrácia Ca a Mg v cirkulačnej nádrži a vode v obci

## DISKUSIA

Z výsledkov poloprevádzkovej skúšky a 60 dňovej prevádzky reaktora v obci Devičie (**tab. 3**) je zrejmé, že požadované zvýšenie obsahu Ca (najmenej o  $6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) a Mg (najmenej o  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) bolo dosiahnuté. Vodivost'  $1\ 245 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a obsah Ca a Mg ( $80,4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$   $126,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) v cirkulačnej nádrži sa dosiahli za 48 hodín.

Prvý nárast obsahu Ca a Mg v pitnej vode bol v obci Devičie zaznamenaný po piatich dňoch. Hodnota vodivosti sa zvýšila z  $298 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  na  $360 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Po približne 10 dňoch, keď sa pomery vo vodovodnom potrubí stabilizovali, bolo dosiahnuté požadované zvýšenie obsahu Ca a Mg v pitnej vode používanej na zásobovanie obyvateľov v obci Devičie. Tento stav bol udržiavaný v celom systéme počas prvých dvoch mesiacov od uvedenia reaktora do prevádzky. Vodojem v obci Devičie má objem cca  $90 \text{ m}^3$ . Po vyčerpaní približne  $10 \text{ m}^3$  sa automaticky zapne dopĺňacie čerpadlo do vodojemu. Preto v čase pridávania čerstvej vody do nádrže obsah Ca a Mg mierne klesol. Zo získaných výsledkov bolo zrejmé, že produkcia rozpustených iónov Mg, Ca a tvrdosti vody určeným prototypom RRF bola plne zabezpečená.

Denná spotreba vody v obci Devičie je v priemere  $30 \text{ m}^3$ . Na zvýšenie obsahu Mg o  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  je preto potrebné pridať 300 g Mg za deň. Nami používaný PVD obsahuje približne 15 % Mg (výrobca deklaruje cca 25,6 % MgO a cca 0,9 % MgCO<sub>3</sub>). Z 2 kg PVD, ktoré sa denne pridávajú do reaktora, sa teda uvoľní potrebných 300 g Mg za deň. Keď sme po 90 dňoch prevádzky odstavili reaktor, zistili sme, že v cirkulačnej nádrži sa prakticky nenachádza žiadny sediment, takže všetok použitý PVD sa rozpustil a prešiel do kvapalnej fázy.

Prevádzku reaktora obmedzujú tri hlavné faktory, a to:

Množstvo použitého PVD, množstvo pridaného CO<sub>2</sub> a výkon obehového čerpadla, ktoré pracuje na elektrinu. Elektrickú energiu dodáva fotovoltaický systém, ktorý je schopný vyrobiť 70–75 % spotrebovanej elektriny ročne.

Intenzita rozpúšťania PVD závisí najmä od výkonu obehového čerpadla a množstva pridaného PVD. Množstvo pridaného CO<sub>2</sub> ho ovplyvňuje menej. Ako je zrejmé z **tab. 2**, pri prítoku CO<sub>2</sub>  $1 \text{ NL}\cdot\text{min}^{-1}$  je denná produkcia Mg  $576,3 \text{ g}\cdot\text{deň}^{-1}$  a pri prítoku CO<sub>2</sub>  $2 \text{ NL}\cdot\text{min}^{-1}$  je denná produkcia Mg zvýšená len mierne na  $633,6 \text{ g}\cdot\text{deň}^{-1}$ . Obsah volného CO<sub>2</sub> v koncentráte v cirkulačnej nádrži je približne  $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , hodnoty pH sa pohybujú od 6,4 do 6,5.

Volný CO<sub>2</sub> v koncentráte sa spotrebuje vo vode vo vodojeme na rozpustenie mikročastíc, čím sa zvýší obsah Ca a Mg približne o 10–15 %. Obsah volného CO<sub>2</sub> v pitnej vode v obci je na úrovni  $8\text{--}12 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , čomu zodpovedajú hodnoty pH, ktoré sa pohybujú od 7,1 do 7,2.

Z uvedeného je zrejmé, že pre čo najväčšie zniženie prevádzkových nákladov reaktora (elektrická energia, množstvo PVD a CO<sub>2</sub>) je potrebné reaktor z dlhodobého hľadiska optimalizovať.

Najmä výkon obehového čerpadla (spotreba elektriny) a množstvo pridaného CO<sub>2</sub>. V letných mesiacoch, kedy je dostatok elektriny (zvýšený počet slnečných dní), je možné zvýšiť výkon obehového čerpadla a znižiť množstvo pridávaného CO<sub>2</sub>. V zimných mesiacoch je vhodné zvýšiť množstvo pridávaného CO<sub>2</sub> a znižiť výkon obehového čerpadla, čím sa zniží spotreba elektrickej energie.

Podobné RRF je možné použiť pre vodné zdroje s výdatnosťou do  $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Je však potrebné zväčšiť priemer reaktora (až 0,4 m), objem cirkulačnej nádrže (5–10 m<sup>3</sup>) a prietok cirkulujúcej vody (min. na  $15 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ). Takýto väčší reaktor na úpravu vody približne 100 000 m<sup>3</sup> za rok bol uvedený do prevádzky v rámci projektu LIFE – WATER and HEALTH v obci Kokava nad Rimavicou [17].

Je veľmi ťažké porovnávať naše výsledky procesu rekarbonizácie s podobnými prácami vo svetovej literatúre. Na jednej strane, podľa našich najlepších vedomostí, je to prvý vyvinutý RRF. Reaktor bol vyvinutý a vyrobený v rámci riešenia projektu LIFE – WATER and HEALTH [17].

Prietokový systém sa v súčasnosti používa vo viacerých krajinách. Výsledky vodárenské spoločnosti nezverejňujú, považujú ich za svoje know-how, prípadne sú chránené patentmi. Nie sú dostupné údaje o spotrebe hornín, množstve  $\text{CO}_2$  a podobne.

Na Slovensku bolo vykonaných niekoľko poloprevádzkových skúšok procesu rekarbonizácie vo vodárenských nádržiach na pitnú vodu s nízkou tvrdosťou a nízkym obsahom Ca a Mg [19].

Napríklad vo vodárenskej nádrži Hriňová sa tvrdosť vody zvýšila z  $0,4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  na  $1,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ . Vo vodnej nádrži Turček sa v poloprevádzkových pokusoch dosiahlo zvýšenie tvrdosti vody z  $0,35 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  na  $1,52 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ .

Rekarbonizácia pitnej vody s nízkou tvrdosťou alebo odsolenej morskej vody sa v súčasnosti realizuje vo viacerých krajinách sveta (napr. Škótsko, Švédsko, Španielsko a najmä arabské krajiny). Z údajov, ktoré máme k dispozícii sa takto mineralizuje odsolená morská voda vo Švédsku v Sandvik Oland a Gotland [20, 21].

Množstvo rekarbonizovanej vody je  $3\ 000 \text{ m}^3$  za deň v Sandviku a  $7\ 000 \text{ m}^3$  za deň na Gotlande. Cieľové hodnoty pre rekarbonizáciu sú  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  pre Ca a  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  pre Mg. Polovypálený dolomit sa používa ako hornina v lokalite Sandvik a kalcit v lokalite Gotland. V oboch prípadoch sa používa saturácia  $\text{CO}_2$ . Ďalšie údaje nie sú k dispozícii.

## ZÁVERY

Náš RRF preukázal vysokú spoločnosť a robustnosť v širokom rozsahu podmienok. Množstvo produkovaných iónov Ca a Mg je možné efektívne kontrolovať najmä prietokom cirkulovanej vody, množstvom PVD a prietokom  $\text{CO}_2$ .

Produkcia rozpusteného Ca a Mg je zabezpečená najmä intenzívou cirkuláciou vody medzi reaktorom a cirkulačnou nádržou. Za daných podmienok vodného zdroja Devičie (kapacita zdroja  $0,35 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ) pomocou RRF je možné bezpečne dosiahnuť zvýšenie obsahu Mg o  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , obsahu Ca o  $6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a tvrdosť vody o  $0,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  v pitnej vode.

Podľa potreby dokážeme zvýšiť obsah Ca a Mg (cca o 50 %), keď reaktor nastavíme na plný výkon. Nami vyvinutý RRF je relatívne jednoduchý a lacný. Nevyžaduje si žiadne stavebné úpravy v existujúcom vodojem. Na jeho umiestnenie je potrebná plocha približne  $2 \text{ m}^2$ .

Takýto typ reaktora je možné použiť na rekarbonizáciu vody s výdatnosťou až  $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Prevádzka RRF je tiež lacná. Na úpravu vody vo vodnom zdroji v obci Devičie ( $11\ 000 \text{ m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$ ) je spotreba PVD približne 300–500 kg a spotreba  $\text{CO}_2$  približne 400–500 kg. Účinnosť reaktora, teda produkcia iónov Ca a Mg počas nasledujúcich piatich rokov prevádzky, bude dostupná na stránke projektu [17].

Predpokladaný pozitívny vplyv obohatenej pitnej vody na kardiovaskulárny systém na obyvateľstvo obce Devičie budeme sledovať v polročných intervaloch prostredníctvom merania pružnosti (tuhosti) ciev. Výsledky predpokladaných pozitívnych zmien pružnosti ciev budú zverejnené na internetovej stránke projektu.

## POĎAKOVANIE



Projekt je podporovaný z finančného nástroja LIFE a príspevkom MŽP SR (LIFE 17 ENV/SK/000036)

## ZOZNAM LITERATÚRY

1. Catling, L., Abubakar, I., Lake, I., Swift, L., Hunter, P., 2005. Review of evidence for of relationship between incidence cardiovascular disease and water hardness. University of East Anglia and Drinking Water Inspectorate, Norwich. Nor-folk, NR47TJ. 142. Available from [http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70\\_2\\_176\\_water\\_hardness.pdf](http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70_2_176_water_hardness.pdf). Ac-cessed November 2019
2. Rubenowitz-Lundin, E., Hiscock K., 2005. Water hardness and health effects. Essential of Medical Geology, Elsevier Aca-demic Press, 331–345
3. Catling, L. A., Abubakar, I., Lake, I. R., Swift, L., Hunter, P. R., 2008. A systematic review of analytical observational studies investigating the association between cardiovascular disease and drinking water hardness. Journal of Water & Health 6(4), 433-442. Available from: <https://doi.org/10.2166/wh.2008.054>
4. Rapant, S., Cveckova, V., Fajcikova, K., Sedlakova, D., Stehlíkova, B., 2017. Impact of calcium and magnesium in groundwater and drinking water on the health of inhabitants of the Slovak Republic. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14, 278. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph14030278>
5. Rosborg, I., Kožíšek, F. eds., 2020. Drinking water minerals and mineral balance. Importance, health significance, safety precautions. 2nd ed. Springer International Publishing Switzerland, Springer Verlag, ISBN 978-3-03018033-1 (Print) 978-3-030-18034-8 (eBook).
6. Rapant, S., Letkovičová, A., Jurkovičová, D., Kosmovský, V., Kožíšek, F., Jurkovič, Ľ., 2020. Differences in health status of Slovak municipalities supplied with drinking water of different hardness values. Environ. Geochem. Health. Available from: [https://doi.org/10.1007/s10653-020-00664-6\(0123456789., volV\)\(01234567\)](https://doi.org/10.1007/s10653-020-00664-6(0123456789., volV)(01234567))
7. Haney, P. D., Hamann, C. L., 1969. Recarbonation and liquid carbon dioxide. Journal (American Water Works Association), Vol. 61, No. 10, pp. 512-521 Published by: Wiley Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/41265530>
8. Al-Rqobah, H. E., Al-Munayyis A. H., 1989. A Recarbonation Process for Treatment of Distilled Water Produced by MSF Plants in Kuwait. Desalination, Vol. 73, pp 2595–312, Available from: [https://doi.org/10.1016/0011-9164\(89\)87020-1](https://doi.org/10.1016/0011-9164(89)87020-1)
9. Olejko, Š., 1999. Study of drinking water treatability and environmental aspects of water flows. Sub-task 02: Treatment of drinking water mineralization. Final report of the task, VÚVH, Bratislava. In Slovak
10. Withers, A., 2005. Options for recarbonation, remineralisation and disinfection for desalination plants. Vol. 179, Issues 1-3, Pages 11-24. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.11.051>
11. Luptáková, A., Dérco, J., 2015. Improving Drinking Water Quality by Remineralisation. Acta Chim. Slov. 859 2015, 62, 859-866 DOI: 10.17344/acsi.2015.159
12. Rapant, S., Cvečková, V., Fajčíková, K., Hajdúk, I., Hiller, E., Stehlíkova, B., 2019. Hard water, more elastic arteries: a case study from Krupina district, Slovakia. International Journal of Environmental Rese-arch and Public Health, 16, 1521. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph16091521>
13. Rapant, S. Cvečková, V., Macek, J., Letkovičová, A., Stehlíkova, B., 2019. Riziková analýza. Krátka správa. LIFE 17 ENV/SK/000036. Available from: [https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/envi/kge/LifeWater/PDF/B1\\_short\\_report\\_Rizikova\\_analyza.pdf](https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/envi/kge/LifeWater/PDF/B1_short_report_Rizikova_analyza.pdf)
14. Rapant, S. Cvečková, V., Hiller, E., Jurkovičová, D., Kožíšek, F., Stehlíkova, B., 2020. Proposal of New Health Risk Assessment Method for Deficient Essential Elements in Drinking Water-Case Study of the Slovak Republic. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 5915; doi:10.3390/ijerph17165915

15. Tuček, L., Rapant, S., Čechovská, K., Németh, Z., 2017. Increasing of drinking water quality by adding carbonate rocks to low mineralized groundwater: Case study from the Krupina district, Slovakia. Mineralia Slovaca. Vol. 49, No. 1, s. 95-112. ISSN (print) 0369-2086
16. Jelemenský, L., 2020. Technická dokumentácia k výrobe zariadenia na rekarbonizáciu pitnej vody. Available from: [https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/envi/kge/LifeWater/PDF/Technical\\_documentation\\_Device.pdf](https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/envi/kge/LifeWater/PDF/Technical_documentation_Device.pdf)
17. LIFE – WATER and HEALTH, LIFE17 ENV/SK/000036 (2018). Available from: <http://fns.uniba.sk/lifewaterhealth/>
18. Jelemenský L., Dudáš J., Dérco J., Vrabel' M., Kurák T., Hinca M., 2019. Testovanie rekarbonizácie v poloprevádzkových podmienkach. Krátka správa. Available online: [https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/envi/kge/LifeWater/PDF/Recarbonization\\_testing\\_in\\_semi-operating\\_condidions.pdf](https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/envi/kge/LifeWater/PDF/Recarbonization_testing_in_semi-operating_condidions.pdf)
19. Barloková, D., Ilavský, J., Šamaj, A., Kapusta, O., Šimko, V., 2017. The importance of calcium and magnesium in drink-ing water. Proceedings of the XVII conference with international participation Drinking water, Trenčianske Teplice, Voda Tím s. r. o., s. 241–248, ISBN 978-80-971272-5-1.
20. Swedish Royal Court, The King opens Sandvik Desalination Plant, 2017. Available from: <https://www.kungahuset.se/royalcourt/latestnews/2017/2017/thekingopenssandvikdesalinationplant.5.20c843515c8141edf8ecd.html>
21. Bygga bo och miljö: Bräckvattenverket på södra Gotland, 2020 (The brackish water plant on southern Gotland 2020). Available from: <https://www.gotland.se/93575>

# **VPLYV CHEMICKÉHO ZLOŽENIA PODZEMNEJ/PITNEJ VODY NA ZDRAVOTNÝ STAV OBYVATEĽOV SLOVENSKej REPUBLIKY**

**Doc. RNDr. Stanislav RAPANT, DrSc., Mgr. Veronika CVEČKOVÁ, Ph.D.**

PF UK v Bratislave, Ilkovičova 6, Bratislava  
E-mail: [stanislav.rapant@uniba.sk](mailto:stanislav.rapant@uniba.sk)

## **ÚVOD**

Chemické prvky sa môžu vyskytovať v životnom prostredí (voda, pôda, ovzdušie) z hľadiska ľudského zdravia bud' v deficite alebo v nadbytku. Zdravotné účinky klasických kontaminantov pitnej vody ako napr. potenciálne toxickej prvkov alebo dusičnanov sú dobre známe a mnoho krát zdokumentované. V dôsledku ich známych nepriaznivých účinkov sú tieto klasické kontaminanty striktne limitované v normách pre pitnú vodu. Vplyv niektorých ďalších, hlavne esenciálnych prvkov (napr. Ca, Mg, K) na ľudské zdravie nie je v súčasnosti dostatočne preukázany, a preto tieto prvky nie sú limitované v normách pre pitnú vodu (napr. WHO drinking standard), resp. sú limitované len ako odporúčané hodnoty (napr. slovenská norma pre pitnú vodu). Existuje však veľké množstvo prác, ktoré napríklad spájajú zvýšený výskyt rôznych ochorení s deficitným obsahom Ca a Mg [1].

V predkladanom článku sa zaobráme hodnotením vplyvu relatívne širokej škály chemických prvkov v podzemnej/pitnej vode na zdravotný stav obyvateľov Slovenskej republiky. Rôzne ukazovatele zdravotného stavu a demografického vývoja obyvateľov spájame s obsahom chemických prvkov/zložiek v podzemnej vode, tzv. environmentálnymi indikátormi (EI). Hodnotíme teda vplyv podzemnej vody z rôzneho geologického prostredia, rôznej genézy a teda aj rôzneho chemického zloženia na úmrtnosť na najčastejšie príčiny úmrtí, ktoré môžu mať súvis s obsahom chemických prvkov v pitnej vode a to: kardiovaskulárne a onkologické ochorenia, ochorenia tráviacej a dýchacej sústavy a taktiež očakávanú dĺžku života. Viacerými matematickými a štatistickými metódami (umelé neurónové siete, Pearsonova a Spearanova korelácia) spájame dáta o chemickom zložení podzemnej vody s rôznymi príčinami úmrtí. Pre odvodenie limitných hodnôt chemických prvkov v podzemnej vode, pri ktorých je zdravotný stav obyvateľov najpriaznivejší používame umelé neurónové siete.

## **MATERIÁL**

### **Environmentálne indikátory**

Environmentálne indikátory (EI) predstavujú chemické prvky/zložky/parametre analyzované, merané a monitorované v životnom prostredí, ktoré môžu ovplyvňovať biotu, resp. človeka [2]. V našej práci hodnotíme 34 EI, hlavne anorganických zložiek chemického zloženia podzemnej vody a to všetky bežné makroprvky, stopové prvky a základné parametre prírodnnej rádioaktivity.

Zdrojom dát chemického zloženia podzemnej vody boli najmä dáta z národného environmentálno-geochemického mapovania, a to najmä z Geochemického atlasu Podzemných vód a environmentálno-geochemických máp regiónov Slovenskej republiky [3, 4]. V našej databáze sú zahrnuté prakticky všetky zdroje podzemnej vody, ktoré sú používané pre hromadné zásobovanie obyvateľov pitnou vodou. Celkový počet zhromaždených chemických analýz podzemnej vody bol 20 339.

Podzemná voda predstavuje na Slovensku najvýznamnejší zdroj pitnej vody pre zásobovanie populácie Slovenska, a to približne pre 90 % obyvateľov [5]. V tejto práci považujeme podzemnú a pitnú vodu ako jeden celok. Sme si vedomí istých nepresností s tým súvisiacich, ktoré môžu limitovať naše výsledky. Avšak veľkosť databázy (viac ako 20 000 chemických analýz, viac ako 30 chemických prvkov/zlúčenín/parametrov) do značnej miery redukujú možné neistoty.

Dáta o chemickom zložení vody sme upravili do takej podoby, aby sa dali zlinkovať s dátami zdravotných indikátorov. Museli sme teda dáta o chemickom zložení vody transformovať do podoby dát zdravotných indikátorov. Tie predstavujú jedno číslo pre územnosprávne jednotky – obce SR (2 883 obcí).

Hodnotené chemické prvky/parametre v podzemnej vode s príslušným priemerným obsahom pre celé územie SR sú uvedené v **tab. 1** [6].

**Tab. 1. Charakteristika chemického zloženia podzemnej vody Slovenska (priemerné hodnoty)**

PODZEMNÁ VODA (n = 20 339)												
pH	MIN	CHSK <sub>Mn</sub>	(Ca + Mg)	Li	Na	K	Ca	Mg	Sr	Fe	Mn	NH <sub>4</sub>
7,33	629,75	2,18	3,5	0,019	20,34	11,10	93,56	28,29	0,36	0,17	0,12	0,10
F	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cr	Cu	Zn	As	Cd
0,13	32,96	79,32	0,11	38,76	0,20	303,85	18,21	0,0013	0,0026	0,2673	0,0019	0,0010
Se	Pb	Hg	Ba	Al	Sb	<sup>222</sup> Rn	<sup>226</sup> Ra	Pozn.: Dáta okrem pH v mg·l <sup>-1</sup> , Ca + Mg v mmol·l <sup>-1</sup> , <sup>222</sup> Rn a <sup>226</sup> Ra v Bq·l <sup>-1</sup>				
0,0010	0,0014	0,0001	0,0747	0,0297	0,0009	14,46	0,053					

Pozn.: Dáta okrem pH v mg·l<sup>-1</sup>, (Ca + Mg) v mmol·l<sup>-1</sup>, <sup>222</sup>Rn a <sup>226</sup>Ra v Bq·l<sup>-1</sup>

**Tab. 2. Hodnotené zdravotné indikátory SR (údaje prepočítané podľa počtu obyvateľov v obciach)**

Číslo	Indikátor	Popis indikátora	Popis výpočtu	Jednotka	Priemer SR*
<b>Demografické indikátory, popisujúce vekové zloženie obcí</b>					
1	<b>DOZ</b>	Očakávané roky života pri narodení – obyvateľstvo	Kumulatívny počet všetkých „odžitých“ rokov v období každého roku veku počet žijúcich ľudí na začiatku roku	Roky	72,60
<b>Predčasná úmrtnosť</b>					
8	<b>PYLL100</b>	Potenciálne roky strateného života	$100\ 000 \times [\text{súčet nedožitých rokov do veku 65 rokov (úmrtia vo veku 1–64 rokov)/počet obyvateľov}]$	Roky	4033,00
<b>Relatívna úmrtnosť na vybranú príčinu úmrtia</b>					
9	<b>ReC00-C97</b>	Zhubné nádory	$100\ 000 \times [\text{počet úmrtí na vybrané ochorenie/počet obyvateľov}]$	Počet úmrtí na 100 000 obyvateľov	212,79
20	<b>ReI00-I99</b>	Obeholový systém			531,05
23	<b>ReJ00-J99</b>	Dýchacia sústava			58,08
24	<b>ReK00-K93</b>	Tráviaca sústava			45,83
<b>Standardizovaná úmrtnosť na vybranú príčinu úmrtia</b>					
26	<b>SMRC00-C97</b>	Zhubné nádory	Nepriamo vekovo štandardizovaná úmrtnosť na slovenský štandard (19 vekových skupín)	%	100
31	<b>SMRI00-I99</b>	Obeholový systém			100
34	<b>SMRJ00-J99</b>	Choroby dýchacej sústavy			100
35	<b>SMRK00-K93</b>	Choroby tráviacej sústavy			100
<b>Potenciálne roky strateného života na vybranú príčinu úmrtia</b>					
37	<b>PYLLC00-C97</b>	Zhubné nádory	$100\ 000 \times [\text{súčet nedožitých rokov do veku 65 rokov (úmrtia vo veku 1–64 rokov) pri úmrtí na vybranú príčinu/počet obyvateľov}]$	Roky	1 005,20
40	<b>PYLLI00-I99</b>	Obeholový systém			866,19
42	<b>PYLLJ00-J99</b>	Choroby dýchacej sústavy			172,69
43	<b>PYLLK00-K93</b>	Choroby tráviacej sústavy			334,80

Pozn.: Zdravotné indikátory klasifikované v zmysle Medzinárodnej klasifikácie chorôb, MKCH 10. revízia [9], \*priemer pre Slovenskú republiku za obdobie 1994–2003

## Zdravotné indikátory

Zdravotný stav obyvateľstva Slovenskej republiky hodnotíme na základe zdravotných indikátorov – *ukazovateľov demografického vývoja a zdravotného stavu obyvateľstva*. Zdravotný indikátor (ZI) je premenná, ktorá vyjadruje zdravotný stav ľudí v spoločnosti prostredníctvom priameho merania alebo pozorovania [7].

V danej práci pre celkové zhodnotenie vplyvu chemického zloženia podzemnej vody na zdravotný stav obyvateľov používame súbor 14 ZI, uvedených v **tab. 2**, kde je uvedený aj popis výpočtu ZI.

Zdrojom dát bola databáza Štatistického úradu Slovenskej republiky [8]. Všetky ZI boli vypočítané formou kumulatívnej funkcie pre roky 1994 až 2003, teda pre 10 ročné obdobie.

## METODIKA

### Rozdelenie environmentálnych a zdravotných indikátorov podľa geologickej stavby

Geologická stavba SR je relatívne veľmi komplikovaná. Vyznačuje sa striedením hornín rôznej genézy a veku a teda aj rôzneho mineralogicko-petrografického charakteru a tým aj rôzneho geochemického pozadia [10]. Výsledkom tejto skutočnosti je aj veľmi rozdielne chemické zloženie podzemnej/pitnej vody, o ktorom predpokladáme, že má aj rôzny vplyv na zdravotný stav obyvateľov.

Geologická stavba SR bola rozčlenená na 8 hlavných celkov, ktoré sú uvedené z hľadiska vplyvu na zdravotný stav obyvateľov od najpriaznivejšieho po najnepriaznivejšie:

1. flyšový paleogén: hlavne pieskovce, bridlice, ílovce,
2. karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén: hlavne sliene, slienité vápence, dolomity, pieskovce a bridlice,
3. karbonatické mezozoikum a bazálny paleogén: hlavne vápence, dolomity, vápnité zlepence,
4. neogén: hlavne íly, ílovce, zlepence, piesky, štrky,
5. kvartér: hlavne štrky, piesky, íly, úlomky hornín.
6. kryštalínikum: hlavne granitoidy, ruly, migmatity,
7. paleozoikum: hlavne metasedimenty, metavulkanity,
8. neovulkanity: hlavne andezity, bazalty a ich vulkanoklastiká.

Následne sme podľa tohto rozčlenenia geologickej stavby rozčlenili chemické zloženie podzemnej vody – *EI* a taktiež ukazovatele zdravotného stavu – *ZI*, ktoré sme podrobili štatistickej analýze formou nižšie uvedených štatistických metód.

### Štatistická analýza

Pre štatistické pracovanie vzťahu dát EI a ZI sme použili klasické štatistické metódy a to Pearsonov lineárny korelačný koeficient a Spearmanov poradový korelačný koeficient. Štatistickú významnosť vypočítaných korelácií hodnotíme pomocou jeho P hodnoty nasledovne:  $P < 0,05$  overená závislosť (+),  $P < 0,01$  vysoká závislosť (++) a  $P < 0,001$  veľmi vysoká závislosť (+++).

### Neurónové siete

Sledovanie vzťahov medzi dvoma rôznymi premennými je doménou štatistiky. Avšak výber vhodnej štatistickej metódy s cieľom spojenia dvoch databáz si vyžaduje veľmi korektný prístup k získaniu relevantných vztáhov závislosti. Na vyjadrenie intenzity stochastickej závislosti medzi dvoma premennými sa používajú korelačné koeficienty, ktoré vyjadrujú závislosť vztáhov medzi skúmanými atribútmi. Klasické Pearsonove korelačné koeficienty vyjadrujú mieru jednoduchej lineárnej závislosti dvoch premenných. Spearmanove korelačné

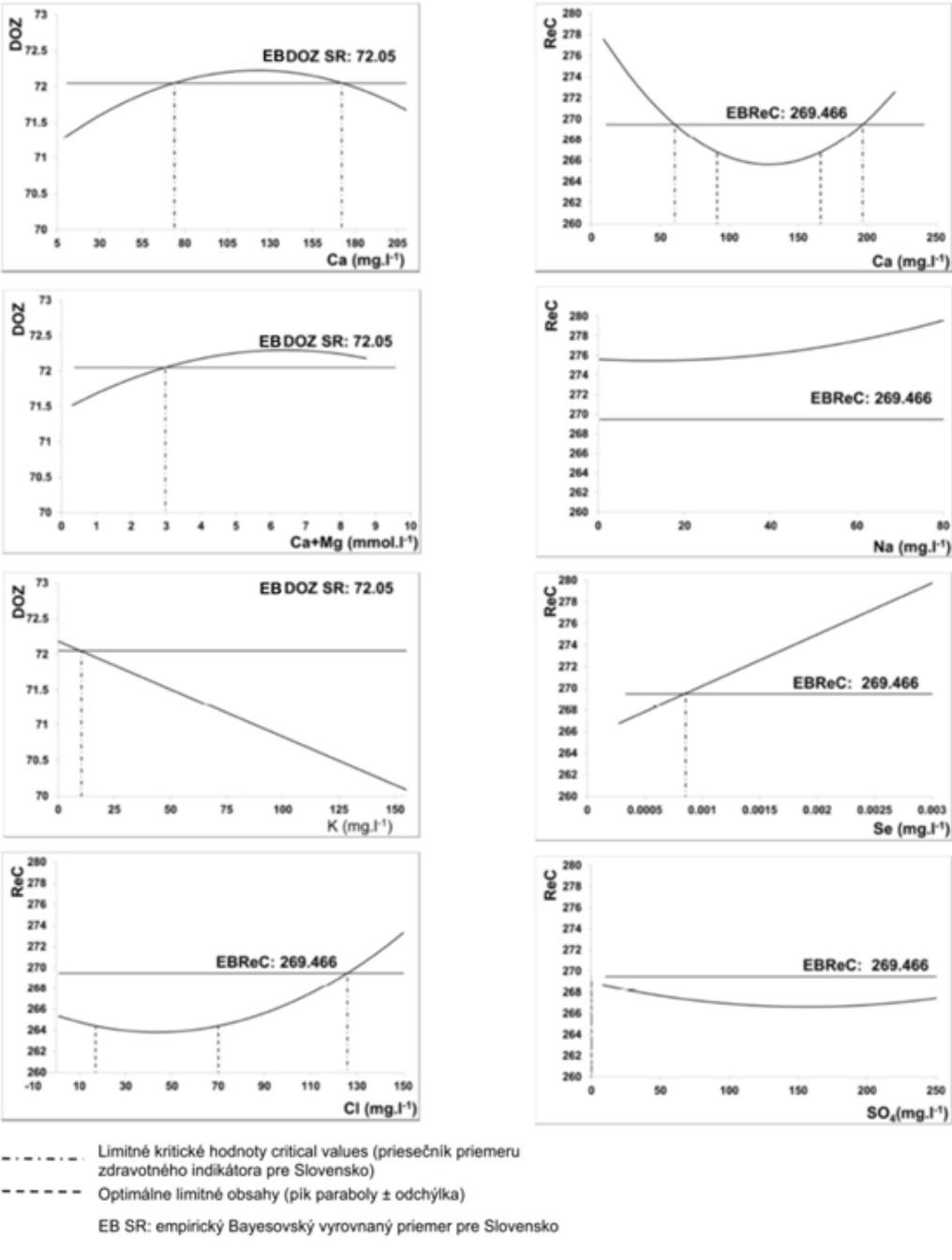
koeficienty sú mierou monotónnej závislosti. Naše dátu však nemajú normálne rozdelenie, sú nerovnomerne rozdelené, často zaťažené chybou, neúplné a vykazujú vysokú variabilitu. Naše dátu majú všetky náležitosti bežného života. Bolo by preto nesprávne predpokladat' existenciu funkčného vzťahu. Použitie klasických metód regresnej analýzy nemusí zachytíť komplexnosť problematiky a mohlo by viest' k nesprávnym záverom. Komplexné situácie vyžadujú analytické prístupy riešenia. Preto pre analýzu vzťahov medzi chemickým zložením podzemnej vody a jednotlivými ZI používame umelú inteligenciu – *umelé neurónové siete* (ANN). Podrobnejšia charakteristika ANN a spôsoby výpočtov pri spájaní EI a ZI sú podané v práci [11].

Poradie vplyvu chemických prvkov vo vode na ZI bolo určené na základe hodnoty koeficiente citlivosti  $s_r$ . Vplyv na ZI majú tie chemické prvky, pre ktoré je koeficient citlivosti väčší ako **1**. Na základe mediánovej hodnoty (z 50 najlepších sietí) koeficiente citlivosti ( $s_r$ ) vypočítanej pre každý chemický prvek hodnotíme vplyv chemického prvku na jednotlivé ZI. Vplyv je tým väčší, čím je väčšia hodnota  $s_r$ . Chemické prvky s hodnotou  $s_r < 1$  sú nevplyvné na ZI.

Umelé neurónové siete nám umožňujú taktiež odvodiť limitné hodnoty chemických prvkov vo vode z hľadiska jednotlivých ZI, teda obsah chemických prvkov pri ktorých ZI nadobúdajú čo najpriaznivejšie hodnoty. Vyčleňujeme dva druhy limitných hodnôt a to *limitné (kritické) hodnoty a optimálne limitné hodnoty*. Limitné hodnoty predstavujú priesečník namodelovanej krivky obsahu chemických prvkov s priemernou hodnotou ZI.

Optimálne hodnoty v prípade paraboly predstavujú priesečník priemernej hodnoty ZI  $\pm$  štandardná odchýlka ZI. V prípade priamky určujeme optimálne hodnoty ako priesečník priamky s 40 % hodnoty ZI. V prípade, keď namodelovaná krivka obsahu chemických prvkov nepretínala priemernú hodnotu ZI sa limitné hodnoty nedali určiť.

Pri mnohých prvkoch limitná hodnota (horný alebo dolný limit) neexistuje. Znamená to, že rastúci alebo klesajúci obsah chemických prvkov vo vode nemá vplyv na zdravotný stav. Spôsob vyčleňovania limitných hodnôt EI je zrejmý z obr. 1. Ako priemernú hodnotu ZI používame Bayesovský vyrovnaný priemer ZI, ktorý nám zohľadňuje počet obyvateľov v jednotlivých obciach [12, 13, 14].



Obr. 1. Vymedzenie limitných hodnôt EI na ZI

## VÝSLEDKY

Priemerné hodnoty hodnotených ZI pre dva najpriaznivejšie geologické celky z hľadiska ZI (flyšový paleogén – 1, karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén – 2) a pre dva najnepriaznivejšie geologické celky (neovulkanity – 8 a paleozoikum – 7) z hľadiska ZI sú uvedené v tab. 3, spolu s priemernými hodnotami pre SR a taktiež pre dva vybrané okresy SR. Okres Krupina je celý budovaný horninovým prostredím vulkanitov (vo vzťahu k ZI je to najmenej priaznivé geologické prostredie) a obyvatelia sú zásobení pitnou vodou len podzemnou vodou okresu Krupina. Okres Bardejov je celý budovaný horninovým prostredím flyšového paleogénu (vo vzťahu k ZI je to najviac priaznivé geologické prostredie)

a obyvatelia sú zásobovaní pitnou vodou len podzemnou vodou okresu Bardejov. Priemerný obsah 10 najvplyvnejších chemických prvkov na ZI podľa ANN a pre dva klasické potenciálne toxické prvky (PTE) arzén a olovo pre vyššie uvedené celky sú uvedené v **tab. 4**. Výsledky lineárnej

a Spearmanovej korelácie medzi EI a ZI pre geologické prostredie pre nedostatok miesta neuvádzame sú dostupné v práci [6].

V **tab. 5** a **6** sú uvedené výsledky výpočtov ANN. V **tab. 5** sú uvedené výsledky koeficientu senzitívity pre najvplyvnejšie chemické prvky v podzemnej vode pre hodnotené zdravotné indikátory, spolu s poradím vplyvu jednotlivých prvkov pre celé geologické prostredie.

V **tab. 6** sú zosumarizované výsledky výpočtov ANN pre očakávané dožitie obyvateľov spolu s odvodenými limitnými hodnotami pre najvplyvnejšie chemické prvky/zložky v podzemnej vode.

**Tab. 3** Priemerné hodnoty ZI vybraných oblastí SR

Geol. celok/okres ZI	1	2	7	8	Krupina	Bardejov	SR
<b>DOZ</b>	73,69	72,75	71,47	71,11	69,95	74,07	72,60
<b>PYLL100</b>	3	3 985,46	4 360,96	4 586,18	5 609,07	3 140,73	4 033,00
<b>ReC00-C97</b>	177,9	195,96	209,46	236,28	243,23	175,32	212,79
<b>ReI00-I99</b>	463,3	505,07	569,73	638,78	889,20	492,82	531,05
<b>ReJ00-J99</b>	54,42	57,44	70,21	81,98	81,11	26,62	58,08
<b>ReK00-K93</b>	34,22	42,40	41,39	66,88	75,68	25,39	45,83
<b>SMRC00-97</b>	95,03	95,18	101,78	102,91	99,73	91,20	100
<b>SMRI00-I99</b>	100,0	98,86	111,73	108,50	131,06	100,71	100
<b>SMRJ00-J99</b>	109,3	100,61	124,81	126,34	116,33	50,50	100
<b>SMRK00-K93</b>	84,31	94,23	94,92	130,61	150,20	62,63	100
<b>PYLLC00-C97</b>	909,8	921,47	1 053,42	1 097,32	1 121,6	808,8	1 005,20
<b>PYLLI00-I99</b>	831,9	937,66	1 052,18	1 050,95	1 518,2	779,9	866,19
<b>PYLLJ00-J99</b>	229,7	146,28	274,92	202,67	259,2	231,1	172,69
<b>PYLLK00-K93</b>	287,9	340,66	369,48	491,26	693,29	211,84	334,8

Pozn.: 1 – flyšový paleogén, 2 – karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén, 7 – paleozoikum, 8 – neovulkanity, SR – priemer pre SR, n = počet obcí v hodnotenom geologickom celku/okrese

**Tab. 4** Priemerné hodnoty obsahov vybraných chemických prvkov v podzemných vodách vybraných oblastí SR

Geol. celok/okres	1	2	7	8	Krupina	Bardejov	SR
<b>Parameter</b>	n = 727	n = 154	n = 100	n = 309	n = 36	n = 86	
<b>MIN [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	524,64	586,79	302,27	439,73	362,34	484,79	629,75
<b>Ca+Mg [mmol·l<sup>-1</sup>]</b>	3,02	3,45	1,68	2,11	1,58	2,75	3,50
<b>Na [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	12,74	12,79	8,53	16,09	13,12	10,34	20,34
<b>Ca [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	88,53	99,86	43,15	56,13	42,01	80,75	93,56
<b>Mg [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	19,67	23,27	14,70	17,14	12,96	17,98	28,29
<b>Cl [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	17,14	21,24	13,18	21,66	13,81	13,77	32,96
<b>SO<sub>4</sub> [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	62,72	65,38	45,65	49,70	22,42	44,96	79,32
<b>NO<sub>3</sub> [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	16,19	21,72	18,02	26,44	16,49	14,84	38,76
<b>HCO<sub>3</sub> [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	287,65	323,63	138,29	191,51	174,23	282,12	303,85
<b>As [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	0,00079	0,00135	0,00863	0,00241	0,0018	0,00114	0,00192
<b>Se [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	0,00068	0,00074	0,00063	0,00086	0,0006	0,00068	0,00097
<b>Pb [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	0,00125	0,00121	0,00142	0,00134	0,0018	0,00094	0,00136

Pozn.: 1 – flyšový paleogén, 2 – karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén, 7 – paleozoikum, 8 – neovulkanity, SR – priemer pre SR, n = počet obcí v hodnotenom geologickom celku/okrese

**Tab. 5 Koeficient senzitivitu a poradie vplyvu pre 10 najvplyvnejších prvkov v podzemnej vode na ZI podľa výpočtov ANN**

prvok	DOZ		PYLL100		ReC00-C97		ReI00-I99		ReJ00-J99		ReK00-K93		SMRC00-C97		SMRI00-I99		SMRJ00-J99		SMRK00-K93		PYLLC00-C97		PYLLI00-I99		PYLLJ00-J99		PYLLK00-K93		xP
	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P	$S_r$	P			
<b>Ca + Mg</b>	1,419	1	1,115	1	1,027	3	1,370	1	1,590	1	1,057	1	1,003	3	1,677	1	1,001	6	1,180	1	1,044	1	1,046	1	1,003	4	1,169	1	1,92
<b>Mg</b>	1,153	3	1,027	3	1,005	8	1,150	3	1,255	3	1,009	7	1,004	1	1,291	3	1,002	4	1,065	3	1,004	4	1,002	6	1,004	3	1,063	3	3,92
<b>Ca</b>	1,246	2	1,048	2	1,013	4	1,211	2	1,346	2	1,015	5	1,003	2	1,387	2	1,003	3	1,108	2	1,008	3	1,006	3	1,004	2	1,100	2	2,62
<b>MIN</b>	1,086	4	1,003	5	1,074	1	1,053	4	1,008	4	1,015	6	1,001	8	1,018	4	1,016	1	1,051	4	1,016	2	1,002	7	1,010	1	1,028	4	3,92
<b>HCO<sub>3</sub></b>	1,012	8	1,013	4	1,034	2	1,026	5	1,005	5	1,023	4	1,002	4	1,006	5	1,005	2	1,028	5	1,002	5	1,010	2	1,003	6	1,012	5	4,38
<b>SO<sub>4</sub></b>	1,004	9	1,002	7	1,0094	5	1,009	7	1,001	8	1,006	8	1,001	10	1,001	10	1,001	5	1,006	8	1,001	10	1,003	5	1,001	7	1,003	9	7,77
<b>Cl</b>	1,003	11	1,002	9	1,007	6	1,027	6	1,001	9	1,029	2	1,001	5	1,001	11	1,000	13	1,021	6	1,002	6	1,002	8	1,001	8	1,003	8	7,85
<b>NO<sub>3</sub></b>	1,003	10	1,001	11	1,006	7	1,004	8	1,001	10	1,003	9	1,001	11	1,002	6	1,001	8	1,004	9	1,001	8	1,001	11	1,001	11	1,001	10	9,31
<b>SiO<sub>2</sub></b>	1,002	13	1,002	8	1,001	12	1,003	10	1,000	17	1,027	3	1,001	6	1,001	14	1,000	11	1,014	7	1,000	13	1,001	9	1,000	21	1,008	6	10,77
<b>Na</b>	1,0434	7	1,001	12	1,003	9	1,002	9	1,000	16	1,002	12	1,001	12	1,001	13	1,000	14	1,001	13	1,001	7	1,003	4	1,001	9	1,000	19	11,31
<b>K</b>	1,0732	6	1,000	15	1,000	17	1,001	12	1,000	20	1,000	17	1,001	20	1,001	15	1,000	16	1,000	17	1,000	14	1,001	10	1,000	13	1,000	28	16,00

Pozn.:  $S_r$  – koeficient citlivosti, P – poradie vplyvu, xP – aritmetický priemer poradia vplyvu pre všetky hodnotené zdravotné indikátory

**Tab. 6 Výsledky výpočtov ANN a odvodené limitné hodnoty pre 10 najvplyvnejších prvkov v podzemnej vode SR na DOZ**

Poradie	Parameter	$S_r$	$R^2$	Limitný obsah		Optimálny obsah		Hodnotené funkcie závislosti	Obsah*	
				DH	HH	DH	HH		min	max
<b>1</b>	<b>Ca + Mg</b>	1,419	0,997	2,98	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	0,35	7,97
<b>2</b>	<b>Ca</b>	1,246	0,975	73,95	172,21	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	9,83	201,01
<b>3</b>	<b>Mg</b>	1,152	0,975	18,13	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	2,45	97,75
<b>4</b>	<b>MIN</b>	1,086	0,899	358,46	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	87,30	1412,30
<b>5</b>	<b>ChSK<sub>Mn</sub></b>	1,081	0,994	neexistuje	2,27	neexistuje	neexistuje	priamka	0,75	7,48
<b>6</b>	<b>K</b>	1,073	0,964	neexistuje	9,85	neexistuje	neexistuje	priamka	0,27	153,15
<b>7</b>	<b>Na</b>	1,043	0,977	neexistuje	24,07	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	0,71	119,69
<b>8</b>	<b>HCO<sub>3</sub></b>	1,012	0,993	250,79	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	16,57	592,05
<b>9</b>	<b>SO<sub>4</sub></b>	1,003	0,522	31,42	185,32	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	9,38	319,50
<b>10</b>	<b>NO<sub>3</sub></b>	1,003	0,832	neexistuje	71,45	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	1,33	227,09

Pozn.:  $S_r$  – koeficient citlivosti,  $R^2$  – koeficient determinácie, DH – dolná hranica, HH – horná hranica, \*min – max obsah prvkov/parametrov v podzemnej vode SR (jednotky v mg·l<sup>-1</sup>, Ca + Mg v mmol·l<sup>-1</sup>)

## DISKUSIA

### *Porovnanie ZI v jednotlivých geologických celkoch/okresoch*

Z porovnania výsledkov ZI pre jednotlivé geologické celky (**tab. 3**) je zrejmé, že existujú signifikantné rozdiely v očakávanej dobe života, v potenciálnych rokoch strateného života a taktiež v úmrtnosti na jednotlivé sledované príčiny úmrtí medzi jednotlivými geologickými celkami. Karbonatické geologické celky (paleogén a karbonaticko-silikátové mezozoikum) sa vyznačujú signifikantne priaznivejšími hodnotami ako silikátové geologické celky (paleozoikum a vulkanity), a to prakticky vo všetkých ZI. Ešte väčšie rozdiely v ZI pozorujeme, keď si porovnáme dva okresy a to Bardejov (najpriaznivejšie geologické prostredie – paleogén) a okres Krupina (najnepriaznivejšie geologické prostredie – vulkanity). Rozdiel v očakávanej dĺžke života je tu viac ako štyri roky v neprospech okresu Krupina. Relatívna úmrtnosť na tráviacu a dýchaciu sústavu v oblasti Krupina je viac ako trojnásobne vyššia ako v oblasti Bardejov. Obdobná situácia je aj pri ostatných ZI.

Uvedené rozdiely v ZI medzi karbonatickými a silikátovými geologickými celkami a okresmi sú podľa nás podmienené rozdielnym obsahom Ca, Mg a tvrdosti vody. Obsah týchto troch parametrov v podzemnej/pitnej vode je v karbonatických celkoch výrazne vyšší ako v silikátových geologických celkoch (**tab. 4**). V obsahu ďalších chemických prvkov v jednotlivých geologických celkoch nepozorujeme signifikantné rozdiely.

### *Štatistická analýza*

Z výsledkov Spearmanovej a lineárnej korelácie nemožno vyslovíť plne dôveryhodné závery. Naše premenné (EI a ZI) nemajú normálne rozdelenie a skúmané závislosti nie sú vo všeobecnosti lineárne a často ani monotónne, preto nepovažujeme dosiahnuté výsledky za plne preukazné. Korelačné koeficienty v oboch prípadoch sú veľmi nízke a vo viac než 90 % prípadoch oscilujú medzi hodnotami  $\pm <0,1$ . Dôležitá je však skutočnosť, že korelačné koeficienty medzi Ca, Mg a tvrdosťou vody a ZI (okrem indikátora DOZ) vyzkazujú takmer vo všetkých prípadoch (aj pri ZI neuvedených v tabuľke) záporné hodnoty a to väčšinou pri štatisticky veľmi vysokej významnosti korelácií. Táto skutočnosť naznačuje zhoršenie všetkých sledovaných ZI úmrtnosti pri nízkom (deficitnom) obsahu Ca, Mg a tvrdosti vody v podzemnej/pitnej vode SR. Opačná situácia je v prípade indikátora DOZ (očakávaná dĺžka života). Tu pozorujeme aj v Spearmanovej aj v lineárnej korelácií kladné korelačné koeficienty pri štatisticky veľmi vysokej závislosti. Jednoznačne to naznačuje trend, že pri zvýšenom obsahu Ca, Mg a tvrdosti vody sa predĺžuje ľudský život.

### *Neurónové siete*

Za oveľa reprezentatívnejšie výsledky považujeme výpočty získané neurónovými sietami, ktoré dokážu eliminovať nehomogenitu štatistických súborov. Z výsledkov výpočtov neurónových sietí pre jednotlivé ZI (**tab. 5 a 6**) sa ako najvplyvnejšie prvky/zložky chemického zloženia podzemnej vody prejavujú (Ca + Mg), Ca, Mg, MIN, HCO<sub>3</sub> a SO<sub>4</sub>. Týchto šesť prvkov sa vyskytovalo vo všetkých hodnotených ZI medzi desiatimi najvplyvnejšími EI. Ostatné EI – Cl, NO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Na a K boli zastúpené medzi desiatimi najvplyvnejšími len pri niektorých ZI. Ich priemerný vplyv (xP) na ZI je relatívne nízky (7,85–16) a priemerné hodnoty ich  $s_r$  sú nízke ( $s_r < 1,01$ ). Medzi najvplyvnejšími EI sa nám jasne vyčleňujú tri skupiny chemických prvkov/zložiek. Prvú skupinu predstavujú Ca, Mg a Ca + Mg. Tieto tri EI podľa nás majú najväčší vplyv na ZI. Vyznačujú sa aj najvyššími hodnotami koeficientu  $s_r$ . Druhá skupina EI (MIN a HCO<sub>3</sub>) má podľa nás len stochastický vplyv na ZI. Podmienené je to skutočnosťou, že chemické zloženie podzemnej vody SR je prevažne Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> charakteru. Mineralizáciu a HCO<sub>3</sub> vnímame ako indikátory obsahu Ca a Mg v podzemnej vode. Hydrogénuhlíčitaný predstavujú najviac zastúpený anión v podzemnej vode SR a jeho obsah je spojený najmä s Ca a Mg. Podobne je to aj v prípade mineralizácie vody (MIN), ktorej hodnoty sú podmienené v podmienkach SR najmä obsahom

Ca a Mg vo vode (najzastúpenejšie kationy) a  $\text{HCO}_3$  (najzastúpenejší anión, [15]). Tretiu skupinu vplyvných prvkov predstavujú  $\text{SO}_4$ , Cl a  $\text{NO}_3$ . Tieto tri parametre sú klasickým príkladom antropogénneho znečistenia podzemnej vody SR. Ich vplyv na základe hodnôt koeficienta  $s_r$  je však výrazne nižší (väčšinou o 1 rád a viac) než vplyv Ca, Mg a tvrdosti vody. V prípade týchto troch parametrov dôležitú úlohu tu zohráva skutočnosť, že ich zvýšený obsah v podzemnej vode Slovenska vplyvom antropogénneho znečistenia je doprevádzaný väčšinou zvýšeným obsahom Ca a Mg, ktoré sa preukázali ako najvplyvnejšie z hľadiska ZI. Uvedené anióny nemajú teda výrazný vplyv na zdravotný stav obyvateľov SR. Týmto konštatovaním však v žiadnom prípade nespochybňujeme negatívne účinky dusičnanov, chloridov a síranov na ľudské zdravie, ktoré môžu byť pri lokálnom vysokom obsahu týchto troch parametrov v jednotlivých, znečistených zdroch podzemnej vody veľmi výrazné. Dôležitou skutočnosťou je, že všetky potenciálne toxické prvky: As, Pb, Hg, Zn, Sb a ďalšie majú veľmi malý vplyv, resp. sú nevplyvné na ZI. Ich koeficienty citlivosti sú väčšinou menšie 1, resp. sú veľmi nízke ( $s_r < 1,01$ ). Toto zistenie je v súlade s doterajšími poznatkami o malom vplyve potenciálne toxických prvkov na zdravotný stav obyvateľov v kontaminovaných územiach po banskej činnosti v SR [16].

Z výsledkov výpočtov ANN sa ako najvplyvnejšie na hodnotené ZI jednoznačne prejavili Ca, Mg a tvrdosť vody. Ostatné prvky sa prejavili len ako málo vplyvné, resp. stochastické a preto sa nimi nebudeme ďalej zaoberať.

Úmrtnosti na CVD, OD na tráviacu a dýchaciu sústavu predstavujú približne 80–85 % príčin úmrtí v SR [17]. Zvýšená úmrtnosť na tieto príčiny v silikátových geologických celkoch (vulkanity, granitoidy a kryštalické bridlice) a v okrese Krupina (vulkanity) sa zreteľne odraža aj v demografických indikátoroch a to či už v očakávanej dĺžke života (DOZ) tak aj v potenciálnych rokoch strateného života (PYLL100). Najmarkantnejšie je tento rozdiel vidieť, ak porovnáme dva diskutované okresy. Rozdiel v očakávanej dĺžke života je v neprospech Krupiny päť rokov a v prípade potenciálne stratených rokov života nám predstavuje viac ako 100 % v neprospech Krupiny.

Z vyššie uvedeného je zrejmé, že deficitný obsah Ca, Mg, resp. tvrdosti vody sa signifikantne odražajú vo všetkých hlavných príčinách úmrtí na Slovensku, a to v kardiovaskulárnych a onkologických ochoreniach a taktiež aj úmrtí na tráviacu a dýchaciu sústavu. Naopak, pri ich vyššom obsahu pozorujeme predĺženie ľudského života.

#### *Vplyv iných ako environmentálnych faktorov*

Na záver sa zmienime ešte o niektorých ďalších faktoroch, ktoré by mohli limitovať naše dosiahnuté výsledky. Zdravotný stav obyvateľov závisí okrem diskutovanej problematiky chemického zloženia pitnej vody od rady ďalších faktorov ako hlavne napríklad od stravovacích návykov, životného štýlu, znečistenia ovzdušia, socioekonomickej podmienok a podobne. Z územia SR takéto údaje pre jednotlivé obce neexistujú a takéto údaje existujú len pre určité vybrané oblasti, resp. niektoré okresy. Preto nižšie uvádzame vybrané dostupné informácie pre dva diskutované okresy SR – Krupina (najnepriaznivejšie geologické prostredie) a Bardejov (najpriaznivejšie geologické prostredie), kde sú rozdiely v úmrtnosti diskutované príčiny úmrtí ale aj v očakávanej dĺžke života [14] najvyššie. Zrejme veľmi dôležitý faktor, ktorý by mohol vplývať na ZI je podiel rómskej populácie, ktorej socioekonomická úroveň, zdravotný stav a aj stredná dĺžka života sú signifikantne horšie ako u ostatnej populácie. Počet obyvateľov rómskej národnosti v okrese Bardejov (**tab. 7**) je však približne dvojnásobný ako v okrese Krupina.

**Tab. 7 Prehľad socioekonomickej úrovne, zdravotníckych charakteristik a charakteristiky životného štýlu v okresoch Krupina a Bardejov v porovnaní so SR**

Socioekonomicke charakteristiky	Krupina	Bardejov	SR
Miera evidovanej nezamestnanosti (% populácie)	16,95	19,6	12,29
Priemerná nominálna mesačná mzda v Eur	694	614	957
Podiel obyvateľov rómskej národnosti (% populácie)	2,1–4	4,1–8	2
Zdravotnícke charakteristiky			
Počet lekárov na 10000 obyvateľov – dospelí (vek 18+)	4,36	3,40	4,32
Počet lekárov na 10000 obyvateľov – deti a dorast (vek 0–17)	6,86	7,44	9,87
Charakteristika životného štýlu <sup>d</sup>			
Pravidelná pohybová aktivita (% populácie)	45	39,5	58,5
Pravidelné stravovacie návyky (% populácie)	75	49	68
Fajčenie (% populácie)	25	43	19,5
Nadmerná konzumácia alkoholu (% populácie)	9,8	11	6,8

Poznámka: <sup>a</sup>Statistický úrad Slovenskej republiky [8], <sup>b</sup>NCZI, 2013, <sup>c</sup>zdroj údajov pre okres Krupina: Kosmovský et al. 2015, <sup>d</sup>zdroj údajov pre okres Bardejov: EHES (European Health Examination Survey) – zistovanie zdravia Európanov [19]

Ďalšie z dôležitých socioekonomických faktorov, ktoré by mohli vplývať na ZI, sú evidovaná miera nezamestnanosti a prípadne aj priemerná mzda obyvateľov v okresoch. Aj priemerná mzda aj miera nezamestnanosti je v okrese Bardejov nepriaznivejšia ako v okrese Krupina.

Z ďalších determinantov zdravia, ktoré pôsobia na zdravie človeka bud' pozitívne alebo negatívne sú v Tab. 9 uvedené dostupné údaje o parametroch životného štýlu a zdravotnej starostlivosti. Z porovnania údajov môžeme skonštatovať, že nie sú zaznamenané signifikantné rozdiely v determinantoch životného štýlu a zdravotnej starostlivosti medzi uvedenými okresmi. Naopak, nevýznamne lepšie hodnoty uvedených faktorov boli zaznamenané v okrese Krupina, kde bol zdokumentovaný signifikantne horší zdravotný stav a kratšia očakávaná dĺžka života ako v Bardejove.

## ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme skonštatovať, že zdravotný stav obyvateľov a očakávaná stredná dĺžka života obyvateľov v SR je signifikantne ovplyvňovaná chemickým zložením podzemnej/pitnej vody a to hlavne obsahom Ca, Mg a tvrdosti vody.

Úmrtnosť na hlavné príčiny úmrtí: kardiovaskulárne a onkologické ochorenia a taktiež ochorenia tráviacej a dýchacej sústavy je signifikantne nižšia, keď je obsah uvedených parametrov nasledovný: pre Ca v rozpäti  $78\text{--}155 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , pre Mg  $28\text{--}54 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a pre tvrdosť vody v rozpäti  $2,9\text{--}6,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ .

Zhoršený zdravotný stav obyvateľstva a zníženie strednej dĺžky života pozorujeme pri nízkom, deficitnom obsahu uvedených parametrov v podzemnej/pitnej vode. Nami odvodené limitné hodnoty sú viac ako  $2\times$  vyššie ako odporúčané hodnoty slovenskej normy pre pitnú vodu.

Navrhujeme pre to zvýšiť limitné hodnoty slovenskej normy *pre pitnú vodu a to pre Ca  $>50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , pre Mg  $>25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a pre tvrdosť vody  $> 2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$* .

*Pre balenú vodu odporúčame nasledovné limitné hodnoty: pre Ca  $>60 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , pre Mg  $>30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a pre tvrdosť vody  $>2,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ .*

## PODĚKOVÁNÍ



Tento výskum bol realizovaný v rámci projektov GEOHEALTH (LIFE10 ENV/SK/000086, a LIFE – WATER and HEALTH (LIFE 17 ENV/SK/000036), ktoré sú podporované finančným nástrojom EÚ LIFE a MŽP SR

## ZOZNAM LITERATURY

1. Rosborg, I., Kožíšek, F., ed., 2015. Drinking Water Minerals and Mineral Balance Importance, Health Significance, Safety Precautions. Springer International Publishing Switzerland, Springer Verlag, 2015; ISBN: 978-3-319-09592-9 (Print) 978-3-319-09593-6 (Online).
2. Rapant, S., Letkovičová, M., Cvečková, V., Fajčíková, K., Galbavý, J., Letkovič, M.: Environmentálne a zdravotné indikátory Slovenskej republiky. 2010, 279 s., ŠGÚŠ, Bratislava, ISBN 978-80-89343-36-2
3. Vrana, K., Rapant, S., Bodíš, D., Marsina, K., Lexa, J., Pramuka, S., Mařkovská, B., Čurlík, J., Šefčík, P., Vojtaš, J., Daniel, J., Lučiviansky, L., 1997. Geochemical Atlas of Slovak Republic at a scale 1 : 1 000 000. Journal of Geochemical Exploration, 60, pp. 7-37
4. Rapant, S., Rapošová, M., Bodíš, D., Marsina, K., Slaninka, I., 1999. Environmental-geochemical mapping program in the Slovak Republic. Journal of Geochemical Exploration, 66(2), pp. 151-158
5. Klinda, J., Lieskovská, Z., 2010. State of the environment report of the Slovak Republic. Ministry of Environment of the Slovak Republic, Bratislava, s. 192
6. Rapant, S., Cvečková, V., Dietzová, Z., Fajčíková, K., Hiller, E., Finkelman, R. B., Škultétyová, S., 2014. The potential impact of geological environment on health status of residents of the Slovak Republic. Environmental Geochemistry and Health, 36, pp. 543-561, doi:10.3390/ijerph14030278.
7. Last, J. M., Spasoff, R. A., Harris, S. S., Thuriaux, M. C.: A Dictionary of epidemiology. 2001, Oxford University Press, p. 213, ISBN 0-19-514169-5
8. [www.statistics.sk](http://www.statistics.sk)
9. [www.nczisk.sk](http://www.nczisk.sk)
10. Kohút, M., Kovach, V. P., Kotov, A. B., Salnikova, E. B., Savatenkov, V. M., 1999. Sr and Nd isotope geochemistry of Hercynian granitic rocks from the Western Carpathians – implications for granite genesis and crustal evolution. Geologica Carpathica, 50(6), pp. 477-487
11. Rapant, S., Fajčíková, K., Cvečková, V., Durža, A., Stehlíková, B., Sedláková, D., Ženíšová, Z., 2015. Chemical composition of groundwater and relative mortality for cardiovascular diseases in the Slovak Republic. Environmental Geochemistry and Health, 37, pp. 745-756, doi:10.1007/s10653-015-9700-5.
12. Chaikaew, N., Tripathi, N. K., Souris, M., 2009. Exploring spatial patterns and hotspots of diarrhea in Chiang Mai, Thailand. International Journal of Health Geographics, 8(36)
13. Chen, J., Roth, R. E., Naito, A. T., Lengerich, E. J., Maceachren, A. M., 2008. Geovisual analytics to enhance spatial scan statistic interpretation: an analysis of US cervical cancer mortality. International Journal of Health Geographics, 7(1), p. 57
14. Rapant, S., Cvečková, V., Fajčíková, K., Dietzová, Z., Stehlíková, B., 2017. Chemical composition of groundwater/drinking water and oncological disease mortality, Slovak Republic. Environmental Geochemistry and Health. - Vol. 39, No. 1, s. 191-208. ISSN 0269-4042, doi:10.3390/ijerph14030278.
15. Rapant, S., Vrana, K., Bodíš, D., Geochemical Atlas of Slovakia-part I. Groundwater. Monography, 1996, Ministry of the Environment of the Slovak Republic, Geological Survey of Slovak Republic, Bratislava, p. 127, ISBN 80-85314-67-3
16. Rapant, S., Cvečková, V., Fajčíková, K., Kohút, M., Sedláková, D., 2014. Historical mining areas and their influence on human health. European Journal for Biomedical Informatics, 10(1), 24-34
17. NCZI, 2015. Zdravotníctvo Slovenskej republiky v čísloch 2014. Národné centrum zdravotníckych informácií, Bratislava, 14. ([www.nczisk.sk](http://www.nczisk.sk))
18. Catling, L., Abubakar, I., Lake, I., Swift, L., Hunter, P., 2005. Review of evidence for relationship between incidence cardiovascular disease and water hardness. University of East Anglia and Drinking Water Inspectorate, Norwich, Norfolk, NR47TJ. p. 142 Available from [http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70\\_2\\_176\\_water\\_hardness.pdf](http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70_2_176_water_hardness.pdf). Accessed November 2019
19. [www.ehes.info](http://www.ehes.info)

# ZDRAVOTNÝ STAV OBYVATEĽOV SR V ZÁVISLOSTI OD RÔZNEJ TVRDOSTI VODY

**Mgr. Veronika CVEČKOVÁ, Ph.D.<sup>1)</sup>, Ing. Mária LETKOVIČOVÁ<sup>1)</sup>,**  
**Mgr., MUDr. Viktor KOSMOVSKÝ, MPH, MAH<sup>2)</sup>,**  
**doc. RNDr. Stanislav RAPANT, DrSc.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> PRIF UK Bratislava, Ilkovičova 6, Bratislava

<sup>2)</sup> RÚVZ vo Zvolene, Nádvorná 3366/12, Zvolen

E-mail: [veronika.cveckova@uniba.sk](mailto:veronika.cveckova@uniba.sk)

## ÚVOD

Hlavným cieľom predkladaného príspevku bolo potvrdiť doterajšie svetové a slovenské poznatky o vplyve obsahu Ca, Mg a tvrdosti vody na zdravotný stav obyvateľov [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. V zmysle požiadaviek projektu LIFE – WATER and HEALTH [8] boli náhodným výberom vybrané dve skupiny obcí, ktoré sú zásobované pitnou vodou rôznej tvrdosti a to s viac ako 50 000 obyvateľov v každej skupine obcí. Pre obidve skupiny obcí bolo zostavených celkovo 96 zdravotných indikátorov, rozdelených podľa veku a pohlavia. Pre porovnanie sme použili celú populáciu Slovenskej republiky, z ktorej boli vyradené obce pod 100 obyvateľov.

Do záverečného hodnotenia zdravotného stavu obidvoch skupín obcí bolo zahrnutých 13 najdôležitejších zdravotných indikátorov (ZI), zahrnujúcich očakávané dožívanie obyvateľov, hrubú úmrtnosť, percento predčasných úmrtí, roky strateného života a relatívnu a nepriamo-vekovo štandardizovanú úmrtnosť na štyri hlavné príčiny úmrtí na Slovensku, a to obejovú sústavu, zhoubné nádory, tráviacu a dýchaciu sústavu. Všetky výsledky v rozdieloch zdravotného stavu obidvoch hodnotených skupín obyvateľov boli podrobenej štatistickej analýze – T-test, ANOVA a Kolmogorov-Smirnov test systémom Statgraphic.

## Výber obcí

Ako už bolo uvedené zostavili sme dve skupiny obcí zásobovaných pitnou vodou rôznej tvrdosti a rôzneho obsahu Ca a Mg. Každá skupina zahŕňala viac než 50 000 obyvateľov. Prvá skupina obcí, d'alej ju budeme označovať „mäkká“ voda pozostávala z obcí zásobovaných pitnou vodou s nízkym obsahom Ca približne  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a menej, Mg približne  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a menej a nízkou hodnotou celkovej tvrdosti vody približne  $1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  a menej. Druhá skupina obcí, d'alej ju budeme označovať „tvrdá“ voda pozostávala z obcí, ktoré mali vyšší až vysoký obsah Ca približne  $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a viac, Mg približne  $25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a viac a hodnota celovej tvrdosti vody je približne  $2,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  a viac. Vybrali sme obce s najmenej 500 obyvateľmi. Jedinú výnimku predstavovala obec Devičie, ktorá má 302 obyvateľov. Táto obec bola zahrnutá do celku „mäkká“ voda z dôvodu, že v nej budeme rekarbonizovať pitnú vodu. Uvedené počty obyvateľov neboli náhodné. Z doterajších prác [9, 10] je zrejmé, že malé obce, pod 500 obyvateľov v dôsledku malého počtu obyvateľov vykazujú často nevyrovnané zdravotné indikátory (chyba malých čísel). Na druhej stane veľké obce (mestá) s viac ako 10 000 obyvateľmi sú častokrát zásobované rôznymi pitnými vodami z viacerých zdrojov. Taktiež sa chceme vyhnúť skutočnosti, že keby sme vybrali 4–5 obcí s 10 000 obyvateľov a viac, nedokázali by sme získať potrebnú variabilitu zdravotných indikátorov. Obyvatelia obcí v rozpätí 500–5 000 obyvateľov vykazujú v zdravotných indikátoroch najvyrovnanejšie ukazovatele a sú najviac späté so životným prostredím [9, 10]. Preto sme vybrali takéto obce. V prípade skupiny obcí „mäkká“ voda vzhľadom na skutočnosť, že tieto podzemné (pitné) vody pochádzajú z nízko zvodneného silikátového geologického podložia

s nízkou výdatnosťou vodných zdrojov sme museli vybrať do tohto celku viac obcí. Obce s niekoľko tisíc obyvateľmi zásobovaných mäkkou pitnou vodou sa na Slovensku vyskytujú len vo veľmi obmedzenom počte.

Prehľad priemerných hodnôt obsahu Ca, Mg a tvrdosti vody je pre obidve vyčlenené skupiny vôd v porovnaní so slovenskými normovanými hodnotami pre pitnú vodu [11] podaný v tab. 1.

**Tab. 1. Priemerný obsah Ca, Mg a tvrdosti vody v hodnotených skupinách obcí v porovnaní s hodnotami slovenskej normy pre pitnú vodu**

Parameter	Normovaná hodnota*	„Mäkká“ voda	„Tvrďa“ voda
<b>Ca (mg·l<sup>-1</sup>)</b>	>30	20,7	70,12
<b>Mg (mg·l<sup>-1</sup>)</b>	>10	6,05	26,4
<b>(Ca + Mg) (mmol·l<sup>-1</sup>)</b>	1,1–5,0	0,77	2,84

Poznámka: \* odporúčaná hodnota Vyhlášky MZ SR č. 247/2017 Z. z.

Z uvedenej tab. 1 je na prvý pohľad zrejmé, že existujú zásadné rozdiely v obsahu Ca, Mg a tvrdosti vody v obidvoch skupinách obcí. V skupine obcí „tvrdá“ voda sú tieto hodnoty takmer štvornásobné.

Prehľad o vyčlenených obciach, základnom chemickom zložení jednotlivých zdrojov vôd, počte obyvateľov je dostupný na internetovej stránke projektu LIFE – WATER and HEALTH [8].

### **Charakteristika zdravotného stavu obyvateľov vyčlenených dvoch skupín obcí**

Charakteristiku zdravotného stavu obyvateľov dvoch vyčlenených skupín obcí podávame na základe tzv. *zdravotných indikátorov – ukazovateľov zdravotného stavu a demografického vývoja obyvateľov*. Vychádzame z údajov Štatistického úradu Slovenskej republiky a hodnotíme obdobie rokov 1994–2008. Všetky údaje teda reprezentujú 15 ročné priemery. Všetky zdravotné indikátory boli zostavené na základe Medzinárodného katalógu chorôb, 10 revízia [12] a boli zostavené v zmysle odporučení WHO [13, 14, 15]. Všetky použité zdravotné indikátory sú robustné, stabilné, ľahko zostrojiteľné a medzinárodne porovnatelné. Každý zdravotný indikátor bol zostavený podľa pohlavia v prevedení muži, ženy a obyvateľstvo spolu. Pristúpili sme taktiež k vekovej diferenciácii každého zdravotného indikátora. Celkovo bolo zostavených 96 zdravotných indikátorov, z ktorých ako najdôležitejšie vyberáme 13 nasledovných zdravotných indikátorov uvedených v tab. 2.

**Tab. 2. Základná charakteristika použitých zdravotných indikátorov**

P.	Skratka ZI	Popis ZI	Jednotka	Poznámka
1	<b>DOZ</b>	Očakávané dožívanie	Roky	Základný prierezový indikátor
2	<b>HU</b>	Hrubá úmrtnosť	koeficient	Základná orientácia v
3	<b>ReC</b>	Relatívna úmrtnosť na 100 000 obyvateľov na zvolenú príčinu (skupinu príčin)	koeficient	Zhubné nádory C00-C97
4	<b>ReI</b>		koeficient	Obehotváre príčiny I00-I99
5	<b>ReJ</b>		koeficient	Dýchacia sústava J00-J99
6	<b>ReK</b>		koeficient	Tráviaca sústava K00-K93
7	<b>SMR</b>	Nepriamo vekovo štandardizovaná úmrtnosť na zvolenú príčinu, percentuálne porovnanie voči celej SR ako štandardu	% voči SR	Všetky úmrtia bez výberu
8	<b>SMRC</b>		% voči SR	Zhubné nádory C00-C97
9	<b>SMRI</b>		% voči SR	Obehotváre príčiny I00-I99
10	<b>SMRJ</b>		% voči SR	Dýchacia sústava J00-J99
11	<b>SMRK</b>		% voči SR	Tráviaca sústava K00-K93
12	<b>PU</b>	% predčasných úmrtí	% zo všetkých	Bez ohľadu na príčinu
13	<b>PYLL</b>	Roky potenciálne strateného	Roky	Bez ohľadu na príčinu

Všetky zdravotné indikátory v obidvoch skupinách obcí porovnávame medzi sebou a voči priemernej hodnote Slovenskej republiky. Do slovenskej priemernej hodnoty neboli zahrnuté obce s menej ako 100 obyvateľmi. Celkovo slovenský priemer predstavuje priemerné hodnoty z 2 762 obcí (5,39 mil. obyvateľov) a predstavuje 99,87 % obyvateľov Slovenskej republiky.

Skupina obcí „mäkká“ voda predstavovala 52 676 obyvateľov a skupina obcí „tvrdá“ voda predstavovala 53 118 obyvateľov. Skupina obcí „tvrdá“ voda teda predstavovala 1,03 násobok obyvateľov skupiny „mäkká“ voda.

Základná charakteristika zdravotného stavu obyvateľov obidvoch skupín vôd je podaná v tab. 3.

**Tab. 3. Základná charakteristika zdravotného stavu obyvateľov obidvoch skupín vôd**

Dáta za roky 1994 – 2008 (súčet)	Slovenská republika	Obce „mäkká voda“	Obce „tvrdá“ voda
<b>Počet obci v skupine</b>	2 762	34	21
<b>Počet persons years – človekorokov</b>	80 799 554	804 450	776 959
<b>Počet úmrtí</b>	785 328	10 740	5 796
<b>Počet predčasných úmrtí</b>	225 518	3 167	1 521
<b>Počet PYLL</b>	3 184 312	46 417	21 527
<b>Počet úmrtí na rakovinu</b>	172 995	2 099	1 249
<b>Počet úmrtí na kardiovaskulárne</b>	429 239	6 125	3 315
<b>Počet úmrtí na choroby dýchacie</b>	46 435	704	307
<b>Počet úmrtí na choroby tráviace</b>	38 994	557	235

Ked'že sa jedná o prakticky rovnako veľké skupiny obcí mali by byť vstupné údaje rovnaké u obidvoch skupín obcí (presnejšie 1,03 krát vyššie v skupine obcí „tvrdá“ voda). Z tab. 3 je však na prvý pohľad zrejmý zásadný rozdiel. Všetky zdravotné indikátory v skupine obcí „mäkká“ voda sú takmer dva krát vyššie, t. j. nepriaznivejšie v porovnaní so skupinou obcí „tvrdá“ voda. Podrobnejšie sú jednotlivé zdravotné indikátory uvedené v tab. 4.

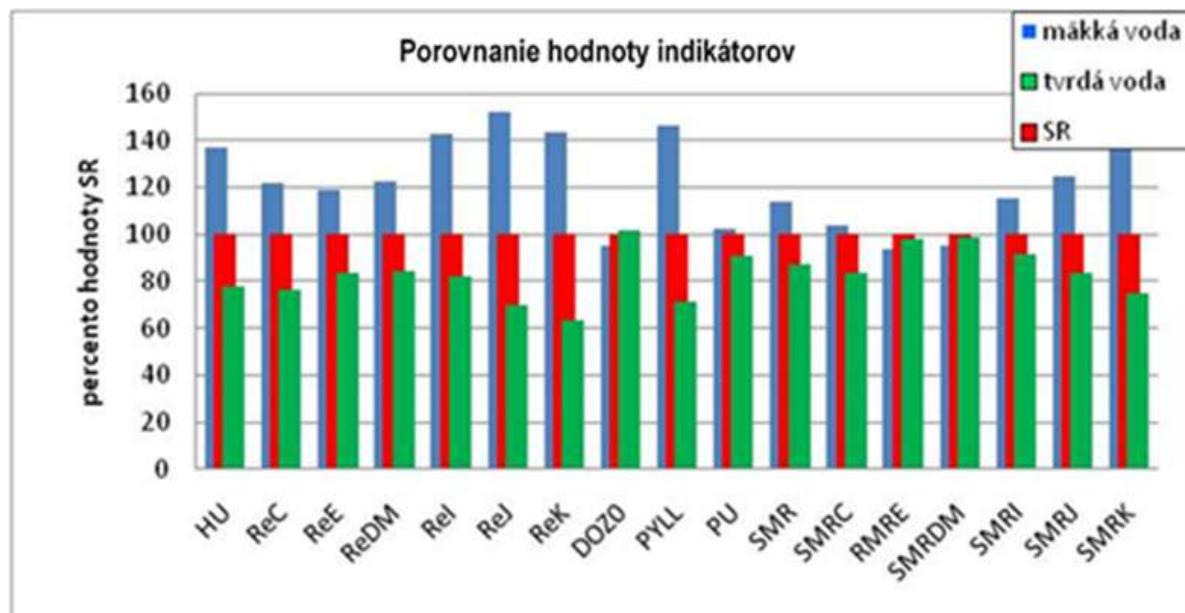
**Tab. 4. Charakteristika 13 základných zdravotných indikátorov**

P.	Skratka ZI	Popis ZI	Slovenská republika (2 933 obcí)	„Tvrdá“ voda (21 obcí)	„Mäkká“ voda (34 obcí)
1	<b>DOZ</b>	Očakávané dožívanie v rokoch	72,65	74,58	70,00
2	<b>HU</b>	Hrubá úmrtnosť	9,72	7,47	13,35
3	<b>ReC</b>	Relatívna úmrtnosť na 100 000 obyvateľov na zvolenú príčinu (skupinu príčin)	214,10	160,92	260,92
4	<b>ReI</b>		531,24	427,10	761,39
5	<b>ReJ</b>		57,47	39,55	87,51
6	<b>ReK</b>		48,26	30,28	69,24
7	<b>SMR</b>	Nepriamo vekovo štandardizovaná úmrtnosť, štandardom je celé Slovensko (100 %)	100,00	87,82	114,49
8	<b>SMRC</b>		100,00	83,53	104,77
9	<b>SMRI</b>		100,00	95,55	116,58
10	<b>SMRJ</b>		100,00	80,85	120,75
11	<b>SMRK</b>		100,00	87,82	114,49
12	<b>PU</b>	% predčasných úmrtí	28,82	27,15	29,95
13	<b>PYLL</b>	Roky potenciálne strateného života	3 941,00	2 773,53	5 770,03

Tab. 4 ešte názornejšie dokumentuje rozdiely v zdravotnom stave obyvateľov dvoch vyčlenených skupín obcí. Napríklad očakávané dožívanie je u skupiny „mäkká“ voda o 4,58 roka nižšie ako v skupine obcí „tvrdá“ voda. Hlavná príčina úmrtí na Slovensku – kardiovaskulárne ochorenia (pričíne 50 % zo všetkých úmrtí) je o 56 % vyššia v skupine obcí „mäkká“ voda.

Podobne je to aj pri druhej najčastejšej príčine úmrtí – onkologické ochorenia (pričíne 25 %), kde je tento rozdiel takmer 62 %. Najväčšie rozdiely v relatívnej úmrtnosti boli pozorované v prípade tráviacej a dýchacej sústavy, viac ako 100 %.

Zo všetkých zdravotných indikátorov skupina obcí „mäkká“ voda je horšia ako celoslovenský priemer a skupina obcí „tvrdá“ voda je lepšia ako celoslovenský priemer. Táto skutočnosť je zrejmá aj z obr. 1.



**Obr. 1. Porovnanie rozdielu v zdravotných indikátoroch vyčlenených skupín obcí v porovnaní so Slovenskou republikou**

V ďalšom sme štatisticky testovali štatistickú významnosť rozdielov zdravotných indikátorov v obidvoch skupinách vôd. Na základe Kolomogorov-Smirnovho testu (tab. 5) sú všetky uvedené rozdiely v hodnotených zdravotných indikátoroch dvoch vyčlenených skupín obcí veľmi vysoko štatisticky významné a len v prípade indikátora PU bola potvrdená overená štatistická významnosť na viac ako 95 %.

Ked' si spriemerujeme všetkých 13 hodnotených zdravotných indikátorov tak zdravotné indikátory v skupine obcí „tvrdá“ voda sú v priemere o 62 % lepšie ako v skupine obcí „mäkká“ voda.

**Tab. 5. Výsledky testovania štatistickej významnosti rozdielov vyčlenených skupín vôd**

P.	Skratka ZI	Popis ZI	„p“	Interpretácia	
1	<b>DOZ</b>	Očakávané dožívanie v rokoch	0	+++	Veľmi vysoko štatisticky preukázaný rozdiel
2	<b>HU</b>	Hrubá úmrtnosť	0,000 000 1	+++	
3	<b>ReC</b>	Relatívna úmrtnosť na 100 000 obyvateľov na zvolenú príčinu (skupinu príčin)	0	+++	
4	<b>ReI</b>		0	+++	
5	<b>ReJ</b>		0,000 048 1	+++	
6	<b>ReK</b>		0,000 000 4	+++	
7	<b>SMR</b>		0	+++	
8	<b>SMRC</b>	Nepriamo vekovo štandardizovaná úmrtnosť, štandardom je celé Slovensko (100 %)	0,000 124	+++	
9	<b>SMRI</b>		0,000 109	+++	
10	<b>SMRJ</b>		0,000 433	+++	
11	<b>SMRK</b>		0,000 337 5	+++	
12	<b>PU</b>	% predčasných úmrtí	0,013 2	+	Štatisticky overená závislosť
13	<b>PYLL</b>	Roky potenciálne strateného života	0	+++	Veľmi vysoko štatisticky preukázaný rozdiel

Poznámka: p – hladina významnosti, p < 0,05 [(95 % štatistická spoločnosť výsledkov – overená závislosť (+)], p < 0,01 [(99 % štatistická spoločnosť výsledkov – vysoká závislosť (++)], p < 0,001 [(99,9 % štatistická spoločnosť výsledkov – veľmi vysoká závislosť (+)])

## ZÁVER

Obyvatelia obcí zásobovaných „mäkkou“ pitnou vodou majú vo všetkých prípadoch výrazne horšie ukazovatele zdravotného stavu a demografického vývoja než obyvatelia obcí zásobovaných „tvrdou“ pitnou vodou v prieme až o 62 %. Skupina obcí s „mäkkou“ pitnou vodou je vo všetkých zdravotných indikátoroch s vysokou štatistickou preukádzateľnosťou horšia ako skupina obcí s „tvrdou“ pitnou vodou. Keď si vypichneme individuálne príčiny úmrtí tak najvyššie rozdiely v príčinách úmrtí pozorujeme v prípade diagnózy I21 – akútne infarkt myokardu – 3,23 krát viac v skupine obcí „mäkká“ voda, diagnóza I25 – chronická ischemická choroba srdca – 2,17 krát viac v skupine obcí „mäkká“ vody a diagnóza C34 – zhoubný nádor priedušiek a plúc – 2,17 krát viac v skupine obcí „mäkká“ voda ako v skupine obcí „tvrdá“ voda. Ako najvyšší a najnápadnejší rozdiel, hodný povšimnutia je počet úmrtí na diagnózu G80 – detské mozgové ochrnutie. V prípade skupiny obcí „tvrdá“ voda boli zaznamenané dva prípady počas 15 hodnotených rokov a v skupine obcí „mäkká“ voda až 34 prípadov.

Celkovo má skupina obcí s „mäkkou“ vodou všetky zdravotné indikátory relatívne vysoko nehomogénne, majú veľa odľahlých až extrémnych hodnôt. Skupina obcí s „tvrdou“ vodou je v zdravotných indikátoroch podobná a žiadne mimoriadne extrémne hodnoty v tejto skupine obcí nenachádzame. Celkovo 14 obcí z hodnotených 34 obcí zásobovaných „mäkkou“ pitnou vodou zaznamenalo extrémne hodnoty niektorého zdravotného indikátora aj v rámci celej Slovenskej republiky. V prípade obcí zásobovaných „tvrdou“ vodou nebola zaznamenaná ani jedna extrémna obec.

Dosiahnuté výsledky potvrdili výrazné zhoršenie zdravotného stavu obyvateľov zásobovaných „mäkkou“ pitnou vodou. V prípade kardiovaskulárnych a onkologických ochorení, bola podobná situácia zaznamenaná v mnohých krajinách vo svete. Nami dosiahnuté výsledky naznačujú, že deficitný obsah Ca a Mg v pitnej vode sa výrazne podielá na zvýšenej úmrtnosti aj na tráviacu a dýchaciu sústavu. Ešte výraznejšie ako na kardiovaskulárne a onkologické ochorenia. Literárne údaje o zvýšenej úmrtnosti na tráviacu a dýchaciu sústavu v spojitosti s tvrdosťou pitnej vody nie sú známe.

Deficitný obsah Ca, Mg, resp. tvrdosti pitnej vody vo všeobecnosti pôsobí negatívne na zdravie ľudí. Tento deficit zrejme však nepôsobí na každého jedinca, na všetkých ľudí rovnako. Na citlivejších jedincov zrejme vplyva oveľa viac. Na odolnejších jedincov menej. Dôkazom tejto skutočnosti je oveľa vyšší výskyt extrémnych hodnôt zdravotných indikátorov v rámci skupiny obcí „mäkká“ voda.

Na základe výsledkov uvedených v tejto práci sa domnievame, že hodnoty obsahu Ca a Mg v pitnej vode veľmi výrazne ovplyvňujú zdravotný stav ľudí a mali by byť preto limitované v WHO štandardoch pre pitnú vodu.

## POĎAKOVANIE



Projekt je podporovaný z finančného nástroja LIFE a príspevkom MŽP SR (LIFE 17 ENV/SK/000036)

## ZOZNAM LITERATÚRY

1. Yang, Ch. Y., Cheng, M. F., Tsai, S. S, Hsieh, Y. L., 1998. Calcium, magnesium, and nitrate in drinking water and gastric cancer mortality. *Jpn. J. Cancer Res.*, 1998, (89):124-130
2. Catling, L., Abubakar, I., Lake, I., Swift, L., Hunter, P., 2005. Review of evidence for relationship between incidence cardiovascular disease and water hardness. University of East Anglia and Drinking Water Inspectorate, Norwich. Nor-folk, NR47TJ. 142. [http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70\\_2\\_176\\_water\\_hardness.pdf](http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70_2_176_water_hardness.pdf). Accessed November 2019
3. Rubenowitz-Lundin, E., Hiscock. K.: Water hardness and health effects. Chapter 13. Principles of Medical Geology, 2005, pp. 331-345
4. Selinus, O, Alloway, B. J, Centeno, J. A, Finkelman, R. B, Fuge, R, Lindh, U., Smedley, P., Essentials of Medical geology. Impacts of the natural environment on public health, 2005, Elsevier Academic, p. 793, ISBN 0-12-636341-2
5. Rosborg, I., Kožšek, F., ed., 2015. Drinking Water Minerals and Mineral Balance Importance, Health Significance, Safety Precautions. Springer International Publishing Switzerland, Springer Verlag, 2015; ISBN: 978-3-319-09592-9 (Print) 978-3-319-09593-6 (Online).
6. Rapant, S., Cvečkova, V., Fajcikova, K., Sedlakova, D., Stehlíkova, B., 2017. Impact of calcium and magnesium in groundwater and drinking water on the health of inhabitants of the Slovak Republic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, 278. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph14030278>
7. Koppová, K., Klcová-Adamčáková, Z., Eperejši, T., 2017. Význam obsahu stopových látok v pitnej vode pre zdravie človeka. Úrad verejného zdravotníctva SR. Informácia pre verejnosť
8. LIFE – WATER and HEALTH, LIFE17 ENV/SK/000036 (2018). Available from: <http://fns.uniba.sk/lifewaterhealth/>
9. Rapant, S., Letkovičová, M., Cvečková, V., Fajčíková, K., Galbavý, J., Letkovič, M.: Environmentálne a zdravotné indikátory Slovenskej republiky. 2010, 279 s., ŠGÚŠ, Bratislava, ISBN 978-80-89343-36-2
10. Fajčíková, K., Cvečková, V., Rapant, S., Dietzová, Z., Sedláčková, D., Stehlíková, B.: Vplyv geologickej zložky životného prostredia na zdravotný stav obyvateľstva Slovenskej republiky. 2016, 191 s., ŠGÚDS, Bratislava, ISBN 978-80-8174-018-3
11. Vyhláška MZ SR 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. Available from: <http://www.zakonypreldi.sk/zz/2017-247>, (v znení č. 97/2018 Z. z.)
12. Medzinárodná klasifikácia chorôb, 10. revízia ([www.nczisk.sk](http://www.nczisk.sk))
13. Jenicek, M.: Epidemiology. The Logic of Modern Medicine. Epimed., Montreal, 1995, ISBN 0-9698912-0-2
14. Bencko, V., Hrach, K., Malý, M., Pikhart, H., Reissigová, J., Svačina, Š., Tomečková, M., Zvárová, J.: Biomedicínska statistika III., Statisticke metody v epidemiologii. (1). 2003a, Karolinum, Praha, 236 s., ISBN 80-246-0763-8
15. Bencko, V., Hrach, K., Malý, M., Pikhart, H., Reissigová, J., Svačina, Š., Tomečková, M., Zvárová, J.: Biomedicínska statistika III., Statisticke metody v epidemiologii. (2). 2003b, Karolinum, Praha, 269 s., ISBN 80-246-0764-6

# **PROČ NEMÁ BÝT PITNÁ VODA ANI MOC MĚKKÁ, ANI MOC TVRDÁ?**

**MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.**

Státní zdravotní ústav, Šrobárova 48/49, 100 00 Praha 10  
E-mail: [frantisek.kozisek@szu.cz](mailto:frantisek.kozisek@szu.cz)

## **ÚVOD**

Důležitost tvrdosti vody čili v podstatě sumy koncentrací vápníku a hořčíku, jako jedné z technických vlastností vody, byla objevena již na počátku 19. století, v raných dobách moderní analytiky vody. Překvapivě jen o málo mladší jsou první poznatky o zdravotním významu tvrdosti pitné vody: již okolo roku 1870 studoval Dr. Henry Lethaby, zdravotní rada města Londýna, vztah mezi celkovou úmrtností a tvrdostí pitné vody v 19 anglických a skotských městech [1]; pravděpodobně první článek v odborném lékařském časopise vyšel v roce 1913 [2]. Pak sice nastala na téměř 50 let pauza, ale studie z Japonska z roku 1957 [3] odstartovala opravdový výzkumný boom, především v USA a Velké Británii, ale i řadě dalších zemí [4]. Výsledky epidemiologických studií o vlivu tvrdosti vody na lidské zdraví byly velmi konzistentní, což se již koncem 60. let odrazilo ve zlidověném rčení „měkká voda, tvrdé artérie (cévy)“. Odborně šlo o to, že v oblastech zásobovaných měkkou pitnou vodou umírali lidé na srdečně cévní onemocnění mnohem častěji než v oblastech zásobovaných tvrdou vodou.

Hlavní výzkumný boom skončil přibližně v polovině 70. let, protože se zdálo, že vše je jasné, že již není co zkoumat. Tehdejší „všeobecné odborné mínění“ se odráželo i v oficiálních dokumentech Světové zdravotnické organizace (WHO) nebo v první evropské směrnici na pitnou vodu (Směrnice rady 80/778/EHS). Poněkud zdrženlivější byla odborná grémia v USA, která sice existenci vztahu nepopírala, ale uzavírala, že je předčasné poznatky promítat do vodárenské praxe [4]. Přestože se v následujících dvou dekádách žádné studie zpochybňující pravidlo „měkká voda, tvrdé cévy“ neobjevily, v 90. letech se oficiální postoj nejprve WHO a posléze Evropské komise změnil. Změna postoje WHO se objevila ve druhém vydání jejího doporučení *Guidelines for Drinking-water Quality* [5, 6] – výsledkem bylo zpochybňení důležitosti vlivu tvrdosti vody (vápníku a hořčíku) na zdraví. Oficiálně z důvodů, že výsledky studií nejsou konzistentní (což nebyla pravda), že studie jsou zastaralé a nedávají dostatečný důkaz (což byla částečně pravda, protože epidemiologické metody se mezitím výrazně modernizovaly), že se studie zaměřují na tvrdost vody (jako sumu Ca + Mg), zatímco je důležité zkoumat oddeleně obsah a vliv Ca i Mg (což byla pravda) a že rozhodující je příjem esenciálních prvků stravou (což je sice pravda, ale i přes dostatečný příjem těchto prvků v potravě se nízký obsah Ca a Mg v pitné vodě může negativně projevit na zdraví spotřebitelů, jak si dále ukážeme).

Tím pravým důvodem pro změnu postoje WHO však zřejmě nebyly odborné důvody, ale účinný lobbying výrobců zařízení na doúpravu vody v domácnosti na bázi reverzní osmózy. Jinak by to odborné zdůvodnění [6], ze kterého byly záměrně vypuštěny důležité a kvalitní studie, a naopak na ilustraci „slabých důkazů“ citovány jen studie okrajové a opravdu vědecky slabé, muselo vypadat úplně jinak. Tento oficiální postoj zaujímá WHO v podstatě dodnes [7], i když od 90. let byly realizovány a publikovány desítky nových a metodicky moderních epidemiologických studií, které v podstatě ukazují stále stejným směrem: nízký obsah vápníku a především hořčíku v pitné vodě je rizikový pro lidské zdraví pravidelných

konzumentů této vody. Vedle jednotlivých studií pak vyšly i nejméně tři meta-analýzy těchto studií a všechny potvrdily statisticky významný vztah: čím nižší obsah Mg v pitné vodě, tím vyšší úmrtnost na kardiovaskulární onemocnění v zásobované populaci.

Postoj WHO ovlivnil i postoj Evropského společenství, což se odrazilo ve směrnici z roku 1998 (98/83/ES), ve které nebyla o tvrdosti/vápníku/horčíku již jediná zmínka. Nicméně v posledních 10-15 letech se postoj WHO (potažmo i EU) začíná trochu měnit, o čemž svědčí vydání odborných monografií WHO [8, 9] či nové EU směrnice pro pitnou vodu (2020/2184). Důvodem je nejen rostoucí počet či váha důkazů, ale především rostoucí objem pitné vody vyrobený odsolením z vody mořské, kde úplná demineralizace vyvolává palčivou potřebu odborně definovat a zdůvodnit množství a složení minerálních látek, které je potřeba v rámci remineralizace do vody vrátit – z technického, zdravotně-hygienického i estetického (chuťového) hlediska. Epidemiologické studie z Izraele totiž ukazují, že tam, kde došlo k nahrazení zdrojů sladkých vod odsolenou mořskou vodou, došlo ke zhoršení zdravotního stavu zásobované populace [10, 11], i když pitná voda vyhovuje všem stanoveným mikrobiologickým i toxikologickým ukazatelům.

## PŘÍSTUP K REGULACI OBSAHU Ca A Mg V PITNÉ VODĚ V ČR A V EVROPSKÉ UNII

Regulace vždy časově zaostává za odborným poznáním, což je přirozený a v podstatě správný jev, má-li mít regulační rámec nějakou minimální stabilitu. Odborné poznatky se navíc v čase mění, protože lidské poznání nikdy není konečné. Zde pak vystává přirozeně otázka, v jaké chvíli považujeme naše poznání za dostatečné, dostatečně průkazné, aby bychom přistoupili k regulaci (kvality) pitné vody. V případě tvrdosti vody je regulace navíc složitá v tom, že hlavní zdravotní problém spočívá v její nízké úrovni, nikoliv v přebytku. Odstranění „něčeho nezádoucího“ z pitné (surové) vody je totiž obvykle technicky mnohem snazší než doplnění „něčeho chybějícího“. A konečně další komplikace spočívá v tom, že odborná instituce (WHO) postupně mění svůj postoj, aniž by to bylo konzistentní s vědeckým poznáním nebo s jejím přístupem k regulaci ostatních látek.

V České republice, resp. v Československu, existovalo odborné povědomí o důležitosti vápníku a horčíku (popř. dalších esenciálních prvků) ve vodě dlouho před zmíněným výzkumným boolem 60. let. První hygienické texty na toto téma byly publikovány v roce 1927, zatímco první (?) zmínka v odborné vodárenské literatuře se objevuje nejpozději v roce 1955 [12]. V první české normě upravující kvalitu pitné vody (ČSN 56 7900 Pitná voda z roku 1958) se uvádí jak optimální (8 až 12 °N čili 2,9 až 4,3 mval/l resp. 1,45 až 2,15 mmol/l), tak i mezní (2 až 40 °N čili 0,7 až 14,3 mval/l resp. 0,35 až 7,15 mmol/l) hodnota celkové tvrdosti vody. V podobném duchu se nesla i všechny další vydání této normy, byť se hodnoty mírně upravovaly. V posledním vydání (ČSN 75 7111 Pitná voda), platném do konce roku 2000, se pro sumu vápníku a horčíku uváděla doporučená hodnota 0,9 až 5 mmol/l s tím, že žádoucí (optimální) je hodnota 1,3 až 2,5 mmol/l; u horčíku se doporučoval nejnižší obsah 10 mg/l, u vápníku žádoucí obsah (doporučená hodnota) 20 mg/l a žádoucí poměr Mg k Ca byl uváděn jako 1:2. Všechny uvedené hodnoty byly po celou dobu existence ČSN Pitná voda jen doporučující.

K nejvýznamnější změně, kterou si vyžádala skutečnost, že se při vodárenské úpravě vody na některých menších zdrojích začala i v ČR více používat reverzní osmóza a hlavně že na český trh byla uvedena zařízení na doúpravu vody v domácnosti na bázi reverzní osmózy (jako koncový stupeň úpravy bez remineralizace), došlo po vydání zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, resp. jeho prováděcí vyhlášky č. 252/2004 Sb. Zde byly stanoveny jako doporučené hodnoty optimálního rozmezí vápníku a horčíku (hodnota tvrdosti

pak vychází z hodnot obou prvků), tak jejich minimální doporučené hodnoty, které se ale stávají závaznými a vymahatelnými ve chvíli, kde se tyto prvky z vody při úpravě odstraňují.

Situaci v zemích EU (EHS) před rokem 1980 zmapovanou nemám, ale vývoj po tomto roce sledovat lze. V tomto roce Evropské hospodářské společenství přijalo první společnou směrnici na pitnou vodu č. 80/778/EHS. Směrnice obsahovala doporučené hodnoty (horní hranice) pro Ca (100 mg/l) a Mg (30 mg/l), nejvyšší přípustnou hodnotu pro Mg (125 mg/l) a minimální hodnotu celkové tvrdosti (60 mg/l) vyjádřenou jako vápník nebo ekvivalentní ionty. Tato minimální hodnota platila pouze pro změkčované vody. Ze směrnice pak v podstatě shodně (pokud jde o tyto ukazatele) vycházely jednotlivé národní legislativy členských zemí.

Změna nastala po revizi této směrnice v roce 1998 (98/83/ES), která ukazatele Ca, Mg či jejich sumu vůbec neobsahovala. I když členské země Evropského společenství (EU) už nadále nic nenutilo tyto prvky v pitné vodě regulovat, 12 zemí si nadále ponechalo tyto ukazatele v legislativě, 6 dalších jejich obsah v pitné vodě řeší aspoň v technické normě nebo doporučení a 2 vydaly pro veřejnost informaci o zdravotní důležitosti Ca a Mg. Jenom 8 zemí EU obsah těchto prvků ve vodě nijak neřeší. Šest zemí uvádí doporučené rozmezí pro celkovou tvrdost, 1 další jen minimum a jiná jen maximum. Slovensko uvádí doporučené rozmezí pro hořčík, ČR i pro vápník. Čtyři země (BE, HU, IT, NL) závazně vyžadují minimální hodnotu celkové tvrdosti (pohybuje se v intervalu 0,9–1,5 mmol/l) pro vodu, která je změkčována nebo odsolována, ČR a Slovensko pak pro takovou vodu požadují minimální obsah Ca a Mg. Deset zemí stanovilo závazné nejvyšší hodnoty pro vápník a/nebo hořčík, horní hranice pro vápník se pohybují v intervalu 100–270 mg/l a pro hořčík v intervalu 30–125 mg/L [13].

Při tvorbě poslední novely EU směrnice některé země, včetně ČR, návrat regulace těchto prvků opět požadovaly, což nakonec vedlo aspoň ke kompromisu a do směrnice se dostal následující „kvalitativní“ požadavek: „*Voda by neměla být agresivní ani korozivní. Týká se to zejména upravovaných vod (demineralizace, změkčování, membránové technologie, reverzní osmóza atd.). Získává-li se voda určená k lidské spotřebě úpravou, která vodu významně demineralizuje nebo změkčuje, mohou být do vody přidávány vápenaté nebo hořečnaté soli ke zmenšení jakéhokoli negativního dopadu na zdraví, jakož i omezení korozivnosti nebo agresivnosti vody, a ke zlepšení chuti. Minimální koncentrace vápníku a hořčíku nebo celkového množství rozpuštěných minerálních látek ve změkčené nebo demineralizované vodě lze stanovit se zohledněním vlastnosti vody, která je takto upravována.*“ [14].

## **VLIV VÁPNÍKU A HOŘČÍKU (V PITNÉ VODĚ) NA LIDSKÉ ZDRAVÍ**

Vápník i hořčík jsou pro člověka esenciální (tedy pro zdraví a život nezbytné) prvky, oba plní v organismu mnohočetné funkce, atď už samostatně nebo jako „stavební“ součást různých sloučenin.

Vápník je zásadní anorganickou složkou kostí a zubů, čímž určuje jejich pevnost. Je faktorem krevního srážení (faktor IV), podílí se na tvorbě kininů, regulaci enzymů a uvolňování některých hormonů; reguluje excitaci řady tkání a uvolňování neurotransmitterů (šíření nervových vzruchů), zajišťuje správnou funkci kosterního i hladkého svalstva (čímž snižuje krevní tlak); podílí se na buněčném dělení, glykolýze či strukturální integritě buňky atd. Denní potřeba pro dospělé je asi 1000 mg. Nedostatek vápníku se v organismu projevuje svalovými spasmy, brněním nebo znecitlivěním končetin, únavou, nepravidelným srdečním rytmem, osteoporózou, narušením kognitivních funkcí, zubním kazem atd. [15].

Hořčík se jako kofaktor účastní více než 500 enzymatických reakcí, hraje klíčovou roli v syntéze ATP (hlavní látka odpovědná za produkci a uchování energie v buňce), ale i bílkovin a DNA, čímž hraje klíčovou roli ve všech hlavních metabolických funkcích. Působí jako antagonista vápníku (při svalových kontrakcích a přenosu nervových vznuků). Zajišťuje správnou činnost nervového, svalového a imunitního systému, reguluje krevní tlak a hladinu glukózy v krvi. Denní potřeba pro dospělé je okolo 300 mg, v poslední době se ale objevují doporučení vyššího příjmu. Nedostatek hořčíku se v organismu projevuje svalovými záškuby a spasmy, poruchou mentálního zdraví (apatie, deprese), únavou a spavostí, nepravidelným srdečním rytmem, třesem, neuropatií, vysokým krevním tlakem, osteoporózou atd. [9, 15, 16]. Vzhledem k tomu, co bude dále uvedeno jako klíčový účinek na zdraví při nedostatečném obsahu ve vodě, zde však zvláště zdůrazněme funkci hořčíku pro zajištění normální funkce kardiovaskulárního systému: zajišťuje energetickou potřebu a elektrickou stabilitu srdečního svalu, svalový tonus cév a integritu endotelu (buněk vnitřní výstelky) cév, správný lipidový (cholesterolový) metabolismus, má protizánětlivé účinky (mimo jiné zmírňuje následky oxidačního stresu) atd. Shrnutu: má prokázané antisklerotické, antiischemické, antihypertenzní a antiarytmické účinky [16].

### **Zdravotní riziko nízkého obsahu Ca či Mg v pitné vodě**

Poznatky o projevech nedostatku Ca a Mg pocházejí původně z empirického lékařského pozorování, později z klinických a nutričních (epidemiologických) studií, ale také z experimentů na laboratorních zvířatech. Klinické a epidemiologické studie poskytují ve vztahu k lidskému zdraví nejlepší důkazy, protože předmětem studií je sám člověk. Z hlediska pitné vody nás samozřejmě zajímá, zda můžeme získat nějaký přímý (např. epidemiologický) důkaz, že by se nedostatek těchto prvků v pitné vodě mohl projevit na zdraví zásobované populace, když víme, že naprostá převaha jejich denního příjmu pochází z potravin – z pitné vody je to obvykle do 10 % celkového denního příjmu, ale v případě vyššího obsahu Ca nebo Mg ve vodě může podíl vody dosáhnout až 30 %; to však bývají spíše výjimečné případy. Odpověď, možná překvapivá, zní: ano, nízký obsah Ca a Mg v pitné vodě se může negativně projevit na zdraví populace – a to v porovnání s populací zásobovanou tvrdší vodou (ne však nějak mimořádně tvrdou!), u které je příjem obou těchto prvků vodou na úrovni cca 10 % celkového denního příjmu.

Přibližně do 80. let 20. století, bohužel, skoro všechny studie zkoumající vliv tvrdosti vody na zdraví nesledovaly specificky obsah Ca či Mg, ale pouze celkovou tvrdost. Přestože tyto studie poskytovaly konzistentní výsledky ve vztahu ke kardiovaskulárním onemocněním (viz úvod), neumožňovaly hlubší a kauzálnější pohled do studované problematiky, protože každý z prvků (Ca, Mg) má v organismu trochu jinou úlohu, navíc působí i antagonisticky (což se projevuje i při vstřebání, když velký nadbytek jednoho prvku /at/ už ve stravě nebo v pitné vodě/ potlačuje vstřebávání prvku druhého). Zatímco studií zkoumající celkovou tvrdost je řádově stovky, studií sledující samostatně Ca a Mg jsou řádově desítky, těch kvalitních pak nižší desítky.

Dosud nejpodrobnější review studií zkoumajících vztah mezi tvrdostí (Ca, Mg) vody a výskytem kardiovaskulárních chorob zpracoval kolektiv autorů z University of East Anglia v roce 2005 na objednávku anglického regulátora zásobování pitnou vodou (Drinking Water Inspectorate). Review obsáhlo asi dva tisíce studií, včetně více než stovky studií s primárními daty [17]. Následná meta-analýza 14 nejvalidnějších epidemiologických studií přinesla přesvědčivý důkaz o příznivé, ochranné roli hořčíku v pitné vodě proti vzniku kardiovaskulárního onemocnění (KVO), když zjistila statisticky významný obrácený vztah mezi obsahem hořčíku v pitné vodě a úmrtností na KVO (odds ratio OR 0,75; 95%CI 0,68, 0,82;  $p = 0,001$ ) [18]. Převedeno do „obecné řeči“: populace v nejvyšší expoziční kategorii (lidé konzumující pitnou vodu s obsahem hořčíku 8,3–19,4 mg/l) měla o 25 % nižší šanci umřít

na KVO ve srovnání s populací, která konzumovala pitnou vodu s obsahem Mg 2,5–8,2 mg/l. Tento vztah potvrdily i dvě pozdější meta-analýzy [19, 20], které zahrnuly i některé novější epidemiologické studie. Jedna z těchto analýz [20] zjistila statisticky významný vztah nejen pro hořčík, ale také pro vápník (čím více vápníku ve vodě, tím nižší úmrtnost na KVO). Zatím však můžeme pouze konstatovat, že ochranný vliv vodního vápníku vůči KVO je sice možný a pravděpodobný, ale nemůžeme ho považovat za prokázaný.

Vedle nejvíce studovaných KVO existují také studie, které naznačují ochranný vliv vodního vápníku nebo hořčíku vůči dalším onemocněním. Nejvíce se jich zabývá nádorovými onemocněními (nádory různého druhu i lokalizace), ale protože většinou se jedná o studie ekologického typu, které navíc pocházejí převážně ze dvou zemí (Taiwan a Slovensko), nelze zatím tento vztah považovat za epidemiologicky dostatečně prokázaný. Další studie zjistily ochranný vliv vodního vápníku na neurodegenerativní onemocnění, amyotrofickou laterální sklerózu, lomivost kostí či zubní kaz, vodního hořčíku pak na mozkově-cévní choroby, křečové stavy u těhotných žen, vysoký krevní tlak, metabolický syndrom ad. [15]. Těchto studií však je zatím omezený počet, a ne všechny byly udělány podle současných epidemiologických měřítek, takže i zde musíme zatím konstatovat, že tento účinek je možný, dokonce pravděpodobný (vzhledem k známým funkcím Ca a Mg v organismu), ale dosud ne vědecky jednoznačně prokázaný.

Když hovoříme o ochranném účinku v pitné vodě obsaženého Ca či Mg vůči řadě chorob, jak je ho prokazují nebo naznačují zmiňované studie, je nutné zdůraznit, že se nejedná o nějaké minerální vody se zvýšenými obsahy těchto prvků (v řádu stovek nebo dokonce tisíců mg/l), ale o „obyčejné“ pitné vody, kde obsah Ca jen výjimečně převyšuje hodnotu 100 mg/l a obsah Mg jen výjimečně překročí hranici 30 mg/l. Příspěvek těchto vod k celkovému dennímu příjmu obou prvků (ve stravě) se pohybuje obvykle na úrovni cca 10 %, někdy i méně. Jak je vůbec možné, že se mezi populacemi, které se v případě příjmu Ca/Mg z pitné vody (ve vztahu k celkovému příjmu potravou) liší o cca 10 %, tento „nevýznamný rozdíl“ projeví v rozdílné kardiovaskulární úmrtnosti na úrovni 20-25 %? Zřejmě se zde uplatňuje několik mechanismů, jejichž efekt se vzájemně sčítá:

- a) Ca/Mg jsou ve vodě ve volné iontové formě, takže se v zažívacím traktu lépe vstřebávají a pro tělo jsou dále lépe využitelné (bioavailable) než tyto prvky přítomné ve stravě, kde jsou obvykle vázány v komplexních sloučeninách [15].
- b) Vaříme-li potraviny (ze kterých se pak voda slévá jako rýže, brambory, těstoviny, luštěniny či některé druhy zeleniny) v měkké vodě, do vody se z nich vyluhuje více Ca a Mg, než když je vaříme v tvrdší vodě. V případě měkké vody přijímáme tedy méně Ca/Mg nejen vodou, ale i potravou [15].
- c) Řadou nutričních studií bylo prokázáno, že během posledních 100 let nejen klesl obsah hořčíku v některých plodinách, ale v tzv. západním typu stravy, který se vyznačuje vysokým stupněm zpracování, poklesl velmi významně i obsah hořčíku (i vápníku) v již hotových, kulínářsky upravených pokrmech [16]. I když v průmyslově vyspělých zemích se dnes lidé spíše přejídají (jejich energetický příjem je vyšší než potřeba), běžný denní příjem hořčíku ze stravy je u většiny populace nedostatečný, u vápníku se to týká jen některých populačních skupin [9, 16]. V případě hraniční deficience Ca nebo Mg může i relativně nízký příspěvek z pitné vody hrát roli „jazyčku na vahách“, který může zdravotní stav přiklonit na stranu zdraví místo nemoci.

d) Poslední, ale možná ne nevýznamný mechanismus, je na rozdíl od předešlých mechanismů zatím spíše ve stádiu hypotézy, ale její pravdivosti nasvědčuje stále více informací. Voda o nízkém obsahu minerálů je díky nižšímu obsahu hydrogenuhličitanů a nižší pufrovací schopnosti kyselejší a její pravidelný příjem vede k posunu pH vnitřního prostředí organismu do kyselejší oblasti, což má za následek vyšší ztráty vápníku, hořčíku a dalších prvků moči [21], čili podobně jak bylo dokázáno u acidogenní stravy [22, 23]. Dokonce existuje teorie, že za prospěšnými účinky vodního Ca/Mg na zdraví stojí ve skutečnosti obsah hydrogenuhličitanů ve vodě [21].

### Zdravotní riziko vysokého obsahu Ca či Mg v pitné vodě

Naše znalosti o benefitním účinku Ca a Mg v pitné vodě nemohou ale vyústit v požadavek „čím více, tím lépe“, protože každý extrém škodí, esenciální prvky v nadbytku nevyjímaje. Dosud neexistuje žádný důkaz, že by voda s obsahem vápníku do 200 mg/l a hořčíku do 100 mg/l nějak škodila zdraví, nicméně voda s obsahem hořčíku nad 100 mg/l (pokud jsou zároveň přítomné sírany) může způsobit přechodné průjmy (než dojde k adaptaci). V literatuře je z Francie popsán případ kojence, u kterého se vytvořily močové kameny, když mu byla strava připravována z balené minerální vody s obsahem Ca 555 mg/l a Mg 110 mg/l. Vedle toho existuje řada starších sovětských studií, které dokládají, že v populacích zásobovaných pitnou vodou o vysoké tvrdosti (více než 5 mmol/l) je statisticky významný vyšší výskyt žlučových, močových, a dokonce i slinných kamenů, ale také artritid a různých artropatií. Protože se však ve všech případech jednalo o vody, kde byl nejen vyšší obsah Ca a Mg, ale všech rozpuštěných láttek, je otázkou, zda tyto zdravotní problémy má na svědomí vápník, hořčík, jiné ionty nebo (asi nejspíše) vyšší suma všech rozpuštěných láttek [24].

Několik studií zjistilo, že čím je tvrdší voda, tím je v zásobované populaci vyšší výskyt ekzémů u dětí. Už při hodnotách tvrdosti nad 150 mg/l (ekvivalent  $\text{CaCO}_3$ ) vychází rozdíl statisticky významný [25].

### TECHNICKÉ ASPEKTY TVRDOSTI VODY

Různé hodnoty vápníku a hořčíku (tvrdosti) ve vodě ovlivňují významně i její „technické vlastnosti“ čili účinek na materiál potrubí či dalších ploch, se kterými přichází distribuovaná voda do kontaktu, a na různé způsoby užití (mimo požívání či mytí). Voda, která je příliš měkká, je korozivní vůči řadě materiálů, ale zejména vůči ocelovému (ale také měděnému nebo olověnému) potrubí. Paradoxně je vůči materiálům agresivní (korozivní) i voda hodně tvrdá; z hlediska zdravotního je zde největším rizikem koroze olověného nebo měděného potrubí, protože spotřebitel pak může díky domovnímu rozvodu přijímat již toxicke hodnoty, i když dodávaná voda je v pořádku. Dalším problémem, který způsobuje tvrdá voda (resp. voda, která není ve vápenato-uhličitanové rovnováze), je tvorba vodního kamene, zejména v ohřívačích, výměnicích a potrubích teplé vody (popř. v pozinkovaném potrubí pitné vody ve vnitřním vodovodu), spotřebitel si pak nejčastěji všimne stop vodního kamene ve varné konvici, na sklenicích nebo na sanitární keramice či kohoutku. Tyto na první pohled patrné, byť svým dopadem triviální jevy vadí často spotřebitelům nejvíce, podobně jako povlak na čaji nebo kávě (je však pravda, čaj nebo káva uvařené z měkké vody chutnají obvykle lépe) [26].

Nepřímý negativní dopad tvrdé vody na životní prostředí – ale i vyšší ekonomický dopad na odběratele – spočívá pak ve vyšší spotřebě mýdla a čistících chemikálií (např. detergentů), které je potřeba použít k dosažení stejněho čistícího/pracího efektu jako u měkké vody. S tvrdší vodou se pojí i vyšší frekvence instalací domácích změkčovačů vody (obvykle na bázi iontové výměny), které je nutno pravidelně regenerovat kuchyňskou solí a solanku pak vypouštět do odpadních vod – i to má dopady na životní prostředí. Vyšší

dopady jak na životní prostředí, tak na náklady odběratelů má také vyšší spotřeba energie, kterou je potřeba vynaložit v ohřívačích (výměnících) zanesených vodním kamenem [26].

Pokud má zdroj surové vody velmi nízký obsah vápníku a hořčíku a je využit pro centrální zásobování, přistupuje výrobce vody často k tzv. stabilizaci, a to i v podmínkách ČR. Pro tento účel se obvykle používá filtrace přes mramorovou drť nebo dávkování různých vápenatých soli či oxidu vápníku (spolu s oxidem uhličitým nebo kyselinou sírovou). Někteří provozovatelé však řeší korozivitu vody místo stabilizace přidáním fosforečnanů. Naopak je-li voda příliš tvrdá, v podmínkách ČR se k její úpravě (změkčení) přistupuje na centrální úrovni jen výjimečně a pokud už, tak v podstatě jen u velmi malých zdrojů, většinou pomocí iontové výměny, vzácněji pomocí membránové úpravy (RO).

V řadě zemí (např. Nizozemí, Belgii, Francii, Dánsku, Německu, USA ad.) je však centrální změkčování tvrdé či středně tvrdé vody zcela běžné, protože se tím vychází vstříc potřebám odběratelům, včetně jejich ekonomických nákladů, protože společenské náklady na decentralizované změkčování a vyšší spotřebu chemických čistících látek jsou mnohem vyšší než náklady na centrální změkčování vody. Důvody jsou však také zdravotní (snížení koroze olověného a měděného potrubí a tím nižší koncentrace Pb a Cu nejen v pitné vodě, ale i ve vyčištěné odpadní vodě vypouštěné do přirodních toků) a ekologické [26, 28].

Pro centrální změkčování se používají dnes v podstatě tři technologie: 1. Peletové změkčení (pellet softening) pomocí hydroxidu sodného nebo vápenatého. 2. Nanofiltrace (část vody se částečně odsolí a pak se smíchá s neupravenou vodou ve vhodném poměru). 3. Technologie CARIX (Carbon Dioxide Regenerated Ion Exchange), která může pracovat jak v módu pouhého změkčení (pak obsahuje jen slabě kyselý katex  $/H^+$ ), tak v módu částečného odsolení (pak vedle katexu obsahuje i silně zásaditý anex  $/HCO_3^-$ ) [27]. Pro decentralizované změkčování v domácnostech se používá iontová výměna s regenerací solí, membrány (RO), dávkování fosforečnanů nebo (elektro)magnetická úprava, jejíž účinnost je však nejistá, a i když zabrání vzniku vodního kamene, ukazuje se, že se nesnižuje potřeba mýdla a čistících chemikálií při praní/čištění [27]. Náklady na centrální změkčování jsou v západní Evropě vyčísleny na 0,15–0,20 USD (okolo 4 Kč) na  $m^3$  upravené vody, zatímco náklady na změkčování v domácnosti na sedmi až deseti násobek [24, 27]. Publikace Tangové a kol. [27] obsahuje užitečný přehled jednotlivých technologií co do mechanismu účinku, účinnosti, možností použití, nároků na obsluhu a údržbu, spotřeby vody, nákladů apod.

Na okraj technických vlivů poznamenejme, že vápník a hořčík jsou velmi důležité i pro to, aby voda měla příjemnou chuť, protože jak vodu příliš měkkou, tak příliš tvrdou vnímá část spotřebitelů jako nepříjemnou [28].

## JAKÝ BY MĚL BÝT OBSAH VÁPNÍKU A HOŘČÍKU V PITNÉ VODĚ?

Poznatky o tom, že voda s příliš nízkým nebo naopak vysokým obsahem Ca a Mg není ze zdravotního hlediska příliš vhodná, vedou k přirozené otázce, jaký obsah v pitné vodě je tedy ze zdravotního hlediska potřebný, žádoucí či optimální? Těch odhadů a doporučení neexistuje mnoho a nejsou ani významně odlišné.

Při stanovení potřebného minima lze vyjít od hodnoty hořčíku – ukazuje se, že hranice, při které se začíná vliv na kardiovaskulární onemocnění výrazněji projevovat, je asi 8–10 mg/l [29], což lze prakticky zaokrouhlit na 10 mg/l. Dále víme, že Ca a Mg jsou antagonisté, do určité míry si vzájemně konkuruje o vazebná místa při vstřebání a proto nadbytek jednoho omezuje vstřebávání druhého – za ideální hmotnostní poměr příjmu (ale

i obsahu ve stravě a pitné vodě) se proto považuje 1 (Mg) 2–3 (Ca) [15]. Z toho lze odvodit minimální žádoucí obsah vápníku v pitné vodě ve výši 20–30 mg/l a ze součtu obou těchto hodnot Mg a Ca pak minimální hodnotu celkové tvrdosti cca 0,9–1,2 mmol/l.

Minimum však není to samé, co optimum, za které se musí považovat koncentrační oblast, při které je výskyt pozorovaného negativního zdravotního účinku/jevu (resp. různých druhů účinků!) nejnižší. Zde nám ze studií vycházejí hodnoty cca na úrovni dvoj- až trojnásobku minima čili pro hořčík 20–30 mg/l a pro vápník 40–80 mg/l [29], přičemž přihlížíme zároveň ke studiím, které zkoumaly optimum nikoliv selektivně pro jednotlivé prvky, ale pro jejich sumu vyjádřenou jako rozpuštěné látky. U nich vychází jako optimální rozmezí 150–400 mg/l (resp. do 500 mg/l) [30]. I když složení každé přírodní vody je unikátní, většinově platí, že s rostoucím obsahem Ca nebo Mg roste také obsah celkových rozpuštěných látek. Proto je při odhadu optimálních koncentrací pro Ca nebo Mg nutné přihlížet k obsahu rozpuštěných látek (RL), které jako celek hrají také důležitou zdravotní roli. Přehled minimálních a optimálních koncentrací vápníku, hořčíku a rozpuštěných látek (RL) uvádí následující tabulka (tab. 1).

**Tab. 1. Přehled doporučených minimálních a optimálních (popř. maximálních) koncentrací vápníku, hořčíku a rozpuštěných látek v pitné vodě ze zdravotního hlediska. Toto doporučení neplatí pro remineralizaci zcela odsolené vody**

	Jednotky	Minimum	Optimum	Maximum
<b>Hořčík</b>	mg/l	10	20–30	*
<b>Vápník</b>	mg/l	20–30	40–80	*
<b><math>\Sigma \text{Ca} + \text{Mg}</math></b>	mmol/l	0,9–1,2	1,8–3,1	5
<b>Rozpuštěné látky</b>	mg/l	100	150–400	1000

\*Jak již bylo řečeno výše, maximální přijatelné koncentrace Ca či Mg v pitné vodě z hlediska zdravotního lze obtížně stanovit kvůli souběžnému výskytu dalších iontů v (tvrdší) vodě. Orientačně si můžeme uvést u hořčíku hranici 80–100 mg/l a u vápníku asi 200 mg/l (vyšší koncentrace už nevýhodí některé spotřebitelé ani chut'ově příjemně). Spolehlivější je však v tomto případě suma obou prvků a hranice 5 mmol/l.

Pokud by pitná voda byla distribuována jen jako balená, nedělaly by ani uvedené maximální koncentrace nějaké problémy. Pitná voda se však v naprosté většině rozvádí ke spotřebitelům potrubím a používá se nejen na pití a vaření, ale i k mnoha dalším účelům v domácnosti (ohřev teplé vody, osobní hygiena, praní prádla, mytí nádobí ad.), nemluvě o odběratelích v oblasti průmyslu. Z těchto převážně technických hledisek se však jako optimální i přípustný maximální jeví obsah Ca a Mg mnohem nižší než z hlediska zdravotního. Moderní vodárenství deklaruje, že jeho úkolem už není pouze výroba a dodávka zdravotně nezávadné pitné vody, ale také spokojenost zákazníků, kteří dodávanou vodu používají převážně k jiným účelům než k pití a vaření [31].

Jaké hodnoty tvrdosti vody se jeví jako potřebné či žádoucí z hlediska těchto jiných účelů? Z hlediska ochrany potrubí proti korozii se uvádí pro vápník hodnota nejméně 0,5 mmol/l (20 mg/l) [32]. U těch ostatních hledisek (užití vody v domácnosti) se v současné době k nalezení optima používá vedle celkové tvrdosti technický ukazatel CCPP (calcium carbonate precipitation potential při 90 °C) [27], resp. PCCP (practical calcium carbonate precipitation) [31]. Jestliže je PCCP vyšší než 0,6 mmol/l vápníku, spotřebitelé již budou mít problémy s tvorbou vodního kamene, pokud bude hodnota PCCP vyšší než 1 mmol/l, hodnotí se tyto problémy jako vážné. Snahou vodárenských společností, které se jako prioritou řídí spokojeností zákazníků, je mít celkovou tvrdost vody v rozmezí cca 0,7–2,0 mmol/l, v případě centrálního zmékčování cíl na hodnotu okolo 1,3–1,5 mmol/l) [26,27,31], někdy i méně – např. v Nizozemí, kde se ve zmékčované vodě vyžaduje minimální tvrdost 1,0 mmol/l (s poznámkou, že by se při zmékčování neměl odstraňovat hořčík) [13], usilují některé vodárenské společnosti o prolomení a snížení této hranice.

## ZÁVĚRY

Pitná voda dodávaná potrubím svým odběratelům by měla co možná nejlépe splňovat očekávání (požadavky) jak zdravotní, tak technické, protože se užívá nejen k pití a vaření (to velmi menšinově), ale i k celé řadě dalších základních účelů v domácnosti.

Požadavek na minimum, optimum či maximum obsahu Ca a Mg z hlediska zdravotního se ale nekryje s hlediskem či požadavkem technickým. Ani jedno hledisko by však nemělo zcela převážit, ale je nutné mezi nimi hledat kompromis.

Jak jsme si již uvedli výše, pitná voda s velmi nízkým obsahem Mg a Ca má velmi nepříznivý zdravotní dopad na spotřebitele, kteří ji pravidelně konzumují. Vzhledem k účinkům na kardiovaskulární systém, jehož onemocnění patří (nejen) v ČR k nejrozšířenějším a jsou na prvním místě co do příčin úmrtí, a vzhledem k tomu, že pitná voda má v ČR hořčíku spíše nedostatek (70 % zásobované populace má obsah Mg v pitné vodě do 10 mg/l [33]), si dovoluji tvrdit, že nízký obsah Mg/Ca v pitné vodě má v ČR mnohonásobně vyšší negativní zdravotní dopad na veřejné zdraví než účinek všech ve vodě obsažených toxických látek dohromady. Přestože výrobci vody za nízký obsah Ca/Mg ve vodě nemohou, protože se jedná primárně o přírodní jev, vzhledem ke zdravotnímu významu obou prvků by měli v rámci svých možností usilovat o jejich optimální nebo aspoň minimální žádoucí obsah.

A jaké možnosti se jim nabízejí? Mohou-li využívat více zdrojů, měli by dát přednost těm s optimálním obsahem Ca/Mg.<sup>1</sup> Pokud musí vodu stabilizovat, měli by k tomu použít nejen soli (filtrační materiál) vápníku, ale i hořčíku (podle zásady „u měkké vody každý miligram Mg navíc dobrý“).

Pokud vodu upravují pomocí membrán či iontoměničů, měli by zajistit, aby ve vodě zůstal optimální nebo aspoň minimální obsah Ca/Mg. Otázkou je, zda by výrobci pitné vody měli – tam, kde je opravdu velmi nízký obsah Ca/Mg – spotřebitele na tuto skutečnost výslově a aktivně upozornit (např. na webu, kde informují o kvalitě dodávané vody) a poučit, jak mohou tento nedostatek kompenzovat (balená voda s vyšším obsahem Mg/Ca; při vaření použít špetku hořčnaté soli) nebo aspoň nezhoršovat (nepoužívat domácí filtry snižující obsah těchto prvků, vyhnout se konzumaci balených vod s nízkým obsahem Ca/Mg).

SZÚ chystá informační leták pro širokou veřejnost o významu obsahu Ca/Mg v pitné vodě a co dělat při jejich nízkém nebo vysokém obsahu.

Na okraj popisu možností o zajištění optimálního či minimálního obsahu Ca/Mg v pitné vodě považuji za nutné upozornit na následující. Nejen v zahraničí (v místech se skutečným nedostatkem sladkovodních zdrojů), ale i u nás se v posledních letech objevují snahy vyrábět „super“ nebo aspoň „normální“ pitnou vodu prostou všech kontaminant. Jejich podstatou je bud' kondenzace vody ze vzduchu nebo výroba demineralizované vody pomocí membrán (RO) nebo jiných technických prostředků. Dostáváme tím skoro ultračistou vodu nevhodnou jak k distribuci potrubím, tak k pravidelné konzumaci, kterou je nutné remineralizovat – ale čím a jak (kolik)?

<sup>1</sup> Státní zdravotní ústav dělal před několika lety odborný posudek pro jedno menší město, které řešilo budoucnost místních zdrojů vody, které byly díky staré průmyslové záťaze znečištěny organickými látkami TCE a PCE. Po úpravě byly sice hodnoty těchto látek v rámci limitu, ale vzhledem k bezpřehovému účinku těchto látek bylo při hodnocení zdravotních rizik vypočteno, že expozice těmto látkám z pitné vody může způsobit v dané populaci asi jeden případ nadbytečného nádorového onemocnění za 25 let. Proto město uvažovalo o přepojení na nedalekou vodárenskou soustavu s kvalitní podzemní vodou, která však měla mnohem nižší obsah vápníku a hořčíku. SZÚ spočítal, že změna zdroje vody by v dané populaci zvýšila pravděpodobnost úmrtí na KVO o několik případů ročně, což by mnohonásobně (cca 100x) převýšilo zdravotní riziko z kontaminace TCE/PCE. Proto se město rozhodlo nadále používat své zdroje vody.

Na tuto otázku dosud neznáme (z hlediska zdravotního) vědecky podloženou odpověď. Všechny studie, které zde byly nepřímo zmíněny a na jejichž základě byly odvozeny minimální či optimální koncentrace Ca/Mg/RL, byly dělány na přirozených sladkých vodách, které jsou složitou směsí ve vodě rozpuštěných plynů a minerálních látek a které fyziologicky působí (na lidský organismus) jako celek. Sledovaný vápník, hořčík, jejich suma či rozpuštěné látky jsou jen vybranými indikátory této směsi, ale nepopisují dostatečně její celkové vlastnosti. Nelze se v žádném případě domnívat, že pouhým přidáním (do čisté H<sub>2</sub>O) solí Ca/Mg ve zde doporučeném množství získáme stejně kvalitní a bezpečnou vodu jako je pitná voda vyrobená ze sladkovodního zdroje. Takové vodě bude totiž stále ještě něco chybět [21].

Pokud bychom dali při veřejném zásobování jednostranně přednost hledisku zdravotnímu (tedy vodě tvrdší), najde se celá řada spotřebitelů, kteří si budou doma vodu změkčovat ne zcela ideálním způsobem (z vody odstraní většinu Ca/Mg a zvýší obsah sodíku, což u nich povede k vyššímu krevnímu tlaku, vyšší úmrtnosti na KVO a dalším zdravotním problémům), což se nakonec ukáže jako kontraproduktivní i z hlediska zdravotního. Výrobce pitné vody proto musí dnes brát v úvahu do určité míry i hledisko spokojenosti zákazníků, přičemž v případě vyšší tvrdosti vody zdaleka nejde jen o hledisko estetické (skvrny na skle apod.), ale také o nezanedbatelné hledisko finanční a dopad na životní prostředí: vyšší spotřeba mýdla, detergentů a dalších pracích/cistících prostředků, vyšší spotřeba energie na ohřev vody, vyšší náklady na čištění nebo častější výměnu ohříváčů vody a dalších domácích spotřebičů, vyšší uvolňování některých nežádoucích prvků a látek do životního prostředí. Mimochodem, z našeho průzkumu způsobu řešení stížností zákazníků mezi českými provozovateli vodovodů (viz přednáška J. Paula na této konferenci) vyplynulo, že stížnosti na tvrdost vody jsou zdaleka nejčastější.

Z uvedených důvodů mnoho výrobců pitné vody v západní Evropě, USA i jiných zemích stále častěji hovoří o společenské odpovědnosti a na základě společenské cost-benefit analýzy (SCBA) přistupuje k investicím do centrálního změkčování vody. Jedna z analýz SCBA provedená v Nizozemí ukázala, že při změkčení vody z 2,5 na 1,5 mmol/l ušetří každá domácnost (které se přirozeně vyšší náklady na úpravu vody promítou do ceny vody) za rok téměř 20 EUR [31], přičemž v této částce nejsou zahrnutý přímé či nepřímé škody na životním prostředí.

I když jsem nikdy nebyl zastáncem změkčování pitné vody, jsem realista a vnímám také důležitost technických vlastností vody pro různé domácí účely (včetně osobní hygieny – viz vyšší výskyt ekzémů u dětí v místech s tvrdou vodou), které se promítají do (ne)spokojenosti odběratelů a mají i dopad na životní prostředí. Proto se tímto příspěvkem obracím na zástupce českého vodárenství (i na jednotlivé provozovatele, samozřejmě), aby se začali touto problematikou odborně zabývat, aby si potřebné know-how nemusel hledat každý jednotlivý provozovatel, kterého se problém vyšší tvrdosti vody týká. Pokud je v některém vodovodu tvrdost vody (obsah Ca/Mg) nad horní hranicí doporučeného optimálního rozmezí a provozovatel se rozhodne o změkčování vody do úrovně optima, hygienické orgány mu v tom rozhodně nebudou bránit.

Klíčovou otázkou bude v tomto případě zvolená technologie změkčování. Z hlediska tvorby vodního kamene je podstatně závadnější vápník než hořčík, neboť většina vápenatých solí je méně rozpustná než odpovídající soli hořečnaté (usazeniny jsou tvořeny především uhličitanem vápenatým) [34]. Bohužel mnoho vod v ČR má vysoký obsah vápníku při současném nízkém obsahu hořčíku. U těchto vod by nasazení technologie neselektivně snižující obsah obou prvků bylo ze zdravotního hlediska nevhodné a nežádoucí, vzhledem ke klíčové zdravotní roli hořčíku. Proto by se zde musela použít technologie peletového změkčování, která odstraňuje selektivně vápník a obsah hořčíku nechává prakticky beze změny („odpadním“ či vedlejším produktem úpravy je materiál využitelný ve stavebnictví;

tato technologie je i po jiných stránkách k životnímu prostředí nejšetrnější). Jsem si však vědom, že tato technologie není použitelná pro malé úpravny vody. Při použití iontoměničů – tam, kde je možné o něco snížit koncentraci obou prvků – je ze zdravotního hlediska nutné preferovat iontoměniče (katexy) pracující ve vodíkovém, ne sodíkovém cyklu.

Měl-li bych shrnout poselství tohoto příspěvku, pak bych řekl, že kvůli novým kontaminantům (emerging pollutants), počínaje pesticidy a PFASy či léčivy nekonče, jsme zapomněli na „chemickou vodní (přírodní) klasiku“ jakou je obsah vápníku a hořčíku. Zapomněli jsme sledovat (a do vodárenství promítat) vývoj poznatků o jejich zdravotní důležitosti i technických rizicích. Náprava tohoto zanedbání je novou výzvou pro české vodárenství.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu „Improvement of health status of population of the Slovak Republic through drinking water re-carbonization“, podporovaného z finančního nástroje LIFE Environment and Resource Efficiency (LIFE17 ENV/SK/000036). Vznik příspěvku byl rovněž podpořen v rámci MZ ČR – RVO (Státní zdravotní ústav – SZÚ, IČ 75010330).

## SEZNAM LITERATURY

1. Anonym: Der Wasserconsum Londons im Jahre 1869/70 (Spotřeba vody v Londýně v letech 1869/70). Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1971, 14(11), 403-405.
2. Thresh J.C.: Hard v. soft water. The Lancet 1913, 182(4702), 1057–1058.
3. Kobayashi J.: On geographical relationship between the chemical nature of river water and death rate from apoplexy. Berichte des Ohara Instituts für landwirtschaftliche Biologie Okyama University 1957, 11, 12-21.
4. Calderon R.L., Craun G.F.: Water hardness and cardiovascular disease: review of the epidemiological studies, 1957-78. In: Nutrients in Drinking Water, str. 116-126, WHO, Geneva 2005.
5. WHO: Guidelines for Drinking-water Quality. 2nd. ed. Vol. 1. Recommendations. Geneva, 1993.
6. WHO: Guidelines for Drinking-water Quality. 2nd. ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Geneva, 1996.
7. WHO: Guidelines for Drinking-water Quality. 4th. ed. incorporating the first and second addenda. Geneva, 2022. Dostupné on-line: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
8. WHO: Nutrients in Drinking Water. WHO, Geneva 2005; 198 s. Dostupné on-line: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43403>
9. Cotruvo J., Bartram J. (eds.): Calcium and Magnesium in Drinking-water. Public health significance. WHO, Geneva 2009; 180 s. Dostupné on-line: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241563550>
10. Shlezinger M., Amitai Y., Goldenberg I., Shechter M.: Desalinated seawater supply and all-cause mortality in hospitalized acute myocardial infarction patients from the Acute Coronary Syndrome Israeli Survey 2002–2013. Int. J. Cardiol. 2016, 220, 544–550. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.06.241>.
11. Shlezinger M., Amitai Y., Akriv A., Gabay H., Shechter M., Leventer-Roberts M.: Association between exposure to desalinated sea water and ischemic heart disease, diabetes mellitus and colorectal cancer; A population-based study in Israel. Environ. Res. 2018, 166, 620–627. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.06.053>.
12. Kožšek F.: Biologická (biogenní) hodnota pitné vody a její historie v České republice. SZÚ, Praha 2008. Dostupné on-line: <http://szu.cz/tema/zivotni-prostredi/kvalita-vody/biologicka-biogenni-hodnota-pitne-vody>

13. Kozisek F.: Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2020, 112, 104589; <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104589>.
14. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/2184 ze dne 16. prosince 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě (přepracované znění).
15. Rosborg I., Kozisek F. (eds.): *Drinking Water Minerals and Mineral Balance. Importance, Health Significance, Safety Precautions.* 2nd ed. Springer International Publishing, London 2020, DOI 10.1007/978-3-030-18034-8, ISBN-978-3-030-18033-1.)
16. Foster R.A.: Magnesium missing in drinking water – a persistent link to cardiovascular disease? A dissertation. 101 pp. Hawthorn University, 2020.
17. UoEA (University of East Anglia), DWI (Drinking Water Inspectorate): Review of evidence for relationship between incidence of cardiovascular disease and water hardness. Final report, Norwich – London, 2005. Dostupné on-line: [http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70\\_2\\_176\\_water\\_hardness.pdf](http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70_2_176_water_hardness.pdf)
18. Catling L.A., Abubakar I., Lake I.R., Swift L., Hunter P.R.: A systematic review of analytical observational studies investigating the association between cardiovascular disease and drinking water hardness. *J. Water Health*, 2008, 6 (4), 433–442.
19. Jiang L., He P., Chen J., Liu Y., Liu D., Qin G., Tan N., 2016. Magnesium levels in drinking water and coronary heart disease mortality risk: a meta-analysis. *Nutrients*, 8 (1), 5.
20. Gianfredi V., Bragazzi N.L., Nucci D., Villarini M., Moretti M.: Cardiovascular diseases and hard drinking waters: implications from a systematic review with metaanalysis of case-control studies. *J. Water Health*, 2017, 15 (1), 31–40.
21. Rylander R.: Drinking water constituents and disease. *J. Nutr.*, 2008, 138: 423S–425S.
22. Remer T.: Influence of diet on acid-base balance. *Sem. Dialysis*, 2000, 13(4): 221-226.
23. Remer T., Dimitriou T., Manz F.: Dietary potential renal acid load and renal net acid excretion in healthy, free-living children and adolescents. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2003, 77(5): 1255-60.
24. Kožíšek F.: Zdravotní rizika pitné vody s vysokým obsahem rozpuštěných látek (atestační práce). IPVZ, Praha 2008, 36 s. Dostupné on-line: <http://szu.cz/tema/zivotni-prostredi/kvalita-vody/zdravotni-rizika-pitne-vody-s-vysokym-obsahem-rozpustenych>
25. Chaumont A., Voisin C., Sardella A., Bernard A.: Interactions between domestic water hardness, infant swimming and atopy in the development of childhood eczema. *Environ. Res.*, 2012, 116:52–57.
26. Regunathan P. Water production, technical issues and economics. In: Cotruvo J., Bartram J. (eds): *Calcium and Magnesium in Drinking-water. Public health significance.* WHO, Geneva 2009; s. 154-165.
27. Tang C., Merks C.W.A.M., Albrechtsen H.-J.: Water softeners add comfort and consume water – comparison of selected centralised and decentralised softening technologies. *Water Supply*, 2019, 19(7): 2088-2097.
28. Dietrich A.M., Devesa R.: Characterization and removal of minerals that cause taste. In: Lin T.F., Watson S., Dietrich A.M., Suffet I.H. (eds.): *Taste and Odour in Source and Drinking Water. Causes, controls, and consequences.* IWA, London 2019; s. 245-280.
29. Kozisek F.: Health risks from drinking demineralised water. In: *Nutrients in Drinking Water.* WHO, Geneva 2005; p. 148–163.
30. Kožíšek F.: Zdravotní rizika vody o vyšším obsahu minerálních látek. In: *Sborník ze semináře „Balená voda – zdravotní a hygienická hlediska, VII.ročník“* (Praha, 4.10.2005). Vydala ČTVHS, Praha 2005; str. 101-132.
31. Groenendijk M., van de Wetering S., van Nieuwnhuize R.: Central water softening: customer comfort relevant in new WHO view. *Wat. Sci. Technol.*, 2008, 8 (1): 69-74.
32. TNV 75 7121 Požadavky na jakost vody doprovázané potrubím při teplotě do 25°C. Červen 2010.
33. Státní zdravotní ústav: *Zpráva o kvalitě pitné vody v ČR za rok 2020.* SZÚ, Praha 2021, 92 s. Dostupné online: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/monit/voda\\_2020.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/monit/voda_2020.pdf)
34. Pitter P.: *Hydrochemie.* 5. vyd. VŠCHT, Praha 2015.

# **POLOPREVÁDZKOVÉ SKÚŠKY STVRDZOVARIA VODY V UV TATRANSKÁ LESNÁ**

**prof. Ing. Ján ILAVSKÝ, Ph.D., prof. Ing. Danka BARLOKOVÁ, Ph.D.**

Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, SvF STU Bratislava,  
Radlinského 11, 810 05 Bratislava  
E-mail: [jan.ilavsky@stuba.sk](mailto:jan.ilavsky@stuba.sk)

## **ÚVOD**

Na Slovensku v závislosti od hydrogeologického podložia, kde dochádza k formovaniu podzemných a povrchových vôd sú oblasti, ktoré sú tvorené horninami magmatického pôvodu, chudobné na obsah vápnika a horčíka. Takýmito oblastami je napríklad celá oblasť Vysokých Tatier, Stredné Slovensko medzi Zvolenom a Tisovcom, Slovenské Rudohorie a Severovýchodná časť Východného Slovenska. V týchto oblastiach sú vybudované aj veľké zdroje povrchových vôd VN Turček, Hriňová, Málinec, Klenovec, Bukovec, Starina, ale sú tu využívané aj miestne zdroje povrchových a podzemných vôd.

V tabuľke (tab.1) sú uvedené limitné hodnoty pre súčet Ca a Mg v pitných vodách na Slovensku (Vyhláška MZ SR č.247/2017) a v Českej republike (Vyhláška MZ ČR č. 252/2004 Sb.).

**Tab. 1. Hodnoty Ca a Mg pre pitné vody**

<b>Parameter</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Slovenská republika</b>		<b>Česká republika</b>	
		<b>MH</b>	<b>OH</b>	<b>MH</b>	<b>DH</b>
<b>Ca + Mg</b>	<b>mmol/l</b>	-	1,1–5,0		2,0–3,5
<b>Ca</b>	<b>mg/l</b>	-	nad 30	30	40–80
<b>Mg</b>	<b>mg/l</b>	125	10–30	10	20–30

## **Vplyv vápnika a horčíka na ľudské zdravie**

Vápnik a horčík sú potrebné pre zdravý rast a ochranu kostí pred odvápnnením, znižujú nervovo-svalovú dráždivosť, stres, únavu, podporujú imunitu a ovplyvňujú zrážanie krvi. WHO vydala v roku 2009 materiál Calcium and magnesium in drinking water – Public health significance zaobrajúci sa významom vápnika a horčíka pre ľudské zdravie, faktormi, ktoré ovplyvňujú obsah vápnika a horčíka vo vodách (napr. minerálne zloženie vody) atď. [1]. Z materiálu vyplýva dôležitosť vápnika a horčíka pre ľudské zdravie. Organizmus si ich nevie sám vytvoriť, musia sa dodávať nápojmi a potravou. Odporúčaná denná dávka je 1000 mg/deň pre populáciu mladistvých (11-17 rokov) mužov alebo 800 mg/deň u mladistvých žien a 800 mg/deň pre dospelú populáciu.

Pri dlhodobom nedostatočnom príjme vápnika môže dôjsť k postupnému rednutiu kostí, bolestiam kĺbov, čo môže vyústiť do osteoporózy a zvýšenej lámavosti kostí. Nedostatok vápnika sa prejavuje bolesťami hlavy, migrénou, lámavosťou nechtor, môžu vznikať ekzémy. Pri dlhodobe nadbytočnom prísune vápnika, hlavne vo forme umelých preparátov s nadmerným obsahom vápnika, môže dôjsť k tvorbe močových alebo obličkových kameňov, k zrýchlenému vápenateniu ciev, a to hlavne vtedy, ak nie je súčasne podávaný aj vitamín D.

Magnézium spoločne s voľným vápnikom  $\text{Ca}^{2+}$  predstavuje jeden z hlavných regulátorov svalovej kontrakcie, vrátane napäťia hladkého svalstva, pričom jeho nedostatok môže viest' ku kŕcom, búšeniu srdca, vysokému tlaku, nervozite, poruchám spánku a nesprávnemu fungovaniu nervového systému či žlaz s vnútorným vylučovaním (zažívací trakt, obličky, štítna žľaza). Nadbytok horčíka je v organizme mimoriadne zriedkavý, ked'že sa veľmi ľahko vylučuje močom.

Zdravotný význam vápnika a horčíka by mal byť zohľadňovaný už pri výbere vodného zdroja na zásobovanie pitnou vodou (zdravotný význam by mal byť uprednostnený pred hľadiskom technickým). Zo zdravotného hľadiska dávame prednosť tvrdšej vode. Statisticky bolo zistené, že v oblastiach, kde pitná voda obsahuje vyššiu koncentráciu vápnika a horčíka sa u obyvateľstva vyskytuje menej kardiovaskulárnych ochorení a rizika náhleho úmrtia na kardiovaskulárne ochorenia [2].

### **Vplyv vápnika a horčíka na vodovodnú sieť a technologické procesy**

Nízko mineralizované vody sú veľmi korozívne na stavebné betónové prvky vodojemov, ako aj na rozvodné potrubie. V dôsledku agresivity vody dochádza v distribučnej sieti vplyvom korózie vodovodného potrubia k zhoršovaniu kvality pitnej vody, najmä jej senzorických vlastností.

Z technického hľadiska nie je vhodná ani veľmi mäkká voda, ani voda tvrdá, ktorá zase znižuje životnosť potrubí a nádrží tvorbou inkrustácií. V závislosti na interakcii s inými faktormi, ako napr. pH a alkalita, spôsobuje inkrustáciu voda s tvrdosťou (ako ekvivalent  $\text{CaCO}_3$ ) nad 200 mg/l [3]. Vzniku vápenatých inkrustácií možno do značnej miery predchádzať stabilizáciou vody (dosiahnutím vápenato-uhličitanovej rovnováhy) už pri jej úprave.

Na eliminovanie agresivity vody a súčasne aj na zlepšenie jej kvality (predovšetkým na zvýšenie obsahu biogénnych prvkov ako je vápnik a horčík), je potrebné vodu upravovať. Na jej rekarbonizáciu je možné použiť technologické postupy: stvrdzovanie vápnom a oxidom uhličitým, uhličitanmi a oxidom uhličitým alebo silnými kyselinami alebo stvrdzovanie s PVD a oxidom uhličitým [4]. Výhodnejšie je využiť metódy, ktoré využívajú reakciu medzi oxidom uhličitým a vápnom alebo oxidu uhličitého s polovypáleným dolomitom. Pri tejto technológií je možné dosahovať (na základe laboratórnych skúšok) v rekarbonizovanej vode požadovanú hodnotu  $\text{KNK}_{4,5}$  1,2 mmol/l. Zároveň použitím PVD sa bude zvyšovať obsah horčíka v upravovanej vode.

Zo zdravotného hľadiska možno zdôvodniť zmäkčovanie len takej vody, ktorá svojím obsahom vápnika a horčíka výrazne presahuje odporúčanú hornú hranicu tvrdosti (5 mmol/l), a nie je k dispozícii iný vhodný zdroj vody. K zmäkčovaniu však musí, byť použitá taká technológia, ktorá zachová optimálny obsah vápnika, horčíka, príp. ďalších esenciálnych prvkov nachádzajúcich sa vo vode, a nebude zdrojom iných cudzorodých látok vo vode. K znižovaniu tvrdosti sa používa destilácia, membránové technológie, iónová výmena, zrážanie dávkovaním rôznych zlúčení (vápna, vápna a sódy, hydroxidu sodného a sódy, fosforečnanov).

K obmedzení účinkov tvrdosti vody potom magnetická úprava a opäť dávkovanie tzv. inhibítorgoróz (polyfosforečnany, fosforečnany, kremičitan, atď.). Z uvedených technológií destilácia, deionizácia, reverzná osmóza a nanofiltrácia produkujú vodu prakticky zbavenú všetkých minerálov, ktorá nemá charakter pitnej vody a nie je vhodná pre trvalú spotrebu. Negatívne účinky mäkkej vody tu môžu byť najvýraznejšie (pri pravidelnej konzumácii tejto vody môže dôjsť k narušeniu normálneho metabolismu niektorých minerálnych látok) [2].

ÚV Tatranská Lesná (obr. 1) vyrába pitnú vodu z povrchovej vody pre spotrebiská Tatranská Lomnica a Stará Lesná. Surová voda zo Studeného potoka je privedená do troch otvorených pieskových filtrov DN 3500. Výška pieskovej náplne dosahuje 1,30 m. Voda v pieskových filtroch prúdi zhora nadol. V prípade prítoku, ktorý presahuje kapacitný prietok filtra alebo pri jeho zakolmatovaní, prebytočná voda začne prepadať do prelivového žľabu, ktorý je napojený na odtokové potrubie. Žľab zároveň slúži pri praní filtra na odvádzanie pracej vody. V tomto prípade prúdi voda vo filtri zdola nahor.

Z pieskových filtrov je voda privedená do dvoch odkysľovacích nádrží. V súčasnosti proces odkysľovania v ÚV neprebieha. Nádrže slúžia ako vodojemy spolu s dvomi akumulačnými nádržami s objemom 50 m<sup>3</sup>, v ktorých je upravená voda hygienicky zabezpečená chlórnanom sodným. Projektovaný výkon úpravne je 20,0 l/s, v súčasnosti sa odoberá 14 l/s.



**Obr. 1. ÚV Tatranská Lesná**

Na základe výsledkov rozborov kvality surovej vody pre vybrané ukazovatele za rok 2020 vyplýva, že ide o vodu s veľmi nízkym obsahom minerálnych látok a oxidu uhličitého. Počas roka sa teplota vody pohybuje v intervale 2,2 až 7,9 °C, koncentrácia vápnika 3,0 až 5,6 mg/l, horčíka 0,49 až 2,4 mg/l, súčet Ca + Mg je v intervale 0,12 až 0,2 mmol/l a vodivosť 2,5 až 3,9 mS/m.

### **Experimentálna časť'**

Experimenty boli zamerané na obohacovanie vody o vápnik a horčík do upravenej vody v ÚV Tatranská Lesná:

- 1) dávkovaním plynného CO<sub>2</sub> a filtráciou cez polovypálený dolomit (PVD),
- 2) dávkovaním síranu horečnatého (1% roztok) a vápna (3,5% roztok).

Experimenty sa uskutočnili v poloprevádzkovom modeli, ktorý pozostával z dvoch rovnakých kolón z priesvitného plexiskla zapojených za sebou. Rozmery kolón boli: výška kolóny 2 m, vnútorný priemer 11 cm, plocha kolóny 95 cm<sup>2</sup>. Jedna kolóna slúžila ako zmiešavacia (reakčná) na obohatenie vody plynným CO<sub>2</sub>, v druhej kolóne bol filtračný materiál PVD

od firmy Jako s.r.o. (Everzit, zrnitosť 2-4 mm), výška náplne bola 150 cm, čo predstavuje objem náplne 14,25 litra. Voda prechádzala cez zmiešavaci kolónu do kolóny s PVD, pričom prietok vody sa nastavoval až za druhou kolónou. Elegantne bolo vyriešený prívod CO<sub>2</sub> do upravovanej vody ešte pred vstupom do prvej kolóny (do prívodnej hadice). V tabuľke (tab. 2) sú uvedené filtračné podmienky experimentu a doba kontaktu vody s materiálom PVD.

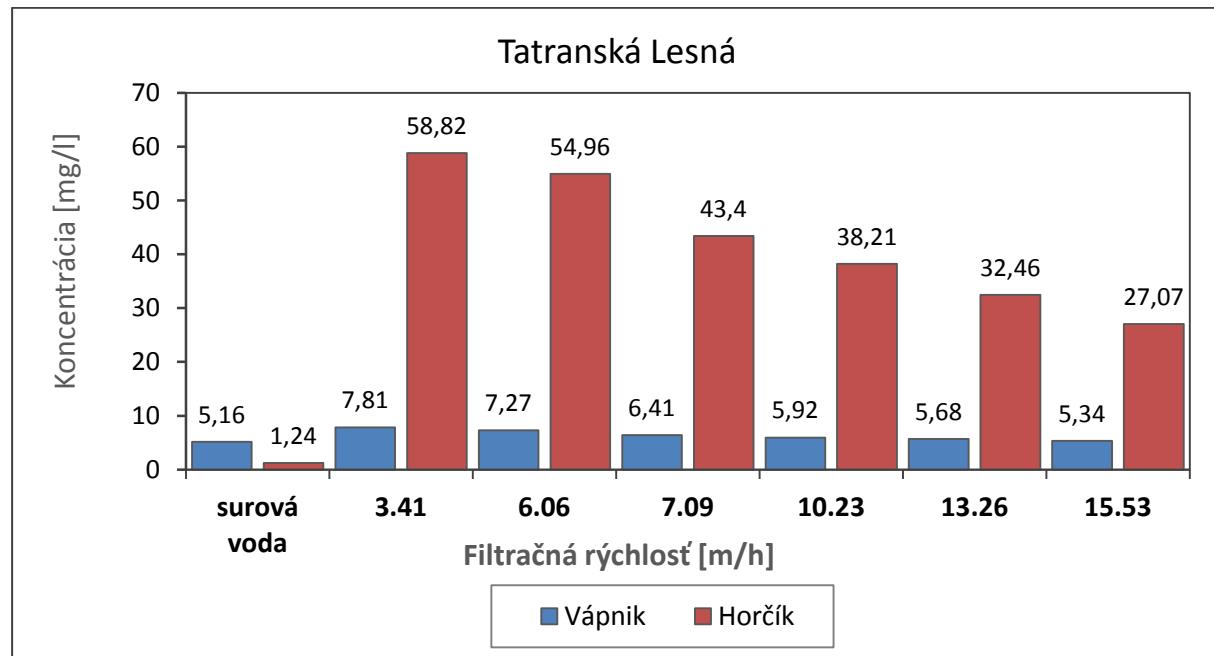
**Tab. 2. Filtračné podmienky počas 1. experimentu**

Filtračná rýchlosť [m/h]					
3,41	6,06	7,09	10,23	13,26	15,53
<b>Doba zdržania vo filtračnom materiály [min]</b>					
26,4	14,8	12,5	8,8	6,8	5,8

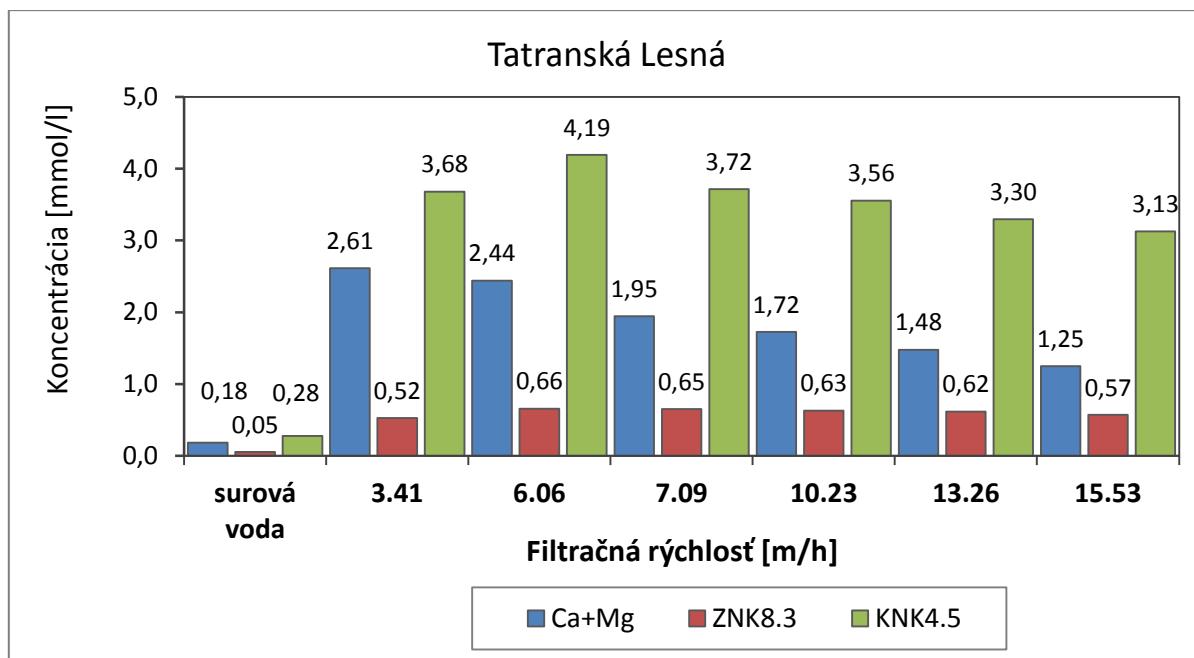
Počas poloprevádzkových skúšok sme sledovali vplyv zmeny filtračnej rýchlosťi na koncentráciu vápnika, horčíka, KNK<sub>4,5</sub>, ZNK<sub>8,3</sub>, pH vody a vodivosť z jednotlivých odberných miest.

Na analýzy sa odoberala surová voda pred vstupom do poloprevádzkového zariadenia, voda po pridaní CO<sub>2</sub> na výstupe z kolóny 1 a vody po filtriácii cez PVD, t.j. za kolónou 2. Zároveň bola sledovaná agresivita vody podľa Heyera, Index nasýtenia a koncentrácia volného, viazaného a agresívneho CO<sub>2</sub>.

Vyhodnotenie vplyvu jednotlivých filtračných rýchlosťí na zmenu koncentrácie sledovaných parametrov (Ca, Mg, Ca+Mg, ZNK<sub>8,3</sub> a KNK<sub>4,5</sub>) je uvedené na obr.2 a 3.



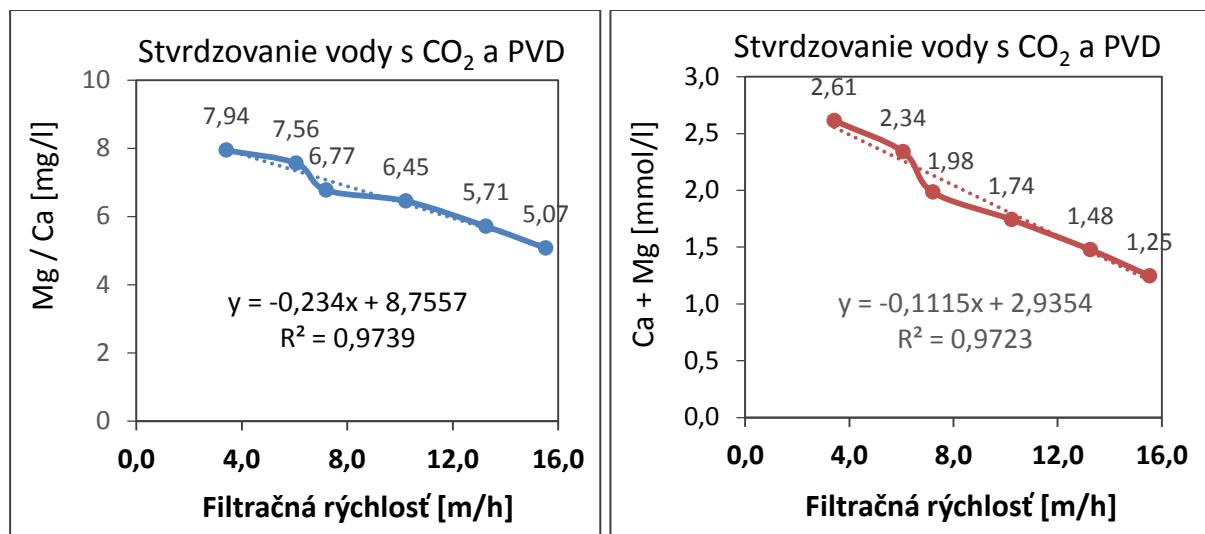
**Obr. 2. Vplyv filtračnej rýchlosťi na koncentráciu vápnika a horčíka**



**Obr. 3. Vplyv filtračnej rýchlosť na hodnoty Ca+Mg, ZNK<sub>8,3</sub> a KNK<sub>4,5</sub>**

Z obrázkov je vidieť vplyv pridávaného CO<sub>2</sub> a vplyv kontaktu vody s PVD materiálom na zmenu kvality vody pre jednotlivé sledované parametre. Výsledky ukázali, že čím dlhšia doba kontaktu vody s materiálom PVD, tým viac sa voda obohatovala o horčík, avšak koncentrácia vápnika sa až tak výrazne nezvýšila.

Na obr. 4 je použitím lineárnej regresie stanovená rovnica priamky pre závislosť pomeru Mg/Ca, resp. Ca+Mg a filtračnej rýchlosť pri stvrdzovanie vody použitím CO<sub>2</sub> a PVD.



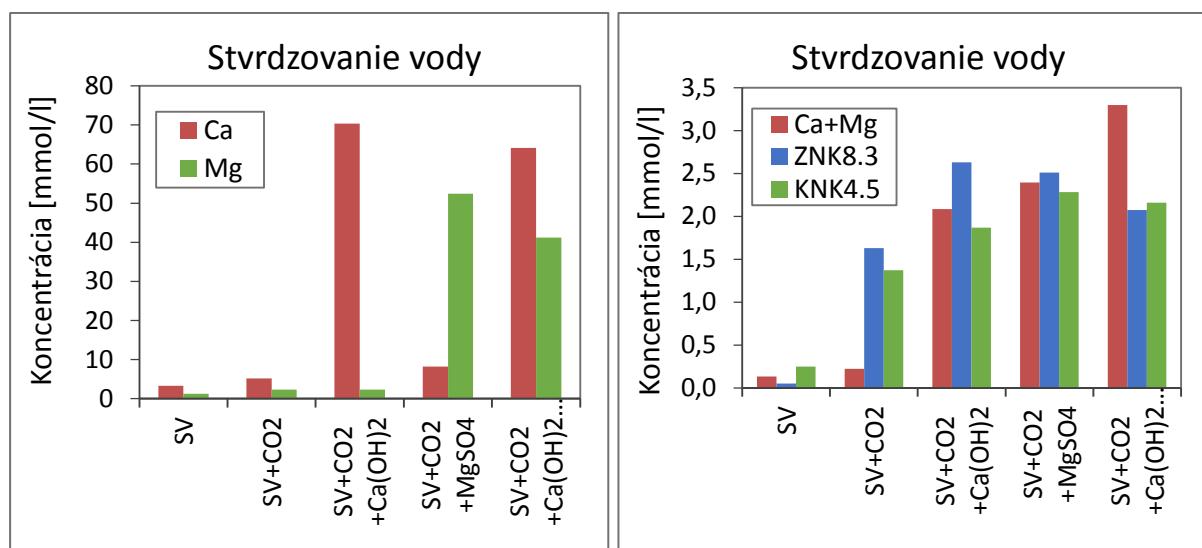
**Obr. 4. Závislosť pomeru Mg/Ca (vl'avo) a Ca+Mg (vpravo) od filtračnej rýchlosť**

Výpočty k parametrom vápenato-uhličitanovej rovnováhy ako sú index nasýtenia a agresívny CO<sub>2</sub> ukázali, že voda je agresívna nie len v prípade pridaného CO<sub>2</sub>, ale aj po filtrácii cez PVD. Hodnoty indexu nasýtenia sa pohybovali v prípade vody s CO<sub>2</sub> v rozmedzí -1,36 až -1,56, po filtrácii cez PVD v intervale -0,51 až -0,88, pričom samotná surová voda mala Is = -0,68.

Agresívne  $\text{CO}_2$  podľa Heyera v surovej vode bolo 5,41 mg/l, po pridaní  $\text{CO}_2$  v intervale 48,8 – 57,4 mg/l, po prechode vody cez filtračnú náplň s PVD v intervale 26,1 – 32,5 mg/l. Čím bola filtračná rýchlosť vyššia, tým bola hodnota agresívneho  $\text{CO}_2$  podľa Heyera nižšia. Okrem metódy s  $\text{CO}_2$  a PVD bolo odskúšaná možnosť stvrdzovať vodu pridaním  $\text{CO}_2$  a vápna (3,5% roztok  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), alebo  $\text{CO}_2$  a síranu horečnatého (1,0% roztok  $\text{MgSO}_4$ ) so snahou obohatiť vodu o vápnik a horčík, zvýšiť KNK a celkovú tvrdosť vody.

Na experimenty bolo použité membránové dávkovacie čerpadlo (ProMinent Gamma 4) s dávkovaním chemikálií pri 380 ml/min. Dávkované chemikálie boli postupne pridávané do surovej vody pritekajúcej do kolóny 1 (do hadice pred vstupom do kolóny cez uzatvárací ventil). Upravovaná voda mala nastavenú filtračnú rýchlosť 5,3 m/hod. Voda z kolóny 1 natekala do kolóny 2 (sériovo zapojené) a na výstupe z tejto kolóny boli odoberané vzorky vody. Celková doba zdržania pridávaných chemikálií do upravovej vody (od vstupu po odber) predstavuje 45,2 min.

Počas týchto poloprevádzkových skúšok sme sledovali koncentráciu vápnika, horčíka,  $\text{KNK}_{4,5}$ ,  $\text{ZNK}_{8,3}$ , pH vody a vodivosť v upravenej vode. Na analýzy sa odoberala súrová voda pred vstupom do poloprevádzkového zariadenia, voda po pridaní  $\text{CO}_2$  pred začiatkom dávkowania chemikálií a voda po pridaní chemikálií, tj. za kolónou 2. Vyhodnotenie koncentrácie sledovaných parametrov je uvedené na obrázku 5.



**Obr. 5. Stvrdzovanie vody dávkovaním  $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{MgSO}_4$  a  $\text{CO}_2 +$  zmes  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a  $\text{MgSO}_4$  (v pomere 1:1) pri filtračnej rýchlosťi 5,3 m/h a dávke 380 ml/min**

## ZÁVERY

Experimenty v ÚV Tatranská Lesná potvrdili vysokú účinnosť  $\text{CO}_2 + \text{PWD}$  pre zvyšovanie horčíka vo vode. K zvyšovaniu hodnôt vápnika nedochádzalo až v takej miere, pričom hodnota Ca neprekročila odporúčané hodnoty. Čím bola vyššia filtračná rýchlosť, tým výsledná koncentrácia horčíka, ako aj hodnota Ca+Mg bola nižšia.

Pre prevádzku v ÚV Tatranská Lesná, ktorej súčasné množstvo odoberanej vody je 14 l/s postačí aj filtračná rýchlosť 14,7-15,5 m/h. Pri tejto rýchlosťi bola celková hodnota tvrdosti Ca+Mg 1,87 resp. 1,25 mmol/l, koncentrácia Mg by bola viac ako 27 mg/l, čo vyhovuje vyhláške MZ SR č. 247/2017 Z.z. Pred úpravou bola táto hodnota 1,24 mg/l.

Ako vhodný postup úpravy navrhujeme upravovať len časť vody, vyrobiť koncentrát a ten potom pridávať do upravovanej vody, zároveň prispôsobiť dávku CO<sub>2</sub> a množstvo PVD vo filtri. V prípade, že by sme chceli dosiahnuť výslednú koncentráciu horčíka v takto zmiešanej vode 10 mg/l, zmiešavací pomer by bol 1 :0,192, čiže 1 diel vody na výstupe z UV Tatranská Lesná a 0,192 dielu upravenej vody cez PVD. Na filtráciu cez PVD použiť filtračnú rýchlosť 6,1-7,1 m/h.

## **POĎAKOVANIE**

Experimentálne merania boli uskutočnené za finančnej podpory projektu VEGA 01/0825/21 a APVV-18-0205. Podľakovanie patrí aj pracovníkom PVPS, a.s. za ich pomoc pri príprave a realizácii experimentov.

## **LITERATÚRA**

1. Calcium and magnesium in drinking Water. Public health significance. WHO 2009.
2. Kožíšek, F.: Zdravotní význam „tvrdosti“ pitné vody [online]. SZÚ Praha, 2003. Dostupné z: [http://filtry.ic.cz/Zdravotni\\_vyznam\\_tvrdosti\\_pitne\\_vody.pdf](http://filtry.ic.cz/Zdravotni_vyznam_tvrdosti_pitne_vody.pdf)
3. WHO. Guidelines for drinking-water quality. 3rd ed. Vol.1. Recommendations. World Health Organization, Geneva 2004, s. 540.
4. Olejko, Š.: Technológia stvrdzovania pitnej vody. In: Voda Zlín 2000. Sborník příspěvku IV. mezinárodní konference. Zlín, Vodovody a kanalizace Zlín, a.s..2000, s. 119-124.

# SOMATICKÉ KOLIFÁGY – INDIKÁTOR ELIMINACE ENTERICKÝCH VIRŮ

RNDr. Dana BAUDIŠOVÁ, Ph.D., MUDr. František KOŽÍŠEK, CSc.

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

## ÚVOD

Bakteriofágy (zkráceně fágy) jsou nepatogenní viry, které napadají bakteriální buňky. Dnes se stanovují např. F- specifické RNA bakteriofágy, somatické kolifágy nebo bakteriofágy infikující anaerobní střevní bakterii *Bacteroides fragilis*. Fágy jsou tedy schopné infikovat vybrané hostitelské kmeny bakterií a pomnožovat se uvnitř jejich buněk, čímž se dotyčná bakteriální buňka zahubí. Kolifágy jsou podskupinou bakteriofágů se specifickým názvem, neboť napadají stěny bakteriální buňky druhu *E. coli*.

Somatické kolifágy jsou relativně široká skupina neobalených, lytických zástupců z čeledí *Myoviridae*, *Siphoviridae*, *Podoviridae* a *Microviridae*, charakterizované lineární nebo kruhovou jedno nebo dvoušroubovicovou DNA. Somatické kolifágy atakují lipopolysacharidy nebo proteinové receptory v bakteriální buněčné stěně, což je první krok infekčního procesu. Mohou způsobovat rozpad hostitelské buňky za optimálních podmínek během 20 až 30 min. Produkují plaky velmi rozdílné velikosti (průměru), viz obr. 1.



Obr. 1. Příklad stanovení somatických kolifágů plakovou titrací

Bakteriofágy se běžně se vyskytují ve střevním traktu člověka a teplokrevných zvířat, ale většinou v nižším počtu, než např. *E. coli* nebo intestinální enterokoky. Dříve byly považovány za „virový“ indikátor fekálního znečištění, tato indikace je však v současné době velmi zpochybňována, a to ze dvou důvodů. Jednak již bylo prokázáno, že se mohou ve vodě

pomnožovat a dále proto, že se jejich specifičnost nemusí omezovat jen na jeden hostitelský druh/kmen, a tak mohou být napadány i další koliformní bakterie nefekálního původu. A přestože se tedy o viry (přesněji bakteriální viry) jedná, nemusí jejich přítomnost ve vodě ukazovat na přítomnost enterovirů, neboť ty se ve vodách vyskytují pouze nárazově v souvislosti s jejich vylučováním nemocnými jedinci, případně bacilonosiči.

Údaje o výskytu somatických kolifágů ve vodách, včetně poměrně rozsáhlých literárních rešerší, existují [1,2,3], ale ve většině případů se jedná o studium více znečištěných vod (odpadní vody, vody ke koupání, ústí řek apod.). Systematická studie o výskytu somatických kolifágů ve větším souboru (nejlépe evropských) surových vod rozhodně chybí. Novozélandská studie [4] uvádí výsledky stanovení somatických kolifágů v různých typech vod (včetně vod surových). Jako hlavní faktory ovlivňující jejich záchyt uvádí zákal (průtok) a typ hospodaření v povodí; kolifágy vykazují podobný vzorec výskytu jako *E. coli*. Somatické kolifágy byly pozitivní v 53,6 % vzorcích podzemní vody (vrty a prameny) ve Španělsku [5].

My jsme na podzim 2019 analyzovali 5 toků, z nichž se odebírá vody k úpravě na pitnou vodu [6]. Hodnoty somatických kolifágů se pohybovaly od <10 PTJ/100 ml (Úpa, Pec pod Sněžkou) do 290 PTJ/100 ml (Jizerka, Horní Sytová). V letošním roce jsme prozatím testovali 6 vzorků surové vody (údolní nádrže) a všechny vzorky byly negativní (<2 PTJ/100 ml). Ale ani *E. coli* v žádném z těchto vzorků nebyla zachycena (<1 MPN/100 ml).

V nové směrnici EU o pitné vodě [7] (Příloha II, část A) se somatické kolifágy objevily jako indikátor provozního monitoringu. Jejich stanovení by mělo být prováděno v rámci posouzení a řízení rizik – a to v souvislosti s prověřením schopnosti dané technologie eliminovat enterické viry. Jako referenční hodnota v surové vodě je stanoveno 50 PTJ/100 ml. Požadavky na  $6 \log_{10}$  eliminaci somatických kolifágů v recyklovaných vodách je uvedeno v nařízení EP a Rady (EU) [8] pro nejpřísněji nastavenou kvalitu závlahové vody (třídu A).

## METODY STANOVENÍ

### Existující normy

Somatické kolifágy se stanovují kultivačně, metodou plakové titrace (viz obr. 1) a výsledky se uvádějí jako PTJ(U) (plakotvorné jednotky (units)) nebo PFP (plaque forming particles) v definovaném objemu vzorku. Směrnice [7] navrhuje (nikoliv striktně předepisuje) stanovení somatických kolifágů podle normy ČSN EN ISO 10705-2 [9], s technickým využitím normy ČSN ISO 10705-3 (validace metod pro zkonzentrování bakteriofágů z vody) [10]. Určité další možnosti nabízejí metody dle US EPA 2001a a US EPA 2001b [11,12], které jsou však validované pouze pro podzemní vodu. Zároveň se dá očekávat, že se v budoucnu objeví nějaké komerční testy (například katalánský test Bluephage Kit [13]).

**Tab. 1. Přehled metod stanovení somatických kolifágů v různých předpisech**

	<b>Hostitelský kmen</b>	<b>Citlivost</b>	<b>Nevýhody</b>
<b>ČSN EN ISO 10705-2 (2000)</b>	<i>E. coli</i> kmen C (pro málo znečištěné přírodní vody), <i>E. coli</i> kmen CS (WG5 – pro znečištěné vody)	1 PFU per ml	Pro 100 ml vzorku je nezbytná koncentrace dle ČSN ISO 10705-3
<b>USEPA 1601-1 (2001) -</b>	<i>E. coli</i> kmen CN-13	1 PFU/100 ml	Validováno pouze pro podzemní vody
<b>USEPA 1602 (2001)</b>	<i>E. coli</i> kmen CN-13	1 PFU /100 ml	Dtto

## **Hlavní metodické problémy**

Velikým problémem při stanovení somatických kolifágů ve vodách je jejich relativně nízký výskyt ve vodách, a tudíž se bude muset přistoupit k jejich koncentraci (např. pomocí adsorpční/eluční metody s použitím elektropozitivních filtrů, membránové filtrace, flokulace apod.). Norma ČSN ISO 10705-3 sice dříve zmíněné možnosti nabízí, ale jejich výtěžnost není příliš vysoká. V České republice již byly publikovány první výsledky a byla zjištěna výtěžnost 19-70 % [1]. Bude tedy třeba zpracovávat významně vyšší objem vzorku (např. v Itálii běžně koncentrují vzorek o objemu 1000 ml [14]) a i to nemusí být dostatečné pro hodnocení účinnosti eliminace virových buněk.

Referenční hodnota 50 PFU/100 ml je pro hodnocení účinnosti jejich eliminace velmi nízká, protože snížení z 50 PFU na 0 PFU představuje „>98 %“, což si jako dostatečné snížení částic (např. enterických virů) určitě nepředstavujeme. Nám se podařilo v případě recyklované (šedé) vody z obytné budovy prokázat snížení o >99,5216 %, což je dosud náš „nejlepší výsledek“, který je jednoznačně limitován počtem zachycených kolifágů v surové (šedé) vodě. Takové hodnoty (vysoké) však v surových vodách pro výrobu pitné vody určitě neočekáváme.

Lepší zpráva se týká stability vzorků. US EPA [11,12] uvádí, že somatické kolifágy lze stanovit do 48 hodin po odběru (což je více než dvojnásobek oproti běžnému bakteriologickému rozboru), případně lze vzorek zamrazit s glycerolem (objemových 10 %). To je důležité zejména proto, že nelze očekávat provádění těchto analýz v každé mikrobiologické laboratoři. Nejedná se totiž vyloženě o rutinní metodu. Přestože se tato metoda může běžně provádět v bakteriologické laboratoři a není extrémně přístrojově náročná, k jejímu zavedení jsou přeci jen třeba o něco větší zkušenosti s mikrobiologickou prací. Také specifický „pracovní režim“ při koncentraci vzorků se poněkud odlišuje od ostatních kultivačních metod používaných při stanovení základních ukazatelů v mikrobiologii vody. Dá se očekávat, že se stanovení somatických kolifágů (i vzhledem k tomu že není v tuto chvíli zřejmé, o kolik vzorků půjde) se bude provádět spíše ve větších centrech, a tudíž bude třeba počítat se svozy vzorků.

## **Přístup v jiných evropských zemích**

Se stanovením somatických kolifágů v surových a pitných vodách se nyní sbírají zkušenosti prakticky ve všech evropských zemích – dostupné údaje jsou z podzimu 2021 [14]. V té době 4 (Belgie, Maďarsko, Slovenská republika a Portugalsko) ze 14 zemí, které dodaly informace, neměly žádnou zkušenosť se stanovením somatických kolifágů. Převážná většina zemí postupně testuje/zavádí metodu dle ČSN EN ISO 10750-2.

## **„OHROŽENÉ“ SUROVÉ VODY V ČESKÉ REPUBLICE**

Stanovení somatických kolifágů a jejich využití pro ověření schopnosti technologie eliminovat malé částice (tedy i enterické viry, které v současné době způsobují nejvíce onemocnění z pitné vody, včetně epidemí) bude relevantní pro ohrožené zdroje, ve kterých se objevuje (jednorázově či opakovaně) fekální znečištění. Dá se tedy očekávat, že se bude jednat o zdroje s výskytem indikátorů fekálního znečištění, reprezentované především druhem *E. coli*. Toto má určitou logiku i z hlediska epidemiologického, protože s fekálním znečištěním se do zdroje mohou dostat i patogenní viry (v případě přítomnosti nemocného či bacilonosiče), a jejich eliminace při úpravě vody by měla být zajištěna. Je však nutno zopakovat, že somatické kolifágy přítomnost virů jako takových neindikují.

Dá se předpokládat, a i v literárních pramenech se uvádí [2,4], že počty somatických kolifágů (stejně jako *E. coli*) mohou ve vodách kolísat v souvislosti s přívalovými dešti, jarním táním apod., především u více zranitelných zdrojů. Ve výše uvedených pramenech [zejména 4] se

souvislost s vyššími průtoky/zákalem jednoznačně spojuje, v České republice by si tato problematika určitě zasloužila podrobnější výzkum (studii). Výsledky by poté mohly pomoci při tvorbě monitorovacích plánů.

V tabulce 2 (tab. 2) jsou uvedeny počty surových vod (podzemní voda), které ve své maximální hodnotě *E. coli* překročily v letech 2018-2020 hranici 50 KTJ/100 ml, a mohly by patřit do kategorie ohrožené/nestabilní zdroje (údaje jsou převzaty z databáze surových vod ČHMÚ). Pouze 2 zdroje tuto hodnotu překročily ve všech třech letech. Povrchové zdroje, zejména menší toky, se zdají být zranitelnější (viz tab. 3), což je i očekávatelné – jedná se zhruba o třetinu zdrojů.

**Tab. 2. Počty zdrojů surové vody (podzemní voda), které ve své maximální hodnotě *E. coli* překročily v letech 2018-2020 hranici 50 KTJ/100 ml.**

	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Počet zdrojů</b>	2648	2852	2759
<b>Počet zdrojů, co překročily 50 KTJ/100 ml u <i>E. coli</i></b>	23	28	53
<b>%</b>	0,910	1,002	2,166

**Tab. 3. Počty zdrojů surové vody (povrchová voda), které ve své maximální hodnotě *E. coli* překročily v letech 2018-2020 hranici 50 KTJ/100 ml.**

	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Počet zdrojů</b>	121	122	124
<b>Počet zdrojů, co překročily 50 KTJ/100 ml u <i>E. coli</i></b>	38	40	40
<b>%</b>	31	33	35

## **CO JE NUTNÉ DOŘEŠIT / STANOVIT (V RÁMCI TRANSPOZICE I IMPLEMENTACE EU SMĚRNICE)**

- Určit realistické požadavky (redukce  $4 \log_{10}$ ?,  $6 \log_{10}$ ?) na dostatečnou redukci malých (vč. virových) částic v procesu úpravy pitné vody. Kdo to určí? Kde to bude uvedeno/jak to bude závazné?
- Provést výběr relevantních lokalit odběru surových vod, kterých se bude stanovení somatických kolifágů týkat (zranitelné zdroje s fekálním znečištěním, i občasným). Určit objemy vzorků surových a pitných vod, které bude třeba zpracovávat (zohlednit výtežnost koncentračních metod a zároveň požadavky na verifikaci eliminace virových částic).
- Určit, s jakou minimální četností se bude tato verifikace provádět (v případě, že bude pro danou lokalitu relevantní).
- Zavést (alespoň v pilotních) laboratořích stanovení somatických kolifágů a získat s tím praktické zkušenosti. Zajistit mezilaboratorní porovnání.
- Na základě zkušeností stanovit parametry výše uvedených metod, výtežnost při koncentraci apod.
- Určit objemy vzorků surových a pitných vod, které bude třeba zpracovávat (zohlednit výtežnost koncentračních metod a zároveň požadavky na verifikaci eliminace virových částic).

## **ZÁVĚRY**

Somatické kolifágy jsou uvedeny v nové směrnici EU o pitné vodě [7] jako nový ukazatel provozního monitoringu, který má sloužit při analýze a hodnocení rizik jako ukazatel eliminace enterických virů. Pokud se bude tento ukazatel využívat vhodně a s rozmyslem, určitě může pomoci, a to nejen při hodnocení účinnosti úpravy pitné vody, ale při hodnocení i dalších technologií (např. recyklované vody). Každopádně se jedná o jednu z největších (nejen) metodických výzev pro mikrobiologie vody, ale i vodárenské technology na další roky.

Tento ukazatel se objeví nejen v novelizované vyhlášce č. 428/2001 Sb. (jako další ukazatel surové vody), ale také v novelizované vyhlášce č. 252/2004 Sb. (jako nový a jediný ukazatel se stanovenou referenční hodnotou). Ve druhé vyhlášce se objevuje duplicitně kvůli jeho návaznosti na posouzení a řízení rizik, což znamená, že posouzení, zda je riziko průniku patogenních virů skrze úpravu dostatečně pod kontrolou a existující bariéry dostatečné či nikoliv, nebudou provádět vodoprávní úřady, ale krajské hygienické stanice. Bude však muset vzniknout nějaké metodické doporučení, jak k tomuto ukazateli a souvisejícím požadavkům standardně přistupovat,

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu TAČR SS01010179 Stanovení hygienických požadavků na recyklovanou vodu využívanou v budovách a městských vodních prvcích. Dále děkuji svému kolegovi Ing. Danielovi Weyessa Gari, Ph.D. za pomoc při práci s databází surových vod a v neposlední řadě pracovníkům ze Severočeských vodovodů a kanalizací za dosavadní (a doufám že i budoucí) spolupráci.

## **SEZNAM LITERATURY**

1. Janák D., Zuzáková J., Ríhová Ambrožová J.: Metody stanovení somatických kolifágů a úskalí spojená s jejich zavedením do legislativy. ENTECHO 2021, 2, 11-15, DOI 10.35933/ENTECO.2021.005
2. Lamy M.C, Sanseverino I., Niegowska M., Lettieri T.: Microbiological Parameters under the drinking Water Directive. Current state of art on somatic coliphages and Clostridium perfringens spores. EUR 29932 EN, Publications office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-12593-8, DOI: 10.2760/005492, JRC118219
3. Nappier S.P., Hong T., Ichida A., Goldstone A.: Occurrence of coliphage in raw water and ambient water: A meta-analysis. Water Research 2019, 153:263-273
4. Till D., McBride G., Ball A., Taylor K., Pyle E. Large-scale freshwater microbiological study: rationale, results and risks. Jf Water Health 2008, 6(4): 443-460.
5. Méndez, J.; Audicana, A.; Cancer, M.; Isern, A.; Llaneza, J.; Moreno, B.; Navarro, M.; Tarancón, M.L.; Valero, F.; Ribas, F. Assessment of drinking water quality using indicator bacteria and bacteriophages. J. Water Health 2004, 2, 201–214.
6. Baudišová D., Kožíšek F.: Nová směrnice EU o pitné vodě. VTEI 2021, 1, 15-17. DOI: 1046555/VTEI.2020.11.001
7. Směrnice Evropského parlamentu a RADY (EU) 2020/2184 ze dne 16. prosince 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě (přepracované znění).
8. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/741 ze dne 25. května 2020 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody.
9. ČSN EN ISO 10705-2: Jakost vod – průkaz přítomnosti a kvantitativní stanovení bakteriofágů – Část 2: Kvantitativní stanovení somatických kolifágů.

10. ČSN ISO 10705-3. Kvalita vod průkaz přítomnosti a kvantitativní stanovení bakteriofágů – Část 3: Validace metod pro zkonzentrování bakteriofágů z vody.
11. USEPA. 2001a. Method 1601- Male specific (F+) and somatic coliphage in water by two step enrichment procedure: U-S.Environmental Protection Agency Report 821-R-01-030
12. USEPA 2001b. Method - Male specific (F+) and somatic coliphage in water by Single Agar Layer (SAL) Procedure. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
13. Janák D., Zuzáková J., Říhová Ambrožová J.: Porovnání alternativní a klasické kultivační metody detekce somatických kolifágů. Vodárenská biologie 2021, 10,- 11.2.2021, Praha, Česká republika, Říhová Ambrožová Jana, Petráková Kánská klára (edit.), str. 204, 18.-22.
14. EMEG (2021): Drinking Water Directice (2020/2184) State of play: Guidance note for the analysis of microbiological parameters., 21. Oct. 2021.

# BIOLOGICKÉ METÓDY: OD MIKROSKOPIE K PCR

RNDr. Viera NAGYOVÁ, Ph.D., Mgr. Lucia CHOMOVÁ, Ph.D., Ing. Hana NÉMOVÁ

Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky, Trnavská cesta 52, 826 45 Bratislava  
E-mail: [viera.nagyova@uvzsr.sk](mailto:viera.nagyova@uvzsr.sk)

## ÚVOD

Mnoho problémov vznikajúcich pri výrobe, hospodárení, využívaní a hygienickom zabezpečení vód je biologického pôvodu. Preto sa biologické analýzy stali vo vodárenstve a verejnom zdravotníctve súčasťou posudzovania a hodnotenia ich kvality. V súčasnosti sa v praxi využívajú rôzne metódy: mikroskopické, ekotoxikologické, kultivačné a PCR metódy (Polymerase Chain Reaction, polymerázová reťazová reakcia). Výber správnej metódy, resp. kombinácie metód, umožňuje získať relevantné údaje o jednotlivých typoch vód.

## MIKROSKOPICKÉ METÓDY

Mikroskopické metódy sú rýchle a priame biologické metódy, pri ktorých sa živé vzorky prezerajú pri rôznom zväčšení. V zásade sa tieto metódy delia na kvalitatívne, kvantitatívne a kombinované [1]. Kvalitatívne spočívajú v čo najpresnejšej identifikácii jednotlivých organizmov do rodov a druhov. Podstatou kvantitatívneho stanovenia je určenie počtu jedincov na jednotku plochy, resp. objemu, pomocou počítacej komôrky. Správnym nastavením a kombináciou filtrov v mikroskope je možné rozlíšiť živé a mŕtve organizmy.

Podstatou všetkých biologických mikroskopických metód je stanovenie bioestónu, tj. kvalitatívne a kvantitatívne stanovenie mikroorganizmov vo vzorke vody podľa postupov v technických normách [2, 3, 4]. Princípom metód je homogenizácia a zahustenie väčšieho objemu vzorky vody centrifugovaním, úprava na objem 0,2 ml a prenos do počítacej komôrky Cyrus I (Obr. 1). Výsledkom mikroskopického stanovenia je prítomnosť alebo absencia mikroorganizmov vo vzorke, v prípade pozitívneho nálezu sa stanoví počet prítomných organizmov (jedincov, buniek) na mililiter vody. Podľa druhu identifikovaných organizmov sa zvolí vhodný postup ich kvantifikácie. Súčasťou stanovenia je aj taxonomické zaradenie organizmov.

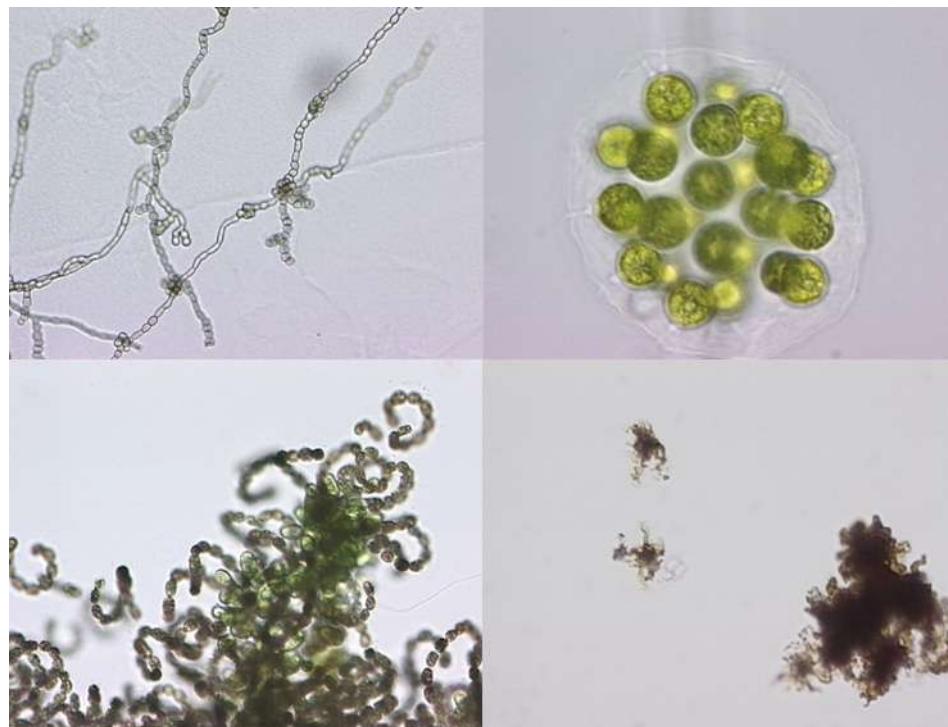


Obr. 1. Počítacia komôrka Cyrus I na stanovenie bioestónu a abioestónu [5, 6]

V prípade pitnej vody mikroskopický rozbor podáva informáciu o prítomnosti, resp. neprítomnosti mikroorganizmov, o ich pôvode a dopĺňa ostatné typy rozborov. Biologickými ukazovateľmi kvality pitnej vody sú živé a mŕtve organizmy, vláknité baktérie, železité a mangánové baktérie a mikromycéty [5]. Mikroskopicky sa vyšetrujú aj teplé úžitkové vody, ktoré nie sú určené na pitie a varenie, ale v biologických ukazovateľoch musia splňať kvalitu pitnej vody [7].

Ako živé organizmy je možné mikroskopicky vo vzorkách vód zistiť aj améby. Améby (meňavky) sú mikroskopické jednobunkovce, ktoré sa pravidelne vyskytujú v potrubiacich distribučného systému pitnej vody. Na vnútorných stranach rozvodových potrubí sú súčasťou tzv. biofilmu. Je to slizovitá matrica, v ktorej prežívajú aj baktérie, plesne alebo iné druhy prvokov. Améby majú aktívne pohyblivé štádium – trofozoity a pokojové štádium – cysty. Cysty, v ktorých dokážu prežiť aj rôzne patogénne baktérie a vírusy, sú extrémne odolné. Považujú sa preto za hostiteľov aj prenášačov zdravotne významných patogénov, ako je napr. legionela, pôvodca vážneho zápalu plúc u ľudí. Dlhodobé neprijemné a niekedy až život ohrozujúce zdravotné problémy spôsobujú tzv. volné žijúce améby. Cysty améb sa z vody nedajú odstrániť bežne používanými dezinfekčnými prostriedkami.

Prítomnosť uvedených organizmov môže poukazovať na organické znečistenie, dôsledky rôznej ľudskej činnosti, kontamináciu odpadovými vodami, presakovanie povrchových vód do studní a pod.



**Obr. 2. Príklady organizmov v pitných a povrchových vodách: mikromycéty, riasa, cyanobaktéria, železité a mangánové baktérie**

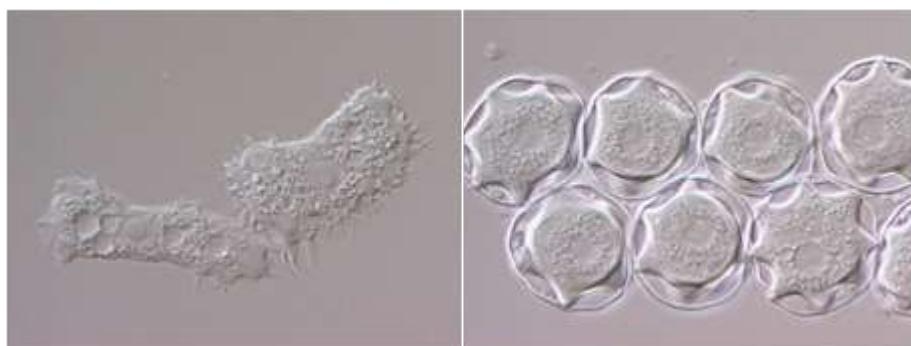
V pitných vodách sa mikroskopicky stanovuje aj neživá zložka – abiosestón. Jeho zloženie a podiel vo vzorke dopĺňa informáciu o kvalite vody, prípadne o pôvode jej kontaminácie. Metodika úpravy vzorky sa zhoduje s metodikou pre stanovenie biosestónu, resp. sa oba ukazovatele môžu stanoviť súčasne. Kvalitatívne zloženie abiosestónu môže napovedať o zanášaní rozvodných sietí, chemických vlastnostiach vody, nedostatočnom zabezpečení zdroja, alebo polnohospodárskej kontaminácii.

Biologické analýzy sa tiež používajú v procese výroby pitnej vody z povrchových zdrojov, pri kontrole kvality surových vôd a v technologických rozboroch pri prevádzkovej kontrole kvality vody. S cieľom overiť účinnosť rôznych stupňov úpravy pri výrobe pitnej vody, je biologickými mikroskopickými metódami možné zistiť prítomnosť organizmov, ich schránok a časti tiel, ktoré mohli počas úpravy prejsť zo surovej vody. V súvislosti s účinnosťou stupňov úpravy má veľký význam posúdenie biologického stavu jednotlivých organizmov s využitím fluorescenčných techník pri mikroskopovaní. Stanovujú sa ukazovatele producenty a konzumenty (obr. 2). K producentom patria cyanobaktérie a riasy, pričom vo vodárenskom priemysle sú významné najmä cyanobaktérie. Ich premnoženie vo vodárenských nádržiach spôsobuje nielen technologické problémy pri výrobe pitnej vody, ale aj ohrozenie jej kvality v súvislosti s možným obsahom cyanotoxínov.

Posudzovanie kvality podzemných, povrchových a odpadových vôd môže byť postavené aj na metodike stanovenia saprobného indexu [8]. Podstatou stanovenia saprobného indexu je kvalitatívny a kvantitatívny hydrobiologický rozbor, správne určenie vyskytujúcich sa druhov a ich množstva vo vzorke, priradenie číselných indexov a prepočet na saprobny index podľa metodiky v technickej norme [8]. K výpočtu je možné použiť výsledky stanovenia bioestónu, vločiek plávajúcich baktérií a húb, bentosu aj nárastov. Získaná hodnota saprobného indexu určí stupeň saprobity vyšetrovanej vody.

## KULTIVAČNÉ METÓDY

Kultivácia sa používa pri izolácii organizmov schopných rásť a rozmnožovať sa na špeciálnych pôdach za vhodných podmienok. Tieto metódy sú využívané ako doplňujúce metódy k mikroskopickým metódam. Niektoré organizmy vo vodách sú vzhľadom na nenápadnosť a rozmer často prehliadané, najmä ak ich vo vzorke nie je veľa. Spoločne s kultiváciou je najčastejšou metódou na stanovenie ich prítomnosti kultivačná metóda. K takýmto, zdravotne významným organizmom patria aj spomenuté améby. Vzorky vôd sa kultivujú za štandardných podmienok pri rôznych teplotách, v závislosti od ich pôvodu, na miskách s agarovým médiom a špeciálne pripravenou bakteriálnou kultúrou. Po niekoľkodennej kultivácii v termostatoch sa mikroskopicky identifikuje prítomnosť pohyblivých štádií alebo cýst améb (obr. 3).



Obr. 3. Trofozoity a cysty améb rodu *Acanthamoeba* získané kultivačnou metódou

## ĎALŠIE BIOLOGICKÉ METÓDY

K vyšetreniu príčin porúch v studniach, vodárňach alebo rozvodnej vodovodnej sieti možno použiť ďalšie biologické metódy. Ide väčšinou o kvalitatívne metódy a na vyšetrenie je možné použiť vzorky sterov, sedimentov, nárastov na umelých podkladoch (mikroskopické podložné sklička exponované určitému dobu vode), väčších organizmov, zoškrabov zo stien, a pod. [9].

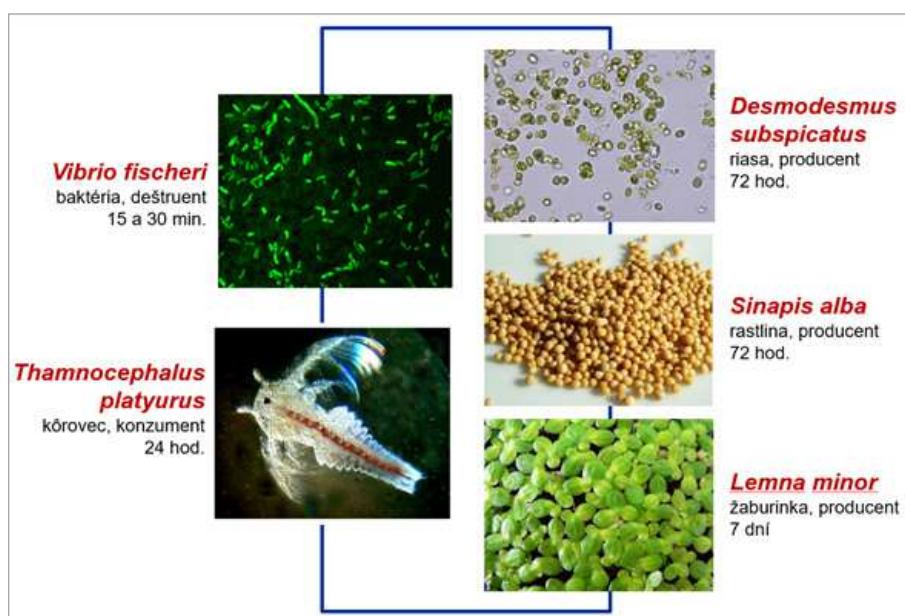
## EKOTOXIKOLOGICKÉ SKÚŠKY

Toxikologické testy na živých skúšobných organizmoch sa používajú pri hodnoteniaciach kvality vody a na zistenie prítomnosti látok nepriaznivo ovplyvňujúcich život vo vodách. Sú založené na princípe expozičie živého organizmu v prostredí toxickej látky. Ide o nešpecifické metódy, ktorými sa zistujú celkové toxicke účinky všetkých prítomných látok vo vzorkách, avšak bez informácií o ich zložení a chemickej štruktúre. Pri monitoringu nebezpečných látok v životnom prostredí slúžia často ako signál k vykonaniu podrobnejších fyzikálno-chemických analýz.

Testovanie vzoriek sa vykonáva formou predbežných a základných skúšok. Predbežná skúška, označovaná aj ako orientačná, sa skladá z 5 až 10 koncentrácií. Základná skúška sa robí po orientačnej skúške a jej hlavným cieľom je stanovenie hľadaných toxikologických parametrov. Skladá sa rovnako z minimálne 5 a maximálne 10 koncentrácií v rozmedzí, ktoré vyplýva z orientačného testu. Výber musí zabezpečiť, aby sa aspoň u polovice vybraných koncentrácií prejavil na skúšobných organizmoch letálny alebo iný účinok. Skúšky toxicity sa musia vykonávať za presne definovaných podmienok (teplota kultivácie, doba expozičie, osvetlenie, kŕmenie skúšobných organizmov, aerácia a pod.).

Akútna ekotoxicita sa stanovuje štandardizovanými metódami na úrovni producentov, konzumentov a deštruentov, t. j. minimálne na troch trofických úrovniach. Medzi základné štandardizované skúšky pre jednotlivé trofické úrovne patria (obr. 4):

- stanovenie inhibičného vplyvu vzoriek vody na svetelnú emisiu *Vibrio fischeri* (*Photobacterium phosphoreum*) [10] pre deštruenty,
- skúška akútnej toxicity na *Thamnocephalus platyurus* [11] pre konzumenty,
- skúška inhibície rastu sladkovodnej riasy *Scenedesmus subspicatus* (*Chlorococcales* – bunkové zelené riasy) [12], skúška inhibície rastu koreňa vyššej kultúrnej rastliny *Sinapis alba* (horčica biela) [13] alebo skúška inhibície rastu na *Lemna minor* (žaburinka) [14] pre producenty.



Obr. 4. Skúšobné organizmy využívané pri zistovaní nebezpečných látok vo vodách

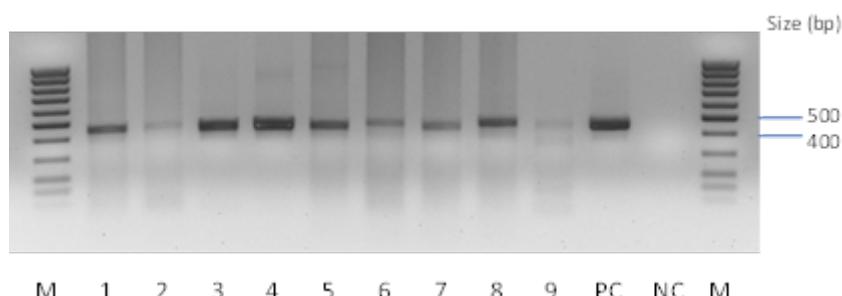
Priame hodnotenie skúšok ekotoxicity vychádza z metodiky, pri ktorej je potrebné spočítať bud' počet uhynutých organizmov alebo uhynutých a imobilizovaných organizmov, resp. meria sa dĺžka koreňa alebo sa meria bioluminiscencia, a pod. Citlivosť skúšobných organizmov sa overuje pomocou testov s referenčnými látkami. Požadované toxikologické parametre sú vypočítané matematicko-štatistickými metódami.

Ekotoxikologické skúšky je možné vo vodárenstve používať na zistenie prítomnosti nebezpečných látok vo vodách, napr. pri zistení premnoženia cyanobaktérií vo vodách, vzniku vedľajších produktov dezinfekcie, a tiež pri mimoriadnej alebo havarijnej situácii, resp. pri podozrení na chemické ohrozenie zdrojov pitnej vody alebo zásobovacieho systému.

## POLYMERÁZOVÁ REŽAZOVÁ REAKCIA

PCR je základná metóda molekulárnej biológie. Ide o nadstavbovú diagnostiku k mikroskopickým a kultivačným metódam, ktoré neposkytnú presnú identifikáciu organizmov. Je možné ich využiť na detekciu vybraných organizmov, napr. potenciálnych patogénov človeka, ako sú améby rodu *Acanthamoeba* a *Naegleria fowleri* vo vodách.

Molekulárna analýza akantaméb je zameraná na detekciu variabilného úseku charakteristického pre rod *Acanthamoeba* [15]. Prítomnosť daného fragmentu sa sleduje na elektroforetickom géli a je potvrdením daného rodu (Obr. 5).



**Obr. 5. Elektroforetický gél s PCR fragmentami akantaméb. M – marker, 1–9 vzorky améb, PC – pozitívna kontrola, NC – negatívna kontrola**

Po rodovej identifikácii akantaméb je izolovaná DNA spracovaná v PCR reakcii charakteristickej pre zaradenie akantaméb do jednotlivých genotypov [16]. Získané PCR produkty sa po sekvenácii, tj. stanovení primárnej štruktúry amplifikovaného úseku DNA, porovnajú s GeneBank databázou pomocou programu BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) a d'alej sa použijú na fylogenetické analýzy vo vhodnom programe (MEGA). Zaradenie akantaméb do jednotlivých genotypov pomocou fylogenetických stromov poskytuje informácie o ich vývoji, vzájomných príbuzenských vztáhoch a možných vlastnostiach.

Real-time (v „reálnom čase“) kvantifikačná PCR metóda je využívaná na detekciu *Naegleria fowleri* [17]. Analyzuje sa gén, ktorý je charakteristický práve pre tento druh. Nárast fluorescenčného signálu počas real-time PCR signalizuje prítomnosť améby. Podobný spôsob molekulárnej identifikácie je možné použiť aj pri planktonových cyanobaktériach [18, 19]. Avšak vzhľadom k pránosti, časovej a ekonomickej náročnosti pri spracovaní kultúr cyanobaktérii na molekulárne účely (početné druhotné zloženie cyanobaktérií), je v súčasnosti pre analýzu fytoplanktonu uprednostňovaná mikroskopická metóda, ktorá nám rýchlo a dostatočne spoľahlivo poskytne informácie o aktuálnom biologickom ozivení vody. PCR analýza sa v tomto prípade môže použiť ako pomocná metóda na identifikovanie konkrétnych, záujmových rodov alebo druhov.

## **ZÁVERY**

Pitná voda nesmie obsahovať žiadne mikroorganizmy, parazity a ani látky, ktoré predstavujú riziko ohrozenia zdravia ľudí akútym, chronickým alebo neskorym pôsobením [20]. Z uvedeného vyplýva, že biologický prístup pri zabezpečení zdravotnej bezpečnosti vód určených na ľudskú spotrebu má veľký význam.

Biologické metódy vyšetrovania patria spolu s mikrobiologickými, fyzikálnymi a chemickými metódami medzi rozbory, ktoré slúžia na kontrolu kvality vód [21, 22, 23].

Výsledky chemických rozborov vystihujú len okamžitý stav kvality, avšak stav biologického oživenia je indikátorom dlhodobej kvality vody.

Biologické analýzy predstavujú jednoduchý, rýchly, lacný a pritom spoľahlivý spôsob zistovania biologického stavu rôznych typov vód. Keďže výpovedná hodnota biologických výsledkov je vysoká, sú v praxi stále používané.

V budúcnosti by preto spolu s PCR metódami mali byť nenahraditeľnou súčasťou diagnostiky bioestónu vo vodách.

## **ZOZNAM LITERATÚRY**

1. Sládeček V., Sladká A., Ottová V.: Příručka k mikroskopickému hodnocení čistíren odpadních vod. Sborník ze semináře České vědeckotechnické vodohospodářské společnosti MŽP ČR, 1992, s. 4, VaK, Uherské Hradiště
2. STN 75 7711 Kvalita vody. Kvalita vody. Biologický rozbor. Stanovenie bioestónu. SÚTN, Bratislava, 2000
3. STN 75 7712 Kvalita vody. Biologický rozbor. Stanovenie abioestónu. SÚTN, Bratislava, 2000
4. STN 75 7715 Kvalita vody. Biologický rozbor povrchovej vody. SÚTN, Bratislava, 2008
5. Laboratorní přístroje. Cyrus počítací komůrka. Dostupné na internete: <<https://www.optingservis.cz/index.php/112-laboratorni-pristroje/komurky/59-cyrusova-burkerova-komurka-a-dalsi>>
6. Sládeček V. a kol.: Biologický rozbor vod. Stanovení mikroskopického obrazu. Komentár k ČSN 75 7711. Vydavatelství norem, Praha, 1989, s. 49. ISBN 80-85111-05-5
7. STN 83 0616 Kvalita teplej úžitkovej vody, Úřad pro normalizaci a měření, Praha, 1987
8. ČSN 75 7716 Jakost vod. Biologický rozbor. Stanovení saprobního indexu. Český normalizační institut, Praha, 1998
9. Štěpánek M. a kol.: Biologické metody vyšetrování vod ve zdravotníctví. Avicenum, Praha, 1982, s. 366-367
10. 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, Bratislava, 2019
11. STN ISO 14380 Kvalita vody. Stanovenie akútnej toxicity na Thamnocephalus platyurus (Crustacea, Anostraca). SÚTN, Bratislava, 2013
12. STN EN ISO 8692 Kvalita vody. Skúška inhibície rastu sladkovodných rias s jednobunkovými zelenými riasami. SÚTN, Bratislava, 2012
13. STN 83 8303 Skúšanie nebezpečných vlastností odpadov. Ekotoxicita. Skúšky akútnej toxicity na vodných organizmoch a skúšky inhibície rastu rias a vyšších kultúrnych rastlín, časť 10. SÚTN, Bratislava, 1999

14. STN EN ISO 20079 Kvalita vody. Stanovenie toxického účinku zložiek vody a odpadovej vody na Lemna minor (žaburinku). Skúška inhibície rastu. SÚTN, Bratislava, 2008
15. Schroeder, J.M., Booton, G.C., Hay, J., Niszl, I.A., Seal, D.V., Markus, M.B., Fuerst, P.A., Byers, T.J. Use of Subgenic 18S Ribosomal DNA PCR and Sequencing for Genus and Genotype Identification of Acanthamoebae from Humans with Keratitis and from Sewage Sludge. *J. Clin. Microbiol.* 2001, Vol. 39, no. 5, p. 1903-1911. DOI: 10.1128/JCM.39.5.1903-1911.2001
16. Corsaro, D., Venditti, D. Phylogenetic evidence for a new genotype of Acanthamoeba (Amoebozoa, Acanthamoebida). *Parasitol. Res.* 2010, Vol. 107, no.1, p. 233-238. DOI: 10.1007/s00436-010-1870-6
17. Maďarová, L., Trnková, K., Feiková, S., Klement, C., Obernauerová, M. A real-time PCR diagnostic method for detection of Naegleria fowleri. *Exp. Parasit.* 2010, Vol. 126, no. 1, p. 37-41. DOI: 10.1016/j.exppara.2009.11.001
18. Boyer, S.L., Johansen, J.R., Flechtner, V.R. Phylogeny and genetic variance in terrestrial *Microcoleus* (*Cyanophyceae*) species based on sequence analysis of the 16S rRNA gene and associated 16S-23S ITS region. *J. Phycol.* 2002, Vol. 38, no. 6, p. 1222-1235. Abstrakt dostupný na: <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2002.01168>.
19. Dvořák, P., Jahodářová, E., Hašler, P., Gusev, E., Pouličková, A. A new tropical cyanobacterium *Pinocchia polymorpha* gen.et sp. nov. derived from the genus *Pseudanabaena*. *Fottea*, Olomouc 2015, Vol. 15, no. 1, p.113-120. DOI: 10.5507/fot.2015.010
20. Zákon č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
21. Vyhláška MZ SR 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 neskorších predpisov
22. Vyhláška MŽP SR č. 636/2004 Z. z., ktorou sa ustanovujú požiadavky na kvalitu surovej vody a na sledovanie kvality vody vo verejných vodovodoch
23. Nariadenie vlády SR č. 269/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd v znení neskorších predpisov

# ZABEZPEČENIE SURVEILLANCE LEGIONELÓZ V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

**Mgr., Ing. Zuzana SIROTNÁ, MPH, MHA, Mgr. Barbora KOTVASOVÁ,  
RNDr. Anna KALIŇÁKOVÁ, Ph.D., Mgr. Andrea GAŽIOVÁ**

Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky, Národné referenčné centrum pre legionely v životnom prostredí, Trnavská cesta 52, Bratislava, Slovenská republika  
e-mail: [zuzana.sirotna@uvzsr.sk](mailto:zuzana.sirotna@uvzsr.sk)

## ÚVOD

Národné referenčné centrum pre legionely v životnom prostredí (ďalej len "NRC") je zriadené v Úrade verejného zdravotníctva Slovenskej republiky v Bratislave (ďalej len „ÚVZ SR“) od roku 2007. NRC zastrešuje rutinnú aj nadstavbovú diagnostiku a detekciu legionel v rôznych zložkách životného a pracovného prostredia. NRC spolu s Ústavom epidemiológie Lekárskej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave zastupuje Slovenskú republiku v Európskom centre pre prevenciu a kontrolu chorôb (ďalej len „ECDC“) v problematike šetrenia ochorení spôsobenými legionelami – legionelóz.

Legionely sú zaradené medzi potencionálne patogénne baktérie spôsobujúce dve formy ochorenia – závažnejšiu Legionársku chorobu a menej závažnú Pontiacku horúčku. Od roku 2000 patrí Legionárská choroba medzi povinne hlásené ochorenia s následným šetrením zdroja nákazy vo všetkých krajinách Európskej únie (ďalej len „EÚ“) a Európskeho hospodárskeho priestoru (ďalej len „EHP“).

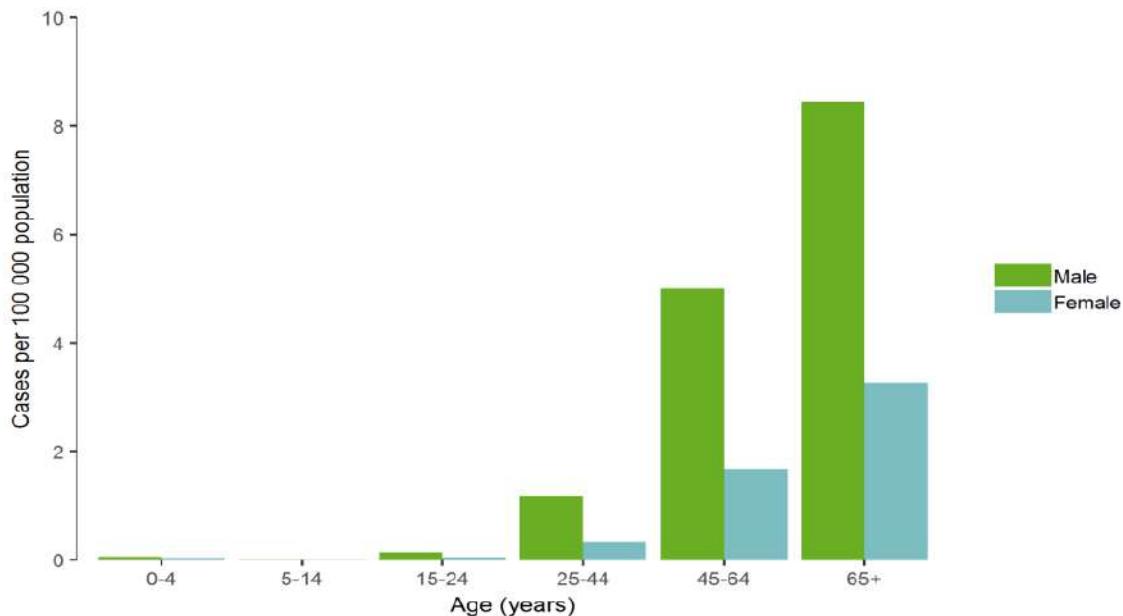
Začiatkom roka 2019 bol vládou Slovenskej republiky schválený Národný akčný plán pre životné prostredie a zdravie obyvateľov Slovenskej republiky, tzv. „NEHAP V“. Hlavným cieľom plánu je zlepšenie environmentálneho zdravia a jednou z úloh je aj sledovanie osídlenia vodovodných systémov legionelami v zariadeniach poskytujúcich sociálnu starostlivosť.

## LEGIONELÓZY

Legionárská choroba patrí medzi závažné ochorenie, často až s fatálnymi následkami. Spôsobujú ju gram-negatívne baktérie rodu *Legionella*, ktoré možno nájsť v prírodnom, ale aj umelo vytvorenom vodnom prostredí, pôde a komposte. V súčasnosti je identifikovaných viac ako 60 druhov legionel, pričom viac ako 20 z nich je spájaných so vznikom ochorenia u človeka. Legionely vo vodnom prostredí prežívajú v rôznych podmienkach, najčastejšie však pri teplotách v rozmedzí 25 – 45 °C a pH 2,7 – 8,3. Pri prežívaní v extrémnych podmienkach im napomáha najmä možnosť intracelulárneho parazitizmu v niektorých druhoch améb (termostabilita, odolnosť voči chemickej dezinfekcii), príp. schopnosť tvorby biofilmov s inými druhami baktérií, napr. zástupcami rodu *Pseudomonas*.

Najbežnejšie vyskytujúcim sa zástupcom legionel izolovaným z prostredia aj pri ochoreniach (infekciách) je *Legionella pneumophila*. Na základe povrchových antigénov sa rozlišuje najmenej 16 sérotypov *Legionella pneumophila*, z ktorých je sérotyp 1 najčastejšie zodpovedný za výskyt ochorení (85 %).

Infekcia vzniká inhaláciou alebo aspiráciou aerosólu kontaminovaného baktériami *Legionella*. Legionárská choroba (ďalej len „LCH“) je opisovaná ako závažná atypická pneumónia sprevádzaná systémovými zlyhaniami dýchacej a vylučovacej sústavy, prejavmi encefalopatie, ktoré môžu mať pri neskorej diagnostike a liečbe za následok až smrť (8–10 %). Najčastejšie LCH postihuje ľudí nad 50 rokov, prevažne mužov (obr. 1). Okrem veku sa medzi faktory zvyšujúce riziko nákazy zaraďuje aj fajčenie, chronické obstrukčné ochorenia plúc, cukrovka, oslabený imunitný systém, podstúpenie transplantácie, či chemoterapia. Okrem LCH spôsobujú legionely aj menej závažné nepneumologické, chrípke podobné ochorenie – tzv. Pontiacku horúčku (ďalej len „PH“).



**Obr. 1. Distribúcia prípadov LCH podľa veku (age) a pohlavia (zelená – muži, modrá – ženy) na 100 000 obyvateľov, rok 2018, členské štáty EÚ a EHP (ECDC, 2020)**

## SURVEILLANCE LEGIONELÓZ

V Európe je evidovaných vo všeobecnosti približne 72 % prípadov komunitných a sporadických legionelóz, približne 20 % prípadov súvisí s cestovaním, pričom dohľadanie zdroja si často vyžaduje medzinárodnú spoluprácu (*Travel Associated Legionnaires’ Disease* – ďalej len „TALD“). Približne 6 % ochorení súvisí s poskytovaním zdravotnej starostlivosti – nozokomiálne nákazy. V súvislosti s nozokomiálnymi nákazami môže dosahovať letalita LCH až 40 %.

Monitoring výskytu LCH sa na európskej úrovni vykonáva od roku 1987 pod záštitou Európskej komisie. V roku 2010 vznikla na tento účel pracovná skupina ELDSNet (*European Legionnaires’ Disease Surveillance Network*), ktorá je koordinovaná ECDC. Hlavným cieľom ELDSNet je detekcia a komunikácia v prípade ohnísk TALD. Pracovná skupina zabezpečuje pre členské štáty a ostatné krajinu zapojené v sieti zdieľanie informácií, spoluprácu a koordinuje ich činnosť pre lepšiu ochranu pred TALD doma aj v zahraničí.

ECDC a ELDSNet sa spoločne zameriavajú aj na zhromažďovanie ročných údajov zo všetkých členských krajín, ktoré sú následne dostupné na ich webovej stránke cez platformu „European Surveillance Atlas“ [10] a zároveň sú zaznamenávané do medzinárodnej epidemiologickej databázy TESSy. V rokoch 2016–2019 ochorelo v krajinách EÚ/EHP na LCH

ročne 7000 – 11 074 osôb. V roku 2019 bola incidencia LCH 22,2/milión obyvateľov, pričom zomrelo 623 pacientov (7,42 %).

Na území Slovenskej republiky bol dlhodobo hlásený nízky výskyt LCH, avšak so stúpajúcim trendom. V roku 2017 bol záchyt LCH 2,9/milión obyvateľov, v roku 2018 sa záchyt LCH zvýšil na incidenciu 9,9/milón obyvateľov (54 pacientov), v roku 2019 na 15,9/milión (87 pacientov) a v roku 2020 bola incidencia ochorenia 19,1/milión (104 pacientov) [9].

## ČINNOSŤ NRC PRE LEGIONELY V ŽIVOTNOM PROSTREDÍ

Úlohou NRC pre legionely v životnom prostredí v rámci epidemiologickej surveillance legionelóz je identifikácia a charakterizácia pôvodcu ochorenia z enviromentálnych vzoriek. Surveillance je nevyhnutná vzhľadom na manažment liečby pacienta a kontrolu zdroja nákazy.

NRC postupuje pri rutinnom vyšetrovaní vzoriek zo životného prostredia v súlade s *STN EN ISO 11731 Kvalita vody. Stanovenie Legionella* z roku 2017 pri kultivačnej metóde a *STN P ISO/TS 12869 Kvalita vody. Detekcia a kvantifikácia Legionella spp. a/alebo Legionella pneumophila metódou koncentrovania a metódou génovej amplifikácie s použitím kvantitatívnej polymerázovej reťazovej reakcie (qPCR)* v prípade molekulárnej diagnostiky. Okrem rutinnej diagnostiky vykonáva NRC nadstavbovú diagnostiku suspektných izolátov metódou latexovej aglutinácie a aglutinácie monoklonálnymi protilátkami, v prípade epidemiologického štrenia aj metódami molekulárnej biológie.

V roku 2021 bolo v NRC vyšetrených 431 vzoriek zo životného prostredia (tab. 1). Najväčší podiel tvorí počet vzoriek z nadstavbovej diagnostiky týkajúcej sa identifikácie suspektných bakteriálnych kmeňov zaslaných do NRC zo spolupracujúcich laboratórií. Okrem laboratórií regionálnych úradov verejného zdravotníctva spolupracuje NRC pri diagnostike legionel aj s Laboratóriom mikrobiologických a chemických analýz Vojenského ústavu hygieny a epidemiológie v Bratislave (Ministerstvo obrany SR). V celkovom počte (431) vzoriek vyšetrených v NRC boli legionely stanovené v 228 prípadoch, čo predstavuje približne 53 %. Najčastejšia bola pri pozitívnych záchytoch identifikovaná *Legionella pneumophila* sérotyp 9 (24,6 %), *Legionella pneumophila* sérotyp 6 (21,9 %), *Legionella pneumophila* sérotyp 1 (18 %) a *Legionella pneumophila* sérotyp 3 (16,2 %). Zvyšných 19,3 % tvorili zástupcovia *Legionella pneumophila* sérotyp 2, 4, 5, 8, 10 a 12, ďalej aj bližšie neurčené sérotypy ale aj *Legionella species* ako napíklad *Legionella bozemanii* a *micdadei*.

V rámci epidemiologickej surveillance legionelóz bolo v NRC v roku 2021 vyšetrených 65 vzoriek vôd, ovzdušia a sterov z vodného prostredia. 23 (41 %) vzoriek bolo priamo spojených s výskytom ochorenia v zdravotníckych zariadeniach alebo zariadeniach spojených so zdravotnou starostlivosťou (napr. Domov sociálnych služieb).

V 15 (65 %) z nich bola *Legionella* stanovená v zastúpení: 1× *Legionella* spp. a 14× *Legionella pneumophila* sérotyp 9, s osídlením  $2,0 \cdot 10^2$  až  $3,3 \cdot 10^5$  KTJ/1000 ml. Spolu s teplou úžitkovou vodou sú v rámci epidemiologických štrení odoberané aj stery z vodného prostredia – napr. ster zo sprchovej ružice alebo hadice, či kohútika, prípadne iných rizikových oblastí, čo môže v prípade pozitívneho nálezu zástupcov *Legionella* indikovať prítomnosť biofilmov v koncových častiach rozvodného systému. V tomto prípade bola 14× stanovená *Legionella pneumophila* sérotyp 9 v 7 vzorkách teplej úžitkovej vody a príslušnom stere z rovnakého odberného miesta.

Zo siete ELDSNet boli v roku 2021 do NRC hlásené 4 legionelózy spojené s cestovaním. Na základe týchto hlásení bolo vyšetrených 8 vzoriek bazénových vôd, 7 vzoriek teplých úžitkových vôd a 10 vzoriek sterov z vodného prostredia z ubytovacích zariadení a umelých kúpalísk. V troch prípadoch TALD boli vo vyšetrených vzorkách detegované legionely v zastúpení *Legionella pneumophila* sérotyp 12 (2×), *Legionella pneumophila* sérotyp 1 (3×) a sérotyp 6 (1×) s osídlením  $4,0 \cdot 10^3$  až  $7,2 \cdot 10^4$  KTJ/1000 ml. Prítomnosť legionel bola stanovená v 6 vzorkách – 4× teplá úžitková voda a 1× bazén s príslušným sterom, čo predstavuje 24 %.

Okrem spomenutých epidemiologických šetrení spojených s pobytom v zdravotníckom zariadení či cestovaním, bolo v NRC vyšetrených aj 17 vzoriek spojených s komunitnými legionelózami (3 prípady) zo súkromných obytných objektov (rodinné a bytové domy) a z kúpel'ného zariadenia. Prítomnosť bola stanovená v 35 % vzoriek osídlením  $6,0 \cdot 10^3$  až  $1,0 \cdot 10^5$  KTJ/1000 ml a zastúpením *Legionella pneumophila* sérotyp 1, *Legionella pneumophila* sérotyp 6, *Legionella pneumophila* sérotyp 5 a 9. Vo všetkých troch prípadoch bolo identifikované najmenej jedno potencionálne miesto nákazy.

**Tab. 1. Počet cielene vyšetrených vzoriek v NRC v rokoch 2019-2021**

<b>Druh vzorky</b>	<b>Počet vzoriek</b>		
	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
<b>Pitné vody</b>	27	18	15
<b>Teplá úžitková voda</b>	61	53	62
<b>Stery z vodného prostredia</b>	5	10	-
<b>Bazénové vody</b>	11	20	4
<b>Technologické a chladiace vody</b>	26	21	14
<b>Ovzdušie a stery z klimatizačných zariadení</b>	39	26	58
<b>Identifikácia izolátov spolupracujúcich laboratórií</b>	39	171	160
<b>Epidemiologické šetrenie v rámci hlásených legionelóz (vody a stery)</b>	32	36	65
<b>Zabezpečenie kvality (vody a stery)</b>	19	12	53
<b>S p o l u</b>	<b>260</b>	<b>367</b>	<b>431</b>

NRC sa okrem iných úloh verejného zdravotníctva podieľa aj na úlohách Národného akčného plánu pre životné prostredie a zdravie obyvateľov Slovenskej republiky. NEHAP V. sa venuje tzv. environmentálnemu zdraviu, tj. faktorom ovplyvňujúcim zdravie človeka a jeho pohodu z hľadiska prírodného aj človekom pretvoreného životného prostredia.

Súčasťou NEHAP V. je aj priorita (b) – zabezpečenie všeobecného, spravodlivého a udržateľného prístupu k bezpečnej pitnej vode, sanitácií a hygiene pre všetkých a vo všetkých oblastiach, pričom sa podporí integrované riadenie vodných zdrojov a bezpečné používanie odpadových vôd. Medzi vážne zdravotnícko-verejné problémy patrí neustále zvyšujúci sa počet nozokomiálnych nákaž, medzi ktoré patria aj legionelózy. Osobitým záujmom verejných zdravotníkov na obmedzenie výskytu prípadov LCH je

pravidelná kontrola prítomnosti baktérií rodu *Legionella* vo vodovodných systémoch pitnej a teplej úžitkovej vody, v ovzduší, bazénových vodách a steroch zo zdravotníckych zariadení a zariadení sociálnych služieb. Cieľom je znížiť expozíciu a riziko LCH v zariadeniach s pobytom osôb z rizikových skupín.

V rámci NEHAP V. sa od novembra 2020 (úloha sa ukončí koncom roka 2022) realizuje celonárodná úloha - monitoring osídlenia vodovodných systémov v zariadeniach sociálnych služieb, do ktorej sú zapojené všetky regionálne úrady verejného zdravotníctva SR. Suspektné izoláty legionel zo vzoriek vyšetrených v regionálnych laboratóriach sú zasielané na konfirmáciu a sérotypizáciu do NRC v ÚVZ SR. Celkovo sa doteraz v rámci úlohy zmonitorovalo 45 zariadení sociálnych služieb (vytypované najväčšie zariadenia v každom kraji), pričom bolo analyzovaných 370 vzoriek. Počet zariadení, v ktorých bola legionela stanovená a zároveň konfirmovaná v NRC bol 17, čo predstavuje 37,8 % z monitorovaných zariadení. V NRC bolo v období roku 2020 až 2021 konfirmovaných 127 izolátov suspektných kmeňov legionel, pričom 84,3 % izolátov bolo identifikovaných ako *Legionella pneumophila* (107 izolátov). Izoláty pochádzali zo vzoriek pitných vód (prívod do budovy), teplých úžitkových vód a sterov z koncových oblastí.

V slovenskej národnej legislatíve nie je jednoznačne stanovený limit pre ukazovateľ *Legionella* v pitných, teplých úžitkových ani technologických vodách. V prípade teplej úžitkovej vody je možné oprieť sa o normu STN 83 0616, podľa ktorej musí splňať požiadavky na mikrobiologickú kvalitu pitnej vody. Definícia pitnej vody je zakotvená v Zákone Národnej rady Slovenskej republiky č.355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len „Zákon“).

V § 17 Zákon ustanovuje, že pitná voda je zdravotne bezpečná, ak neobsahuje žiadne mikroorganizmy, parazity a ani látky, ktoré v určitých množstvách alebo koncentráciách predstavujú riziko ohrozenia zdravia ľudí akútym, chronickým alebo neskorým pôsobením. Z týchto ustanovení citovaného Zákona a technickej normy vyplýva, že ani teplá úžitková voda nesmie obsahovať mikroorganizmy, ktoré by potencionálne mohli ohrozit zdravie človeka.

*Legionella* sa cielene vyšetruje iba v bazénových vodách s vodnými atrakciami v zmysle Vyhlášky MZ SR č. 308/2012 [13], kedy je medzná hodnota 10 KTJ/100 ml a vo vnútornom ovzduší priestorov podľa Vyhlášky MZ SR č. 210/2016 (<1 KTJ/m<sup>3</sup>) [14].

Európsky Parlament schválil 16. decembra 2020 *Smernicu o kvalite pitnej vody určenej na ľudskú spotrebu* (ďalej len „Smernica“), ktorá vstúpila do platnosti a bude implementovaná do národných legislatív členských štátov EÚ v priebehu rokov 2022 až 2023.

V Slovenskej republike bolo uznesením vlády transpozičné obdobie skrátené a požiadavky Smernice majú vstúpiť do platnosti 1. 11. 2022. Smernica limituje prítomnosť *Legionella* spp. v pitnej vode v množstve <1000 KTJ/1000 ml. V súvislosti s týmto novým legislatívnym ukazovateľom sa bude verejné zdravotníctvo zameriavať na dôsledné monitorovanie a kontrolu dodržiavania legislatívy najmä v prioritných priestoroch, ako sú zariadenia súvisiace so zdravotnou a sociálnou starostlivosťou a zariadenia pre deti a mládež.

## ZÁVERY

Podľa najaktuálnejších informácií má výskyt diagnostikovaných prípadov Legionárskej choroby za posledné roky na území Slovenskej republiky stúpajúci trend. Tento fakt je možné pripisať značnému pokroku v klinickej diagnostike, ako aj zvýšenému povedomiu nie len zdravotníckych zamestnancov, ale aj širokej verejnosti.

Postupným zlepšovaním diagnostických metód a metód na typizáciu baktérií rodu *Legionella*, či už kultivačných a sérologických ako aj metód molekulárnej biológie sú rýchlym tempom identifikovaní ďalší významní zástupcovia *Legionella* spp. spojení so vznikom ochorení. Stále však zostáva najčastejším dokázaným pôvodcom ochorenia už spomenutá *Legionella pneumophila* sérotyp 1.

Z uvedených výsledkov je zrejmé, že kolonizácia vodovodných systémov legionelami nie je neobvyklá. Systematickou kontrolou vodovodných rozvodov na prítomnosť legionel a účinnými technickými opatreniami na ich elimináciu najmä v prioritných priestoroch, kde sa v najväčšej miere zhromažďujú rizikové skupiny (nemocnice, zariadenia sociálnych služieb a iné), je možné predísť vzniku legionelóz. Cieľom NRC je aj nadálej pokračovať v monitoringu a zlepšovaní diagnostiky legionel vo vzorkách zo životného prostredia, a tým prispievať k znižovaniu výskytu ochorení.

## ZOZNAM LITERATÚRY

1. Akčný plán pre životné prostredie a zdravie obyvateľov Slovenskej republiky V. (NEHAP V.), január 2019
2. [https://www.uvzsrs.sk/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3692:vlada-sr-zaiatkom-roka-2019-schvalila-novy-akny-plan-pre-ivotne-prostredie-anzdravie-obvateov-slovenskej-republiky-tzv-nehap-v&catid=97:informacie-a-lanky](https://www.uvzsrs.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=3692:vlada-sr-zaiatkom-roka-2019-schvalila-novy-akny-plan-pre-ivotne-prostredie-anzdravie-obvateov-slovenskej-republiky-tzv-nehap-v&catid=97:informacie-a-lanky)
3. Cunha B., Burillo A., Bouza E.: Legionnaires' disease. Lancelot 2016, 387, 375–385
4. [https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/AER\\_for\\_2018\\_Legionnaires.pdf](https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/AER_for_2018_Legionnaires.pdf)
5. <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/EQA-scheme-annual-report-2020-Legionella.pdf>
6. Správa o činnosti NRC pre legionely v životnom prostredí 2019, ÚVZ SR
7. Správa o činnosti NRC pre legionely v životnom prostredí 2020, ÚVZ SR
8. Správa o činnosti NRC pre legionely v životnom prostredí 2021, ÚVZ SR
9. Správa o zoonózach, alimentárnych nákazách a nákazách z vody v Slovenskej republike za rok 2020. Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka, 2020, ISBN 978-80-972963-8-4
10. Surveillance Atlas of Infectious Diseases:  
<http://atlas.ecdc.europa.eu/public/index.aspx>
11. SURVEILLANCE REPORT Annual Epidemiological Report for 2018 Legionnaires' disease. Stockholm: ECDC, jul 2020
12. TECHNICAL REPORT External quality assessment (EQA) schemes to support European surveillance of Legionnaires' disease 2019-2020 – EU/EEA countries. Stockholm: ECDC, december 2020
13. Vyhľáska Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 308/2012 z 1. októbra 2012 o požiadavkách na kvalitu vody, kontrolu kvality vody a o požiadavkách na prevádzku, vybavenie prevádzkových plôch, priestorov a zariadení na prírodnom a na umelom kúpalisku
14. Vyhľáska Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 210/2016 z 30. mája 2016, ktorou sa mení a dopĺňa vyhláska Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 259/2008 Z. z. o podrobnostiach a požiadavkách na vnútorné prostredie budov a o minimálnych požiadavkách na byty nižšieho štandardu a na ubytovacie zariadenia

# **OPTIMALIZACE PRANÍ FILTRŮ SE ZRNITOU FILTRAČNÍ NÁPLNÍ – POZNATKY Z POLOPROVOZU**

**Ing. Pavel DOBIÁŠ, Ph.D.<sup>1, 2)</sup>, doc. Ing. Petr DOLEJŠ, CSc.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> ENVI-PUR, s.r.o., Na Vlčovce 13/4, 160 00 Praha 6 – Dejvice

<sup>2)</sup> W&ET České Budějovice, Písecká 2, České Budějovice

E-mail: [dobias.pavel@envi-pur.cz](mailto:dobias.pavel@envi-pur.cz), [petr.dolejs@wet-team.cz](mailto:petr.dolejs@wet-team.cz)

## **ÚVOD**

Využití zrnitých filtračních materiálů při úpravě vody filtrací pořád převažuje a jen tak z technologie úpravy vody nezmizí i když v posledních několika letech se dostávají do realizačního stádia v úpravě vody membránové separační technologie pro úpravu povrchových i podzemních vod [1-3]. Využití filtrace zrnitým materiélem má ve stávajících provozech úpraven vody pořád nezastupitelné místo. Até už mluvíme o úpravě pitné vody nebo úpravě vody například pro potřeby energetického průmyslu. Ukazuje se také, že i při použití membránových separačních technologií při úpravě vody se bez filtrace přes vrstvu zrnité náplně neobejdeme ani v budoucnu, jak například ukazuje studie [4], kdy bylo prokázáno, že při předúpravě mořské vody pro reversní osmózu filtrací přes filtry s náplní Filtralite Mono-Multi měla stejnou separační účinnost jako filtr s náplní antracit-písek z hlediska ukazatele SDI (Salt Density Index), ale s významně delší filtrační délkou v závislosti s rostoucí filtrační rychlostí a pomalejším nárůstem tlakové ztráty. Tím bylo při využití filtračního materiálu Filtralite Mono-Multi možno předpokládat dosažení ekonomičtějšího provozu při procesu odsolování mořské vody.

Dobře navržená a dobře provozovaná filtrace přes vrstvu zrnitého materiálu je poměrně jednoduchá a úsporná separační technologie s poměrně vysokým separačním účinkem bez výrazné technické náročnosti.

Membránová technologie je přes svojí nespornou vysokou separační účinnost, prostorovou a provozní úspornost při dobře nastaveném procesním řízení, poměrně sofistikovaná technologická záležitost, která přece jen vyžaduje erudovanější a komplexnější systém provozování. To nemusí být vždy splnitelná podmínka.

V několika studiích bylo prokázáno, že lze při provozu filtrů se zrnitou filtrační náplní v optimální provozní oblasti dosahovat až účinnosti odstranění oocyst *Cryptosporidií* i více než 3 log. A i když procesy jako tlaková membránová filtrace se stává ekonomicky srovnatelnou při vynikající separační účinnosti například pro parazitické patogeny, tak její použití může vyžadovat pořád ještě poměrně vysoké investice.

Zásadní vliv na účinnost filtrace má optimalizace předřazeného procesu koagulace a správná provozní praxe vycházející z vědeckých poznatků [5].

Z hlediska provozní optimalizace filtrace přes zrnitou filtrační náplň bychom rádi, v souvislosti s možným přijetím nových limitů ukazatele zákal ve filtrátu z filtrů s vrstvou zrnitého materiálu [6], zmínili, že i optimalizací procesu praní filtrační náplně lze dosáhnout významného zlepšení kvality filtrátu.

Bylo zjištěno, že největší objem suspenze prochází zrnitým filtrem na začátku filtračního cyklu (proto se často praktikuje tzv. zafiltrování), a proto byl navržen nový systém praní, kdy je na konci praní snížena prací rychlosť na subfludizační úroveň po dobu jednoho

teoretického objemu praného filtru. Tento systém praní zrnité náplně byl nazván „extended terminal subfluidization wash“ (ETWS) a jeho aplikací v modelových i provozních filtrech bylo prokázáno, že došlo k významnému snížení zbytkového zákalu na počátku filtračního cyklu. Jediným „problémem“ je, že je nutné tento systém optimalizovat pro každou provozní filtrace přes vrstvu zrnitého materiálu experimentálně, protože je závislá jednak na kvalitě surové vody, způsobu přípravy suspenze a typu filtrační náplně [7].

Ze sdělení uvedeného v úvodní kapitole tohoto příspěvku vyplývá, že je pořád dobré se intenzivně věnovat i nadále novým poznatkům z provozu klasických i nových filtračních zrnitých materiálů. Protože ne vždy je možné a vlastně i nutné aplikovat membránové separační procesy. Dokonce je možné i dnes narazit na různé mýty panující okolo dějů probíhající při praní vrstvy zrnitého filtračního materiálu. Například představa, že při praní vzduchem dochází k dokonalému propírání vrstvy v celém jejím profilu. I když už to bylo vyvráceno [8].

Praní vrstvy zrnité filtrační náplně (čili oddělení zachycené suspenze od zrn filtrační náplně) je nejfektivnější, když se pere souběžně vzduchem a vodou. Průtok vody v této fázi je nejvhodnější, když je nastavena podkritická (subfluidní) prací rychlosť a při současném průtoku pracího vzduchu dochází k jevu, pro který byl zaveden pojem „collapse-pulsing“ [9]. Někteří autoři považují za efektivnější, pokud se proces praní doplní ještě o povrchové praní povrchu filtrační náplně tryskami a zpětným praním vodou [8]. To však platí především u filtrů s nízkou výškou náplně (do 1 m), ale u filtrů s vyšší filtrační náplní se ukazuje, že efektivnější praní je právě takové, které zaručuje efekt „collapse-pulsing“. S rozšířením vícemateriálového složení zrnitých filtračních náplní vodárenských filtrů, narůstá důležitost podrobného studia optimalizace pracího procesu, protože v tomto dílčím procesu lze najít skryté přínosy pro provoz technologických linek úpraven vody. Týká se to i filtrů se zrnitým aktivním uhlím i biologické filtrace, která má trochu jiná specifika než „běžná“ vodárenská filtrace, která primárně slouží k separaci suspenzí.

V tomto příspěvku je popsán experiment, při které byl porovnáván účinek praní různých filtračních náplní při stejně zvolených podmírkách procesu praní.

Provedená studie, ze které uvádíme některé výsledky, nebyla zaměřena přímo na porovnání separační účinnosti filtrace nebo délku filtračního cyklu. Taková srovnání již byla dříve několikrát popsána [10–17].

## METODIKA

### Uspořádání poloprovozního měření na ÚV Bedřichov

Poloprovozní měření byla prováděna na úpravně vody (ÚV) Bedřichov a bylo využito poloprovozních kolon (**obr. 1**), které jsou popsány například v publikacích [10–17].

ÚV Bedřichov je provozována jako dvoustupňová (koagulace – flotace rozpuštěným vzduchem (DAF) – filtrace – Filtralite Mono-Multi) technologická linka a upravuje povrchovou vodu z náddže Josefův Důl.

V modelových filtrech byly použity různé filtrační materiály. Výška náplně vycházela z požadavků zadavatele studie. Hloubka filtrační náplně v modelových filtrech byla 1 m jejich materiálové složení je uvedeno v **tab. 1**. Modelové filtrační cykly byly simulovány filtrací vody z odtoku provozní DAF. Schéma zapojení modelových filtrů je znázorněno na **obr. 2**. Kvalita vody po prvním separačním stupni byla závislá na nastavení provozu technologické linky ÚV Bedřichov.

Průběh filtračních cyklů byl hodnocen na základě vývoje tlakové ztráty, zbytkové koncentrace koagulantu a kontinuálního měření zákalu jak na nátoku do modelových filtrů, tak v odtoku z modelových filtrů.

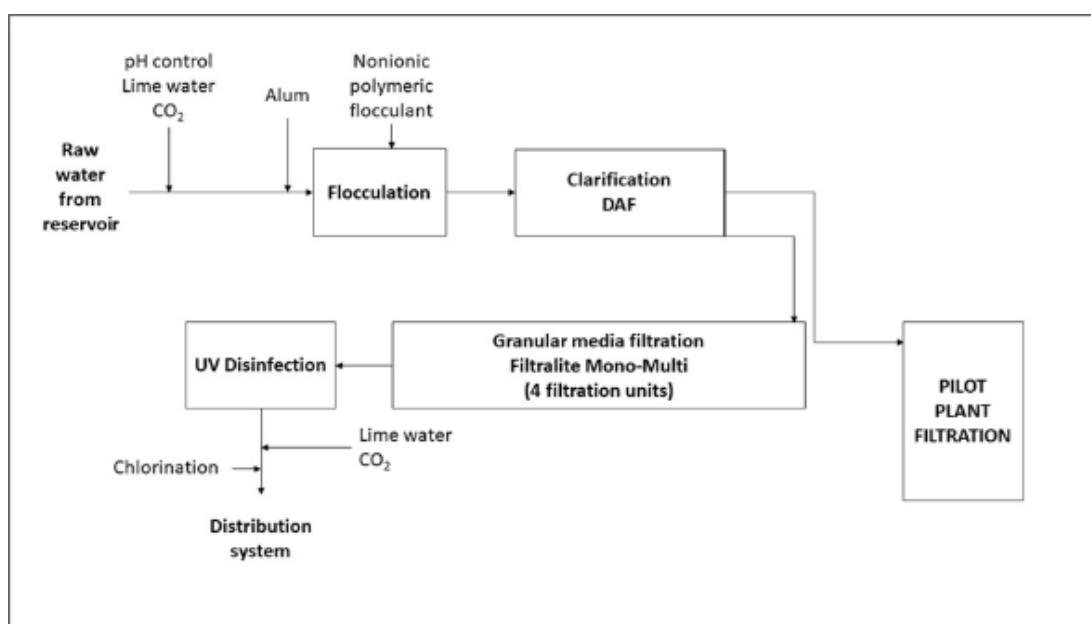
Ke kontinuálnímu sledování zákalu byly využity špičkové kontinuální zákaloměry SIGRIST AquaScat 2 WTM (**obr. 3**) zapůjčené firmou TECHNOPROCUR CZ. Díky této zápůjčce bylo možné sledovat průběh zákalu nezávisle pro každý filtr zvlášť i v souvislosti se změnami v kvalitě vody na nátoku do modelových filtrů. Na nátoku do modelových filtrů bylo možné sledovat i hodnotu pH a teplotu vody.

Pro sledování zákalu prací vody při praní modelových filtrů s různou zrnitou náplní byl použit mobilní zákaloměr TSS Portable (Hach) (**obr. 4**).

Při hodnocení kvality prací vody byla stanovována i koncentrace hliníku, která byla stanovována spektrofotometrickou metodou s pyrokatecholovou violetí.



**Obr. 1. Poloprovozní filtrační kolony s kontinuálním měřením zákalu ve filtrátu (kontinuální zákaloměry Sigrist Aquascat od TECHNOPROCUR CZ)**



**Obr. 2. Schéma zapojení modelových filtrů v provozu ÚV Bedřichov**

**Tab. 1. Filtrační materiály použité pro účely této studie**

Model	Typ filtračního materiálu	Hloubka [cm]	Označení (hustota)
<b>F1</b>	Filtralite Mono-Multi (FMM)	50+50	NC 1,5 – 2,5 mm ( $1260 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) HC 0,8 – 1,6 mm ( $1700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>F2</b>	Filtralite Mono-Multi Fine (FMMF)	50+50	NC 0,8 – 1,6 mm ( $1260 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) HC 0,5 – 1,0 mm ( $1700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )
<b>F3</b>	Filtrační písek 0,7-1,2 mm (FP)	100	FP 0,7 – 1,2 mm ( $2650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )



**Obr. 3. Kontinuální zákaloměry SIGRIST AquaScat 2 (TECHNOPROCUR CZ)**



**Obr. 4. Sonda pro měření zákalu Hach**

#### **Postup hodnocení praní filtrů s různou filtrační náplní**

Nejprve byly u modelových filtrů změřeny expanzní křivky při praní vodou (obr. 5). Z lineárních závislostí expanzních křivek byly vypočítány hodnoty prací rychlosti pro 20% expanzi vrstvy filtrační náplně, při této expanzi vrstvy filtračního materiálu byl efekt praní porovnáván.

Ze změřených závislostí bylo z lineárních regresních trendů byly také spočítány minimální prací rychlosti pro minimální expanzi 5 % (tab. 3). Následně byly vypočteny hodnoty pracích rychlostí, při kterých modelové vrstvy filtračních materiálů začínají měřitelně přecházet do fluidního stavu.

Z hodnot pro nulovou expanzi pak byly odhadnuty prací rychlosti prací vody při praní modelových filtrů ve fázi praní vduchem a vodou, kdy je optimální dosáhnout subkritické či subfludní prací rychlosti resp. průtoku prací vody, aby bylo dosaženo optimálního efektu praní zanesené vrstvy filtračního materiálu a bylo dosaženo efektu „collapse-pulsing“.

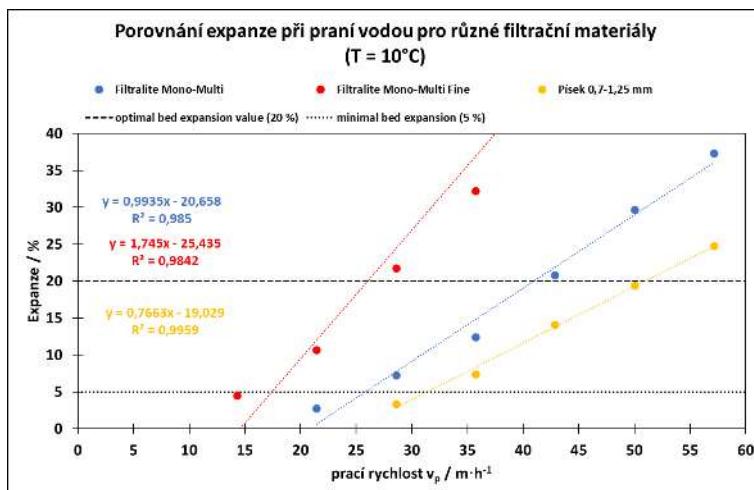
Vzhledem k tomu, že volba té správné hodnoty subfluidní rychlosti proudění je pro dané podmínky a každý materiál komplikovaná, tak byla hodnota průtoku prací vody zvolena opět výpočtem. Byla zvolena hodnota prací rychlosti odpovídající 60 % vypočtené hodnoty hraniční hodnoty prací rychlosti, kdy u daného materiálu při dané teplotě je možno zaznamenat měřitelnou expanzi (**tab. 4**).

Bylo proměřeno 5 modelových filtračních cyklů při konstatní filtrační rychlosti  $10 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$  a po každém filtračním cyklu bylo provedeno praní vyčerpaného modelového filtru podle algoritmu, jehož jednotlivé fáze jsou popsány v **tab. 5**.

Získané hodnoty byly zpracovány jednoduchými statistickými postupy. A byla hodnocena efektivní jednotková výroba modelových filtrů (efektivní filtrační délka)  $L_{eff}$ , která byla spočítána podle vztahu:

$$L_{eff} = L_f - L_p [\text{m}],$$

kde  $L_f$  je celková filtrační délka a  $L_p$  je prací délka neboli spotřeba vody při praní modelových filtrů.



Obr. 5. Experimentálně změřené expanzní křivky filtračních zrnitých náplní při teplotě  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Tab. 2. Prací rychlosť pro 5% expanzi (nejnižší provozní prac rychlosť) a pro 20% expanzi filtrační vrstvy ( $T = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Filtrační materiál	Prací rychlosť pro 5% expanzi [ $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ ]	Prací rychlosť pro 20% expanzi [ $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ ]
Filtralite Mono-Multi	27,6	41,5
Filtralite Mono-Multi Fine	19,5	27,5
Písek 0,7-1,2 mm	32,2	50,9

**Tab. 3. Kritická prací rychlosť a rychlosť prací vody pri praní vzduch + voda**

Filtračný materiál	Kritická prací rychlosť (tzn. blízko bodu expanze) [m·h <sup>-1</sup> ]	Prací rychlosť pri praní vzduch + voda [m·h <sup>-1</sup> ]
<b>Filtralite Mono-Multi</b>	23,0	14
<b>Filtralite Mono-Multi Fine</b>	16,9	10
<b>Písek 0,7-1,2 mm</b>	26,0	16

**Tab. 4. Popis fází modelového praní zrnitých filtračných náplní**

Materiál	Fáze praní	Popis fáze praní	Trvání
<b>Všechny modely</b>	<b>0</b>	Snížení hladiny vody 10 cm nad náplň	Závisí na zanesení filtru
<b>Filtralite Mono-Multi</b>	<b>I</b>	Praní vzduchem pri 60 Nm·h <sup>-1</sup>	2 minuty
	<b>II</b>	Vzduch (60 Nm·h <sup>-1</sup> ) – voda ( <b>14 m·h<sup>-1</sup></b> )	Do vystoupání vody 20 cm pod přepad prací vody
	<b>III</b>	Vypnutí pracího vzduchu – praní vodou pri <b>28 m·h<sup>-1</sup></b> (5% expanze)	Dosažení přepadu prací vody
	<b>III</b>	Praní vodou pri <b>42 m·h<sup>-1</sup></b> (20% expanze)	10 minut kontinuální měření zákalu
<b>Filtralite Mono-Multi Fine</b>	<b>I</b>	Praní vzduchem pri 60 Nm·h <sup>-1</sup>	2 minuty
	<b>II</b>	Vzduch (60 Nm·h <sup>-1</sup> ) – voda ( <b>10 m·h<sup>-1</sup></b> )	Do vystoupání vody 20 cm pod přepad prací vody
	<b>II</b>	Vypnutí pracího vzduchu – praní vodou pri <b>19 m·h<sup>-1</sup></b> (5% expanze)	Dosažení přepadu prací vody
	<b>III</b>	Praní vodou pri <b>28 m·h<sup>-1</sup></b> (20% expanze)	10 minut kontinuální měření zákalu
<b>Písek 0,7-1,2 mm</b>	<b>I</b>	Praní vzduchem pri 60 Nm·h <sup>-1</sup>	2 minuty
	<b>II</b>	Vzduch (60 Nm·h <sup>-1</sup> ) – voda ( <b>16 m·h<sup>-1</sup></b> )	Do vystoupání vody 20 cm pod přepad prací vody
	<b>II</b>	Vypnutí pracího vzduchu – praní vodou pri <b>19 m·h<sup>-1</sup></b> (5% expanze)	Dosažení přepadu prací vody
	<b>III</b>	Praní vodou pri <b>51 m·h<sup>-1</sup></b> (20% expanze)	10 minut kontinuální měření zákalu

## VÝSLEDKY A DISKUSE

V této kapitole uvádíme některé vybrané výsledky, abychom mohli ilustrovat rozdíly mezi spotřebou vody na praní filtrů s různou filtrační náplní při stejně nastaveném režimu praní.

Na obr. 6 je uveden příklad porovnání vývoje hodnot zákalu ve filtrátu za modelovými filtry s náplní FMM, filtrační písek 0,7-1,2 mm a FMMF při konstatní filtrační rychlosti 10 m·h<sup>-1</sup>.

Opět se potvrdilo, že pro druhý separační stupeň při úpravě povrchové vody je vhodné uvažovat o jemnější filtrační náplni, kterou je FMMF. Podobný průběh zákalu za pískovým filtrem a filtrem s náplní FMM ukazuje spíše na nevhodnost aplikace těchto materiálů pro danou lokalitu a úpravu vody.

U pískové filtrační náplně docházelo k ukončení filtračního cyklu jak z důvodu průniku partikulí způsobující zvýšování hodnot zbytkového zákalu, tak i nárůst tlakové ztráty.

U filtru s náplní FMM nedocházelo k výraznému nárůstu tlakové ztráty, ale jen k poměrně brzkému průniku suspenze. Je otázka, zda pro zadanou studii zvolená skladba (1:1) a výška náplně (1 m) FMM hrála tak významnou roli při vývoji filtračních cyklů.

Optimální návrh pro danou lokalitu a proces úpravy vody je ovšem trochu jiné téma a je protentokrát mimo rámec tohoto příspěvku. Je to však jeden z důležitých aspektů komplexního přístupu k optimálnímu návrhu filtrace vrstvou zrnitého materiálu.

Na obr. 7 je porovnání zákalu v prací vodě při pracím cyklu, který následoval po filtračním cyklu, který byl diskutován v předešlém odstavci.

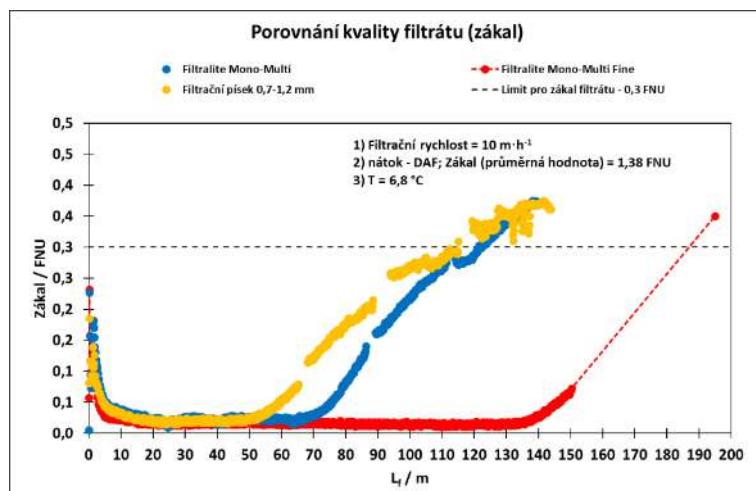
Z grafu vyplývá, že nejrychleji došlo k vyprání filtru s náplní Filtralite Mono-Multi Fine (FMMF). Po asi 2,5 m prací délky v tomto jendom případě klesla hodnota zákalu prací vody téměř k nule a modelový filtr bylo možné považovat za vypraný.

Abychom získané poznatky nestavěli na jednom měření, tak bylo vyhodnoceno 5 shodných filtračních cyklů a 5 příslušných pracích cyklů. Z nich pak byly spočítány průměrné hodnoty.

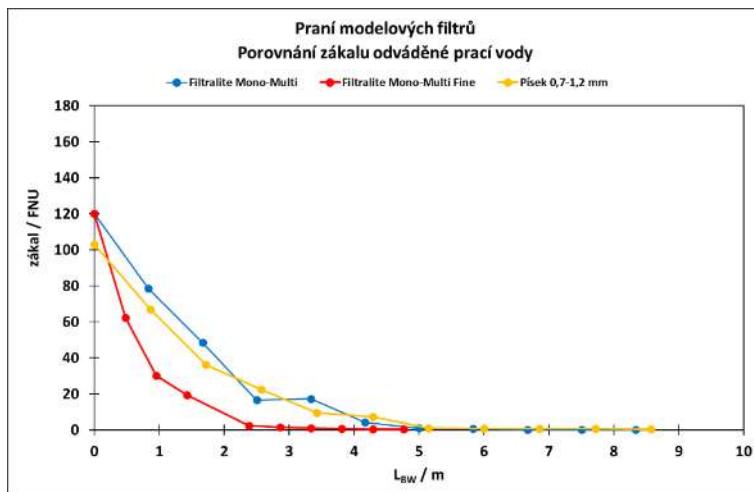
Na obr. 8 je uvedeno srovnání dosažených celkových filtračních délek  $L_f$ . Lze říci, že bylo dosahováno nejdelší filtračních cyklů s náplní FMMF i když je ptěeba zmínit, že kvalita vody nebyla v průběhu experimentů vždy konstatní.

Na obr. 9 je pak srovnání pracích délek  $L_p$  a lze opět říci, že spotřeba vody při praní filtru při dosažení stejně 20% expanze filtrační náplně byla u filtru s náplní Filtralite Mono-Multi Fine nejnižší.

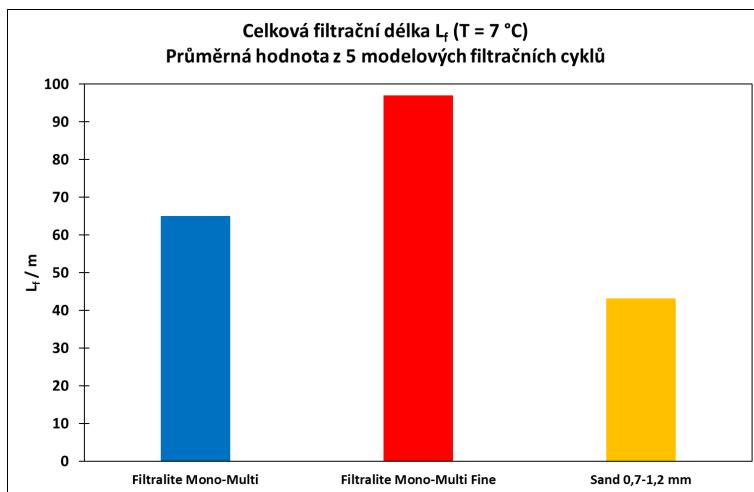
Z toho pak vyplývá, že při porovnání čisté jednotkové výroby filtru  $L_{eff}$  (obr. 10) bylo dosaženo nejlesních hodnot u filtru s náplní Filtralite Mono-Multi Fine.



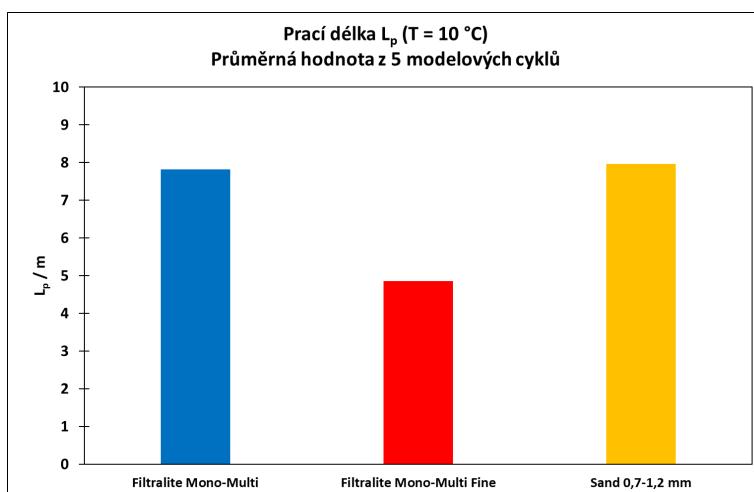
Obr. 6. Porovnání filtrů s různou filtrační náplní na základě kontinuálního měření zákalu ve filtrátu



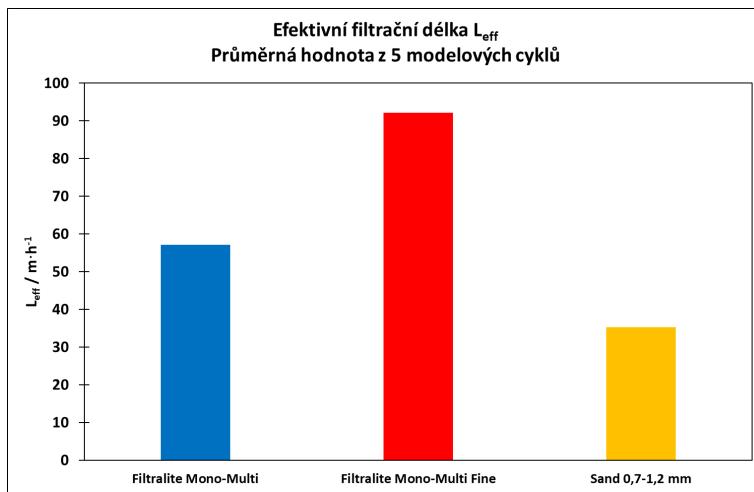
Obr. 7. Průběh hodnot zákalu v prací vodě v průběhu praní v závislosti na spotřebě vody



Obr. 8. Průměrná hodnota  $L_f$  dosahovaná při poloprovozních pokusech na ÚV Bedřichov



Obr. 9. Průměrná hodnota  $L_p$  dosahovaná při poloprovozních pokusech na ÚV Bedřichov



Obr. 10. Průměrná hodnota  $L_{eff}$  dosahovaná při poloprovozních pokusech na ÚV Bedřichov

## ZÁVĚRY

- 1) Bylo opět potvrzeno, že vícevrstvá filtrace je efektivnější než jednovrstvá filtrace.
- 2) Bylo prokázáno, že spotřeba vody na praní je při dosažení stejné expanze filtrační náplně a stejné doby praní pro různé filtrační náplně významně rozdílná.
- 3) Nejmenší spotřeby prací vody pro dosažení minimální hodnoty zákalu na odtoku prací vody bylo dosahováno u filtru s náplní Filtralite Mono-Multi Fine.
- 4) Nejvyšší průměrné efektivní délky filtračního cyklu bylo za daných podmínek dosahováno u filtru s náplní Filtralite Mono-Multi Fine (92,1 m). Jako druhý byl vyhodnocen filtr s náplní Filtralite Mono-Multi (57,9 m) a jako nejméně efektivní byl vyhodnocen filtr s filtračním pískem 0,7–1,2 mm (35,2 m). To znamená, že jednotková výroba filtru s náplní FMMF byla asi 2,6× vyšší než tomu bylo u pískového modelového filtru.
- 5) Bylo potvrzeno, že použití moderních zákaloměrů je možné využít pro optimalizaci filtrace přes vrstvu zrnité náplně. A to jak z hlediska samotného filtračního cyklu, tak i z hlediska optimalizace praní zanesených filtrů.
- 6) Lze říci, že hledání vhodných parametrů praní filtrů se zrnitou filtrační náplní by mělo být nedílnou součástí jak poloprovozních experimentů při navrhování filtračního stupně v technologii úpravy vody tak optimalizace provozu již existujících filtrů.

## PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří všem pracovníkům provozu ÚV Bedřichov a firmám SčVK a.s., Teplice a SčServisní a.s., Teplice za vstřícnost a spolupráci i poskytnutí experimentálního prostoru.

## SEZNAM LITERATURY

1. Hnojna K. a kol.: Výsledky ze zkušebního provozu první membránové úpravny vody v ČR a na Slovensku. Sborník příspěvků 14. bienální konference CzWA Voda 2021, s. 257-263, Asociace pro vodu ČR z.s., Brno 2021, ISBN 978-80-11-00385-2.
2. Fendrych A. a kol.: 2 roky provozu nanofiltrace na ÚV Domašov – provozní zkušenosti. Sborník přednášek mezinárodní vodohospodářské konference voda Zlín 2022, s. 75-80, ISBN 978-80-905716-9-3.
3. Drechsler J. a kol: Ultrafiltrace na karlovarské úpravně vody. SOVAK 26/1/2017, s. 3-6, ISSN 1210-3039.
4. S.T. Mitrouli, A.J. Karabelas, S.G. Yiantzios, P.A. Kjølseth, New granular materials for dual-media filtration of seawater: Pilot testing, Separation and Purification Technology, Volume 65, Issue 2, 2009, Pages 147-155, ISSN 1383-5866.
5. Emelko M. B., Huck P. M., Coffey B. M.: A review of Cryptosporidium removal by granular media filtration. Journal AWWA 97:12, December 2005.
6. Carová Mátlová L.: Instalace zákaloměrů na stěžejních úpravnách vody. Sborník příspěvků konference Pitná voda 2022, Tábor 2022, ISBN 978-80-905059-9-5.
7. AMBURGEY, James E. Optimization of the extended terminal subfluidization wash (ETSW) filter backwashing procedure. Water Research. 2005, roč. 39, č. 2–3, s. 314–330. ISSN 00431354. DOI: 10.1016/j.watres.2004.09.020.
8. KAWAMURA, Susumu. Integrated design and operation of water treatment facilities. 2nd ed. New York: John Wiley, 2000. ISBN 04-713-5093-1.
9. Appiah Amirtharajah; Optimum Backwashing of Filters with Air Scour: A Review. Water Sci Technol 1 May 1993; 27 (10): 195–211. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0232>.
10. Dolejš P., Dobiáš P., Štrausová K.: Porovnání filtrů s pískovou náplní a s náplní Filtralite Mono-Multi na dvou úpravnách pitné vody v ČR. Sborník konference Pitná Voda 2012, Tábor 2012, s. 77–82, ISBN 978-80-905238-0-7.
11. Dobiáš P., Dolejš P.: Odstranění amoniaku, mangantu a železa při úpravě pitné vody ve filtru s náplní Filtralite Mono-Multi – výsledky z poloprovozních experimentů. Sborník konference Pitná Voda 2012, Tábor 2012, s. 157–162, ISBN 978-80-905238-0-7.
12. Dobiáš P., Dolejš P., Kolovrat J.: Poloprovozní ověřování separace mangantu na náplni Filtralite na ÚV Plzeň. Sborník konference Pitná Voda 2014, Tábor 2014, s. 111–117, ISBN 978-80-905238-1-4.
13. 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, Tábor 2014, s. 117–123, ISBN 978-80-905238-1-4.
14. Drda M., Dobiáš P., Dolejš P.: První použití filtrační náplně Filtralite Mono-Multi-Fine na světě v rekonstruovaných filtrech na úpravnách vody Strašice a Studeněves. Zborník přednášek z XVI. Konference s medzinárodnou účastou PITNÁ VODA, VodaTím s.r.o 2015, s. 161-169, Trenčianské Teplice 2015, ISBN: 978-80-971272-3-7.
15. Dobiáš P., Dolejš P., Drda M.: Výsledky první provozní aplikace nového filtračního materiálu pro dvouvrstvé filtry Filtralite Mono-Multi-Fine na světě. Sborník přednášek z XIX. Odborné konference Nové trendy v čistírenství a vodárenství, p. 32-41, ENVI-PUR 2015, Soběslav, ISBN: 978-80-905059-4-0.
16. Dobiáš P., Dolejš P.: Poloprovozní a provozní zkušenosti s použitím Filtralite – FMMF: Sborník konference Pitná Voda 2016, Tábor 2016, s. 81–87, ISBN 978-80-905238-2-1.
17. Dobiáš P., Dolejš P.: Vývoj v procesech vodárenské filtrace přes vrstvu zrnitého materiálu. Sborník konference PITNÁ VODA 2018, s. 225–232, W&ET Team České Budějovice 2018, ISBN 978-80-905238-3-8.

# **BUDEME JEŠTĚ UVAŽOVAT O FILTRECH BEZ HLADINOVÉ REGULACE? OHLÉDNUTÍ ZA RŮZNÝMI ŘEŠENÍMI REGULACE FILTRŮ**

**Ing. Jiří KRATĚNA, Ph.D.<sup>1)</sup>, Ing. Lukáš PÍSEK<sup>1)</sup>, Ing. Jindřich ŠESTÁK<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Sweco Hydroprojekt a.s., Táborská 31, 140 16 Praha 4

<sup>2)</sup> Pražská vodohospodářská společnost, a.s., Evropská 866/67, 160 00 Praha 6

E-mail: [jiri.kratena@sweco.cz](mailto:jiri.kratena@sweco.cz), [sestakj@pvs.cz](mailto:sestakj@pvs.cz)

## **ÚVOD**

V souvislosti se stále častějším doplňováním sorpce na GAU do technologické linky úpravy vody za filtrace, kdy se hledají možnosti optimálního využití stávajícího obvykle malého spádu, se v některých případech znova stává aktuální otázka regulace hladiny a průtoku ve filtroch (Flow Control in Filtration [1], Filter Operation Control [2]). V minulosti bylo realizováno několik různých variant, mimo jiné se stálou či se snižující se filtrační rychlosí [4]. Příspěvek obsahuje jak zkušenosti z projektové činnosti, tak i z realizace těchto systémů a jejich vývoj v čase spolu s teoretickým zamýšlením nad požadavky na filtrace z pohledu projektanta.

## **HLAVNÍ POŽADAVKY NA FILTRY A JAK JE ZAJISTIT Z HLEDISKA PROJEKTANTA**

Na provoz filtrov jsou dva důležité požadavky, které mohou mít vliv na celkové stavební řešení nejen filtrov, ale také celé úpravny vody:

1. Hladina vody během filtrace musí být nad filtračním materiélem (dále je pro jednoduchost často uváděno místo „filtrační materiál“ jen „písek“ s vědomím nepřesnosti). Uvádí se (např. v [3]) požadavek asi 0,9 m vody nad pískem.
2. Každý filtr by měl během filtračního cyklu (mezi praními) přefiltrovat přibližně stejný objem, tj. žádný filtr by neměl „lenošit“ třeba tak, že bude na konci řady filtrov a bude na něj natékat méně vody než na ostatní filtry. Tento požadavek je méně důležitý než předchozí.

Stojí za pozornost, že k základním provozním požadavkům dle literatury nepatří udržování stálé hladiny ve filtrov.

Požadavek 1, ustálenou polohu hladiny nad filtračním materiélem, lze zajistit:

- I. přelivnou hranou na odtoku z filtrov,
- II. regulačním prvkem na odtokovém potrubí z filtrov.

Požadavku 2, stejného zatížení filtrov, lze dosáhnout:

- A. rozdelením nátoku soustavou přelivných hran,
- B. např. regulací průtoku za filtry při nátoku pod hladinu.

Dalším požadavkem, který je rozhodující pro návrh filtrov, je využití celkové kalové kapacity filtrační vrstvy. Jak tohoto požadavku dosáhnout je uvedeno dále v textu.

## Zajištění hladiny nad filtračním materiélem

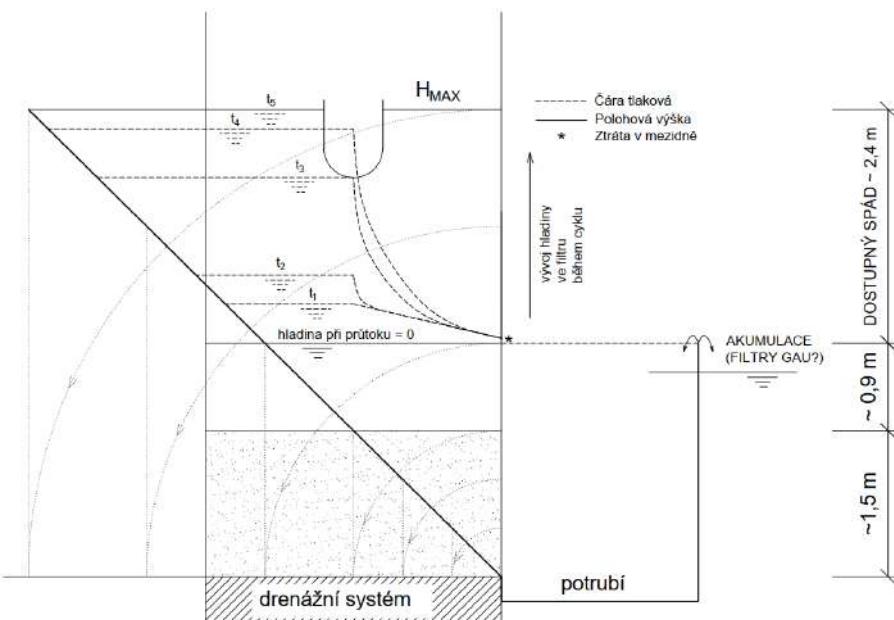
Polohu hladiny nad filtračním materiélem můžeme zajistit:

- I. **Přelivnou hranou na odtoku z filtrů**, která bude umístěna nad pískem (např. o požadovaných 0,9 m, viz obr. 1). Jedná se o relativně jednoduché a spolehlivé řešení, které současně zabrání vzniku podtlaku ve filtračním materiuu. Při filtrace hladina postupně stoupá podle toho, jak se zvyšuje tlaková ztráta postupným zanášením filtru.
- II. **Regulačním prvkem**, nejčastěji klapkou. Ta je na začátku filtračního cyklu po vyprání filtru téměř zavřená, aby udržela hladinu ve filtru přibližně oněch 0,9 m nad pískem, a postupně se během filtračního cyklu otevírá podle toho, jak se zvyšuje tlaková ztráta se zanášením filtru. Jedná se o složitější systém než v případě přelivné hrany za filtrem. Existuje celá řada zařízení od plováků s mechanickým převodem až po měření hladiny a přenosy signálů. Navíc hrozí podtlak při velkém otevření klapky a větší tlakové ztrátě obvykle v horní vrstvě filtračního materiálu.

Nabízí se otázka „*Proč tedy dnes téměř vždy navrhujeme filtry s regulačním prvkem?*“

Důvodů je několik. Požaduje-li se [2], aby provozní tlaková ztráta na filtru (měřená jako rozdíl výšky hladiny vody na filtru a polohy tlakové čáry v potrubí těsně za filtrem měřené manometrem) nepřesáhla 2,4 m až 3,0 m, znamená to, že během filtračního cyklu by mohla hladina na filtroch s přelivem na odtoku o tuto hodnotu vzrůst. To by ovšem znamenalo, že na počátku filtračního cyklu bude hladina např. 2,5 m pod hranou nátokového žlabu a na konci bude 0,1 m pod ní. Na začátku bude tedy voda padat z výšky 2,5 m.

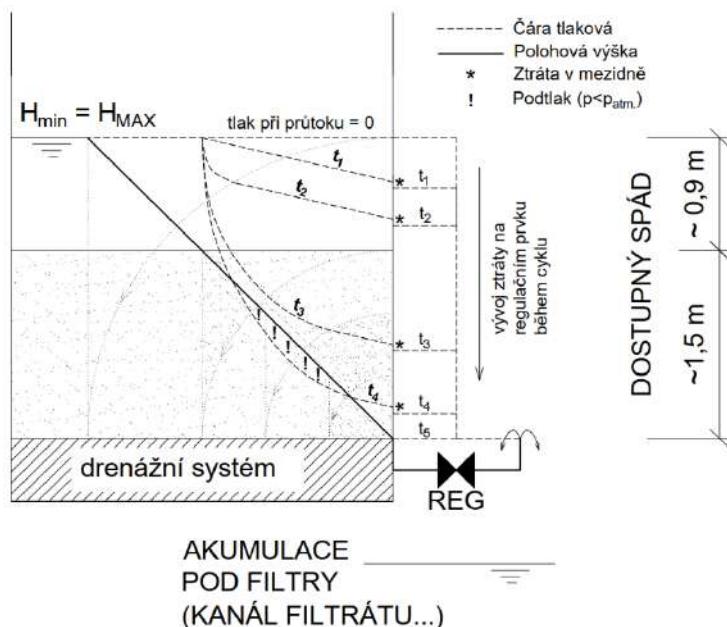
Voda dopadem z výšky může vytvořit prohlubeň ve filtrační náplni nebo může docházet k rozbíjení často pracně vytvořených vloček. Navíc tento požadavek, a to už projektanta zajímá více, vede k nutnosti navrhnout filtry dostatečně vysoké. Schematicky je situace zakreslena na obr. 1.



**Obr. 1. Filtr bez hladinové regulace (s přelivnou hranou na odtoku).** Pro názornější zobrazení tlakových poměrů v různých výškách filtru je tlaková čára vynesena nad „sklopeným“ filtrem. Zvolené zobrazení umožňuje do stejného obrázku zakreslit i tlakové poměry v potrubí za filtrem tak, že navazují na ztráty ve filtru. Ztráty v potrubí jsou pro přehlednost zanedbány (sklon čáry tlakové nad potrubím je nulový). Filtrační cyklus začíná v čase t1, hladina se postupně zvyšuje.

To ovšem není všechno. Pokud je přeliv za filtrem vyveden např. požadovaných 0,9 m nad úrovní písku, je vhodné, aby hladina následujícího stupně za filtry (např. maximální hladina akumulace upravené vody) byla pouze nepatrně, tedy přibližně 0,3 m nad vrchem písku. To je vhodné, pokud je k dispozici dostatečná zastavitelná plocha (nebo nelze nádrž akumulace upravené vody umístit pod úrovní filtrů) a akumulace upravené vody může být umístěna vedle filtrů (obr. 1). Pokud je ovšem místa nedostatek a je potřeba akumulaci upravené vody umístit pod filtry, zvyšuje se stavba zbytečně o další metry, které přibývají, k již tak dost vysokým filtrům.

Při použití regulačního prvku (varianta II) udržujeme hladinu stále minimálně 0,9 m nad vrchem filtračního lože. Pokud uvažujeme nulový nebo jemu blízký přetlak (atmosférický tlak) v potrubí na odtoku z filtrů, získáváme při obvyklé výšce filtračního lože (cca 1,5 m) právě výše zmíněnou provozní tlakovou ztrátu 2,4 m při podstatně menších náročích na výšku stavby. Filtr s hladinovou regulací (s regulačním prvkem) je schematicky zakreslen na obr. 2 včetně vývoje tlakových poměrů po jeho výšce a v navazujícím potrubí. Z obrázku je patrné, že pro udržení hladiny na dané výšce musí být do potrubí vnesena umělá tlaková ztráta regulačním prvkem (REG). Při jeho úplném zavření a nulovém nátoku na filtr jsou tlakové poměry ve všech místech filtru stejné – čára tlaková je shodná s hladinou (hydrostatický tlak). Na začátku filtračního cyklu je v celé výšce filtračního lože ztráta rozložena přibližně rovnoměrně, ztráta po výšce lože je lineární. S postupem filtračního cyklu se více zanášeji horní vrstvy lože, což vede ke strmějšímu poklesu tlaku v nich.



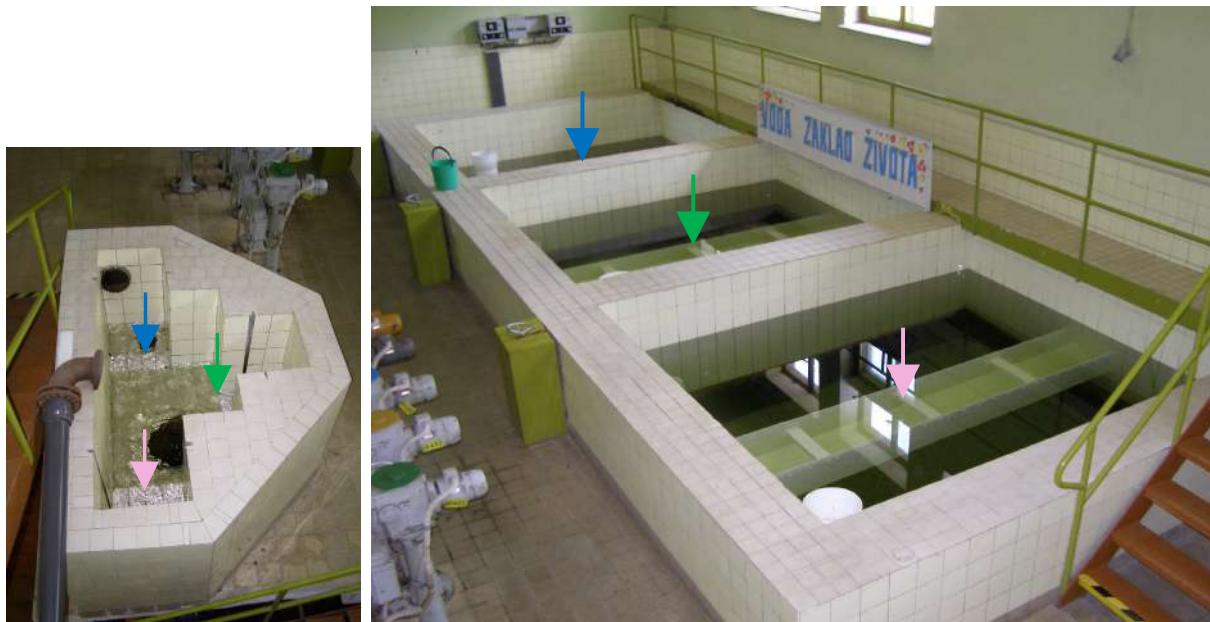
**Obr. 2. Filtr s hladinovou regulací (s regulačním prvkem – REG).** Zvoleno je stejné zobrazení jako v obrázku 1, ztráty v potrubí jsou pro přehlednost také zanedbány. Filtrační cyklus začíná v čase  $t_1$ , regulační prvek postupně otevírá (ztráta na něm se snižuje), hladina se během celého cyklu nemění. V rozsahu výšek označených „!“ je zakreslen podtlak (tlaková čára je pod polohovou výškou).

### Stejně zatížení filtrů

Stejně zatížení filtrů je možné zajistit:

- Rozdelením nátoku soustavou přelivných hran.** Přelivnou hranou je oddělen nátok na filtry od odtoku filtrátu. Pokud je na odtoku z takových filtrů regulační prvek, nemá funkci regulace průtoku, ale pouze regulace polohy hladiny – viz výše. Ano, při přívření

klapky na odtoku dojde dočasně ke snížení průtoku filtrem, toto snížení je však relativně rychle kompenzováno zvýšením hladiny a filtr opět filtruje svůj podíl. Používal se a stále používá třeba „klasický“ rozdělovací objekt před filtry, který má tolik přelivných sekcí, kolik je filtrů (viz obr. 3). V současné době je nejběžnější řešení použití nátokového žlabu. Pokud je využito přelivných hran k rovnoměrnému rozdělení nátoku na jednotlivé filtry, natéká na filtr (při stálém výkonu celé úpravny a při stálém počtu filtrů v provozu) stále stejné množství vody, bez ohledu na to, jak se filtr zanáší. To se někdy označuje jako řízení filtrů s konstantní filtrační rychlosťí „constant rate“. Pozn.: Jiná situace by nastala při zaplavení žlabu – došlo by ke zrušení funkce přelivné hrany, k hydraulickému propojení nátoku s odtokem a k chování filtrů popsanému níže pod písmenem B.



Obr. 3. ÚV Bílý Potok před rekonstrukcí, filtry s drceným vápencem

**B. Jinak než přelivem přes hranu.** Voda natéká pod hladinu ve filtru. Mezi nátokem na filtry a odtokem z nich není žádná přelivná hrana, nátok a odtok nejsou hydraulicky odděleny. Pokud je v tomto případě za každým filtrem regulační prvek (např. klapka, ventil), ovlivňuje jeho nastavení jak hladinu – zde ovšem ve všech filtroch společně, rozdíly v hladině mezi filtrovými vývody jsou malé – tak také průtok vody filtrem. Při takovém uspořádání lze filtry vhodným nastavením regulačních prvků na odtoku z každého z nich provozovat jak v režimu „constant rate“, jak bylo popsáno výše, tak také jinak. Je však potřeba si uvědomit, že každý pohyb regulačního prvku má za následek změnu jak hladiny, tak i průtoku. Z uvedeného vyplývá následující otázka. Je možné udržovat jenom hladinu a rezignovat na skutečnost, že každým filtrem v jednom okamžiku protéká jiné množství vody, podle toho, jak je ten, který filtr zanesen a jaká je tlaková ztráta ve filtračním loži? Na tuto otázku zní jednoznačně odpověď ANO. Zároveň je dobré omezit extrémní průtoky čistým filtrem hned po vyprání – na odtoku z jednotlivých filtrů je někdy místo regulačního prvku pouze prvek omezující extrémní průtok (štěrbina) a na společném potrubí je např. přelivná hrana pro zajištění minimální hladiny podle bodu 1 výše. Během filtračního cyklu se filtrační rychlosť snižuje, proto je tento způsob regulace označován jako „declining rate“. U filtrů s proměnlivou filtrační rychlosťí dochází k rovnoměrnějšímu zanášení celé filtrační vrstvy, a nejenom horní vrstvy jako u filtrů s konstantní hladinou. Další podrobnosti přesahují rámec tohoto teoretického zamýšlení projektanta.

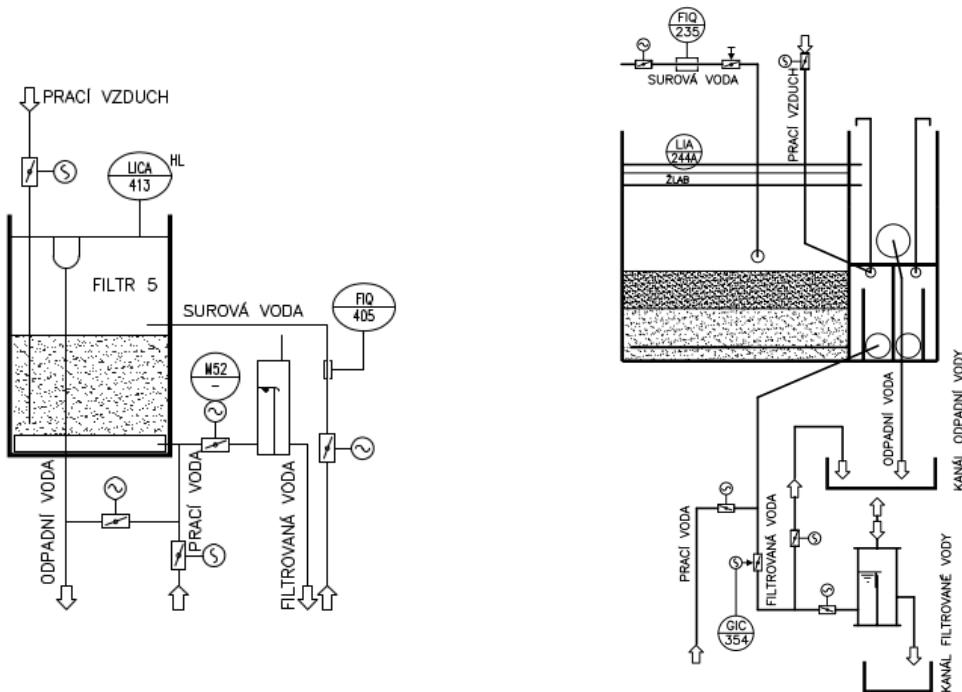
## ZKUŠENOSTI Z JEDNOTLIVÝCH MOŽNOSTÍ PROVEDENÍ FILTRŮ

Možné jsou všechny kombinace provedení filtrů – I.A, I.B, II.A i II.B. „Klasické“ filtry navrhované obvykle v ČR jsou variantou II.A, tedy s nátokem přes přelivné hrany žlabů a s hladinovou regulací. Poměrně běžně se v ČR lze dále setkat s filtry se snižující se filtrační rychlosí [4] „declining rate“, které jsou z hlediska výše uvedeného rozdelení označeny I.B. Autoři příspěvku mají současně zkušenosti s uspořádáním II.B – viz dále. Uspořádání I.A, tedy filtry bez hladinové regulace a s přelivem přes hrani, se stávají vzácnými a je od nich opouštěno. Budoucnost ukáže, zda v některých případech malého hydraulického spádu a nutnosti výškové „vtěsnat“ mezi stávající filtry a stávající akumulaci upravené vody např. filtry s GAU nebude vhodné se k tomuto jednoduchému a z hlediska místních ztrát příznivému principu vrátit.

V dalším textu jsou konkrétní postřehy k jednotlivým možnostem řízení filtrů.

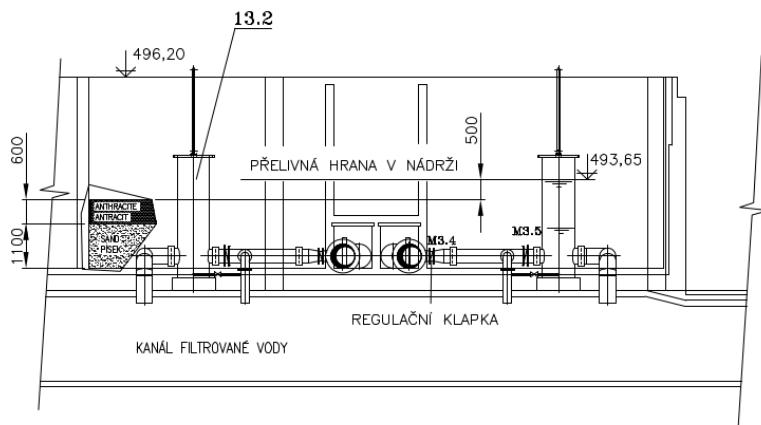
#### I.B – Filtry bez hladinové regulace (s přelivem na odtoku) s nátokem pod hladinu

Jedny z prvních filtrů se systémem declining rate byly realizovány v 90 letech na ÚV Meziboří (obr. 4). Zkušenosti z této úpravny vody byly následně využity při návrhu rekonstrukce ÚV Hradiště (obr. 5, obr. 6). Na odtok filtrované vody byla doplněna regulační klapka. Funkce regulační klapky spočívala v postupném uvedení filtru do provozu po jeho vyprání. Bez omezení průtoku klapkou by hrozilo při počáteční vysoké rychlosti „vypláchnutí“ zbytku znečištění z filtrační náplně do upravené vody. Regulační klapka byla tedy ve funkci v době po vyprání filtru. Při odtoku filtrované vody potrubím zafiltrování do odpadu byl klapkou regulován průtok tak, aby nebyl překročen stanovený maximální průtok filtrem. V současné době jsou na ÚV Hradiště na odtoku z filtrů osazené jednotky UV záření a přelivná hrana je vyřazena z provozu.



#### Obr. 4. Schéma filtru se systémem declining rate na UV Meziboří

**Obr. 5. Schéma filtru se systémem declining rate na UV Hradiště**



Obr. 6 Výškové uspořádání filtru na ÚV Hradiště

## II.A – Filtry s hladinovou regulací s nátokem přes přelivnou hranu

Jedná se o klasické řešení filtrů v České republice. U těchto filtrů je nutné věnovat velkou pozornost rozdělení vody na jednotlivé filtry tak, aby byly všechny stejně zatížené. Pro zajištění tohoto požadavku se mohou na přítokové potrubí instalovat regulační klapky a měření průtoku. U větších úpraven vod (např. ÚV Plzeň, ÚV Želivka – GAU filtrace) nebo tam, kde jsou velké rozdíly mezi minimálním a maximálním průtokem, jsou použité regulační klapky s elektropohonem a rozdělení vody je řízeno řídicím systémem. Běžnější je ale praxe, že tyto regulační klapky jsou ruční a rozdělení vody na jednotlivé filtry se nastaví při uvádění do provozu. Ale jsou i výjimky, např. na ÚV Želivka, na pískové filtraci F1, je rozdělení vody pro 32 filtrů pouze hydraulické. Hydraulické rozdělení vody bylo aplikováno také na ÚV Vlastislav.

Při návrhu těchto filtrů je potřeba si uvědomit omezení možnosti na změnu řízení filtrů, či doplnění dalšího technologického stupně, např. tím, že je na filtry nátok přes přelivnou hranu a jsou omezené možnosti zvýšení provozní hladiny.

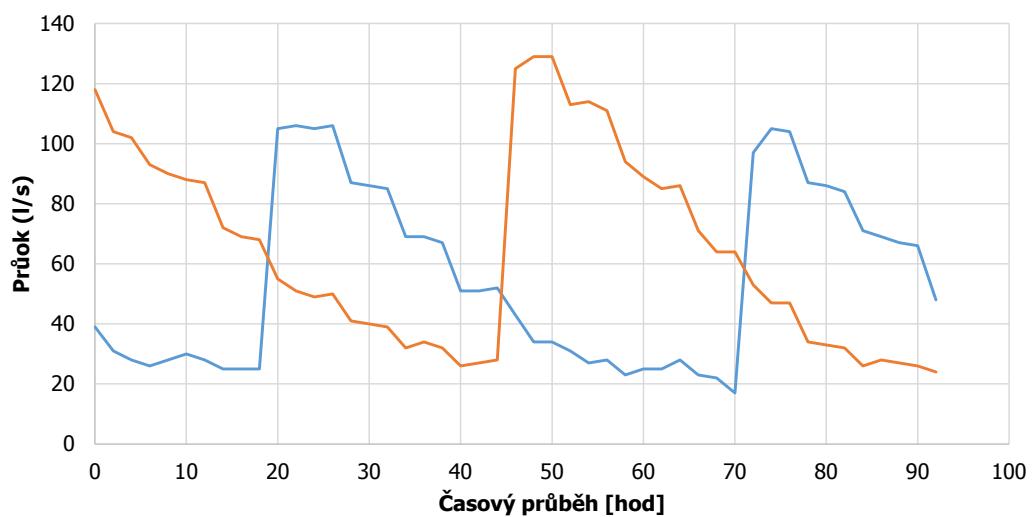
Pro volbu tohoto způsobu řešení je třeba provést důkladnou hydraulickou analýzu náaktu vody na filtraci.

## II.B – Filtry s hladinovou regulací s nátokem pod hladinu

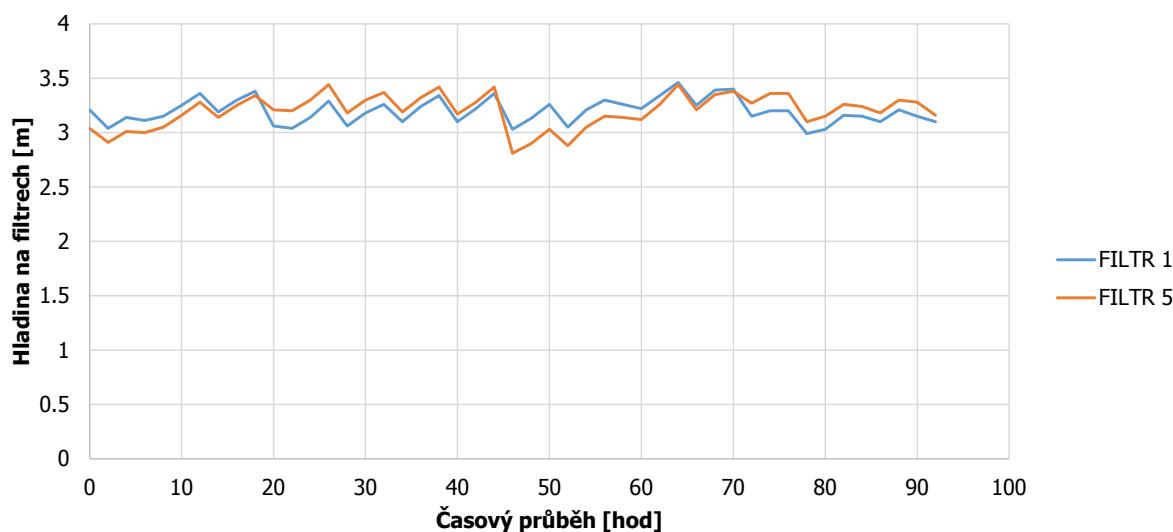
V současné době takto pracují filtry např. na ÚV Hradiště a ÚV Chřibská. Na ÚV Hradiště se na tento způsob regulace přešlo až po rekonstrukci, v době, kdy byly doplněny jednotky UV záření na odtoku z filtrů. Při rekonstrukci ÚV Chřibská tedy byly využity zkušenosti z ÚV Hradiště a byla navržena filtrace s nátokem pod hladinu a regulačním uzávěrem na odtoku z každého filtru. Návrh rekonstrukce filtrů na ÚV Chřibská, nátok pod hladinu a výškové uspořádání, byl proveden tak, aby bylo možné filtry provozovat buď v režimu filtrace s konstantní filtrační rychlostí („constant rate“) anebo v režimu s proměnlivou filtrační rychlostí („declining rate“). Pokud filtry pracují správně, resp. jsou správně ovládané, pak průtok na jednotlivé filtry se mění v závislosti na jejich zanesení a je různý (obr. 7, obr. 8). Ale celkové zatížení filtrů je stejné. Podobné řešení bylo použito při rekonstrukci UV Kroměříž [4], kde je ale na rozdíl od ÚV Chřibské použit jeden regulační uzávěr na společném odtoku filtrované vody. Nyní si můžeme položit otázku, zda by nebylo vhodným řešením osadit regulační klapku za každý filtr (pro regulaci průtoku) a následně regulační uzávěr na společné potrubí (pro regulaci hladiny).

### Filtry s nátokem pod hladinu

Při návrhu filtru s nátokem pod hladinu je nutné věnovat velkou pozornost provedení přítokového potrubí, resp. náaktu surové vody do filtru. Při nevhodně provedeném náaktu může docházet k vyplavování filtrační náplně. Aby k tomu nedocházelo, je vhodné na vstupní přírubu osadit usměrňovač náaktu (obr. 9) nebo u větších filtrů rozváděcí potrubí.



Obr. 7. Časový průběh průtoku na filtry, ÚV Hradiště, rok 2020



Obr. 8. Časový průběh hladiny na filtroch, ÚV Hradiště, rok 2020



Obr. 9. Usměrnění výtoku surové vody na filtr, ÚV Chřibská

## **ZÁVĚRY**

Na otázku položenou v názvu tohoto příspěvku není jednoznačná odpověď. Vhodnější by byla patrně otázka, jaký typ regulace filtru navrhnut pro dané podmínky. U klasického řešení s nátokem přes přelivnou hranu žlabu a odtokovou regulací (II.A) bude poměrně jednoduché řízení filtru, řízení bude omezeno pouze na zajištění konstantní hladiny na filtroch. Ale také víme, že se nevyužívá celková kalová kapacita filtrační náplně, vrchní vrstvy písku jsou rychleji zanesené. U filtrů s nátokem přes přelivnou hranu je nutné také se věnovat správnému návrhu nátokového potrubí, aby byl na všechny filtry stejný průtok.

Naopak u filtrů s proměnnou filtrační rychlosťí (declining rate), díky počátečnímu vyššímu průtoku (viz obr. 7), dochází k zanášení filtračního materiálu od spodních vrstev a tím i většímu využití kalové kapacity filtru. Tyto filtry jsou ovšem náročnější na řízení oproti filtrům s konstantní filtrační rychlosťí. Velkou výhodou těchto filtrů je, že při jejich správném návrhu je možné rozhodnutí o způsobu regulace během provozu změnit. U filtrů s nátokem pod hladinu odpadá nutnost řízení průtoku surové vody na jednotlivé filtry.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkujeme za podněty od investorů, provozovatelů a starších (zkušenějších) kolegů, bez nichž by tento příspěvek nemohl vzniknout. Neb nás svými dotazy a připomínkami stále posunují dále.

## **SEZNAM LITERATURY**

1. American Water Works Association a EDZWALD, James. Water Quality & Treatment. A Handbook on Drinking Water. Sixth Edition. 2011. McGraw Hill 2011. ISBN 978-0071630115
2. American Water Works Association and American Society of Civil Engineers. Water Treatment Plant Design. Fifth Edition. 2012. McGraw Hill 2012. ISBN 978-0071745727
3. Great Lakes – Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers. Recommended Standards For Water Works. 2012 Edition (dostupné na <https://www.health.state.mn.us/communities/environment/water/docs/tenstates/waterrev2012.pdf>)
4. ADLER, Pavel, VEDRA Petr. Rekonstrukce a rozšíření úpravny vody v aglomeraci Kroměříž. Inženýrská komora 2016, ČKAIT, s. 64-71.
5. Hydroprojekt CZ, a.s. P0109 – Upravna vody Hradiště. Dokumentace skutečného provedení. Zak. č. 104249-4-01, 2006.

# SLOŽENÍ A ÚČINNOST ODSTRANĚNÍ ORGANICKÝCH LÁTEK NA ÚV STUDENÁ

doc. Ing. Petr PORCAL, Ph.D.<sup>1)</sup>, Ing. Jiří JAROŠÍK<sup>1)</sup>, Ing. Jiří STARA<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Biologické centrum AV ČR, v.v.i., Hydrobiologický ústav,

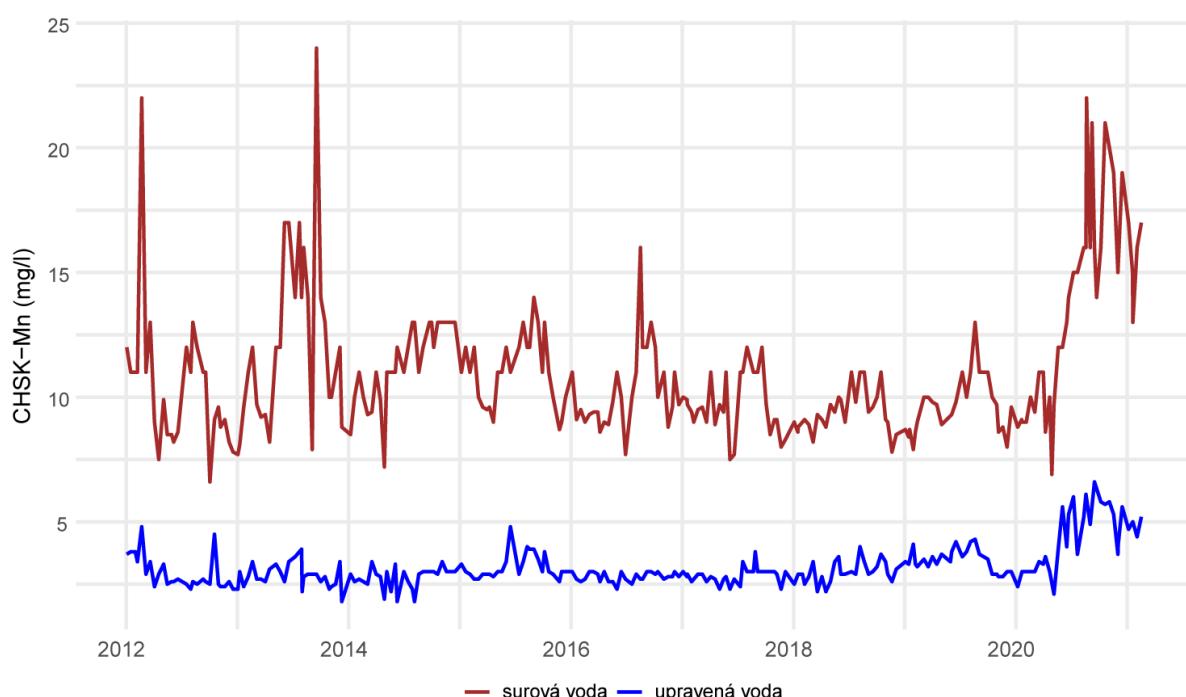
Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice;

<sup>2)</sup> ČEVAK a.s., Severní 2264/8, 37010 České Budějovice

E-mail: [porcal@hbu.cas.cz](mailto:porcal@hbu.cas.cz)

## ÚVOD

Úpravna vody Studená – Horní Pole upravuje povrchovou vodu z vodárenské nádrže Karhov. Surová voda se vyznačuje zvýšeným obsahem organických látok převážně huminového charakteru. V posledních letech došlo k jejich výraznému nárůstu, který je ještě umocněn vytěžením odumřelého lesa po kůrovcové kalamitě (obr. 1).



Obr. 1. Obsah organických látok v surové a upravené vodě z vodárenské nádrže Karhov (data: ČEVAK, a.s.)

K nárůstu nedochází jen v posledních letech, ale je patrný i v delším časovém období. Průtokově vážené koncentrace celkového (TOC) a rozpuštěného (DOC) organického uhlíku byly v roce 2008 9,6 a 8,3 mg l<sup>-1</sup> (Hejzlar et al. 2009), v době poloprovozního testování flotace rozpuštěným vzduchem v roce 2021 byla jejich průměrná hodnota 15,2 a 13,8 mg l<sup>-1</sup> pro TOC a DOC.

## FLOTACE ROZPUŠTĚNÝM VZDUCHEM

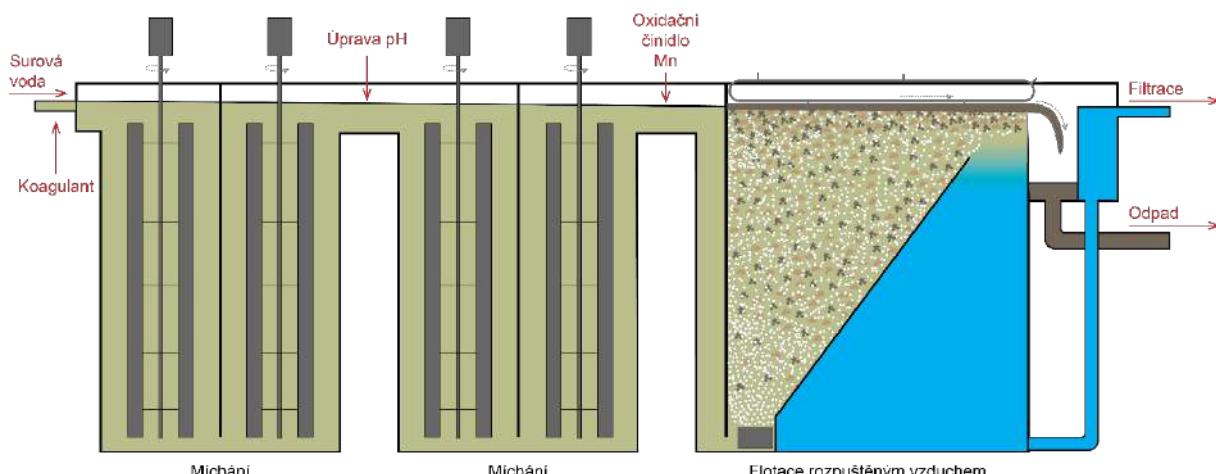
V technologii vodárny se v současné době k úpravě surové vody používá koagulační filtrace za použití předpolymerovaného hlinitého koagulantu PAX-18. K veškerému odstranění vznikající suspenze je využívána filtrace na dvou pískových filtrech. Zatížení filtrů brání jejich možnému odstavení a rekonstrukci.

Jednou z možností snížení zatížení filtrů a zvýšení jejich účinnosti je předřazení technologie flotace rozpuštěným vzduchem. Pro testování a optimalizaci využití flotace rozpuštěným vzduchem k odstranění suspenze vznikající při koagulaci byl využit poloprovozní model zapůjčený od firmy ENVI-PUR, s.r.o.

Model se skládal ze dvou míchacích agregačních elementů, kde docházelo míchání a k tvorbě suspenze (obr. 2). Voda se vzniklou suspenzí byla vedena na flotační jednotku, kde navázáním bublinek vzduchu na vločky suspenze došlo k tvorbě pěny na hladině a jejímu mechanickému odstranění (obr. 3).

### Koagulační činidla

Pro ověření vhodnosti technologie flotace rozpuštěným vzduchem na snížení zatížení filtrace byla použita dvě koagulační činidla. Prvním koagulačním činidlem byl předpolymerovaný hydroxid hlinitý dostupný pod obchodním názvem PAX-18; toto koagulační činidlo je v současnosti využíváno pro koagulační filtrace na úpravně vody. Druhým koagulačním činidlem byl síran železitý.



**Obr. 2. Schéma poloprovozního modelu flotace rozpuštěným vzduchem s dvěma agregačními moduly**

## KVALITA ORGANICKÝCH LÁTEK

Fluorescenční 3D excitačně emisní spektrometrie byla použita k identifikaci typických skupin organických látek v surové a upravené vodě (Mostofa et al. 2013).

Byly identifikovány tři hlavní skupiny organických látek odpovídající jejich rozdílnému původu.

Skupina C1 představuje alochtonní organické látky mající charakter huminových a fulvinových kyselin, které se do vodárenské nádrže dostávají z povodí.

Skupiny C2 a C3 odpovídají organickým látkám produkovaným mikrobiálními procesy v nádrži, jde převážně o produkty řas, extracelulární polymery, aminokyseliny a další organické látky mikrobiálního původu.

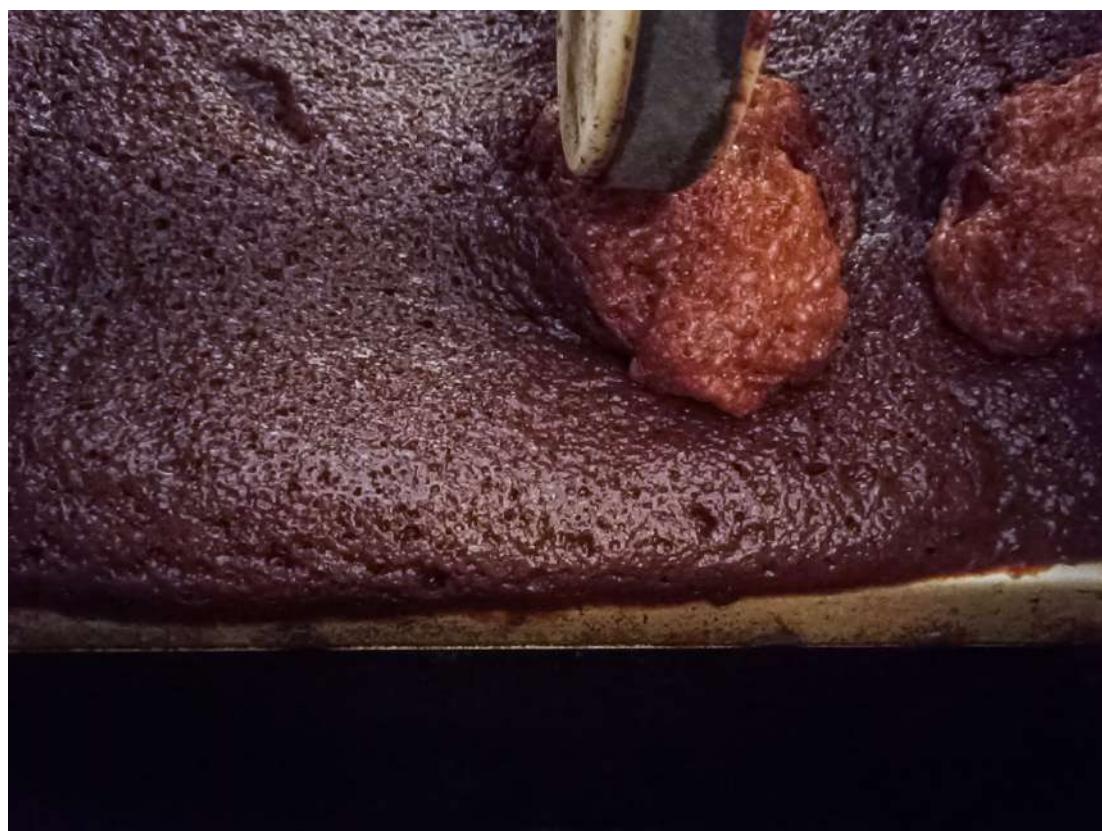
Skupina C1, odpovídající huminovým látkám, představovala  $50,2 \pm 2,4$  % všech organických látek v surové vodě schopných fluorescence.

Skupina C2 představovala  $28,6 \pm 1,5$  % a skupina C3 představovala  $21,2 \pm 2,5$  % všech organických látek schopných fluorescence.

### **Účinnost flotace rozpuštěným vzduchem**

Pokles koncentrace organického uhlíku po flotaci činil minimálně 58 % pro předpolymerovaný koagulant a pro síran železitý činil pokles 64 %.

Pokles barvy byl výraznější než pokles organických látek a pro absorbční koeficient  $a_{436}$  činil 79 % při použití hlinitého koagulantu, ale jen 53 % při použití síranu železitého. Podobně to platí i pro absorbční koeficienty  $a_{525}$  a  $a_{620}$ . Následující filtrace dojde k výraznému zlepšení, což je způsobeno zachycením zbývajících vloček suspenze, kdy dojde k minimálnímu odstranění barvy pro absorbční koeficient  $a_{436}$  84 % pro síran železitý a 92 % pro PAX-18. Z pohledu odstranění barvy během separace suspenze flotací se jeví jako vhodnější koagulační činidlo předpolymerovaný chlorid hlinitý PAX-18.



**Obr. 3. Tvorba pěny během flotace rozpuštěným vzduchem**

### **Charakter organických látek po flotaci a v upravené vodě**

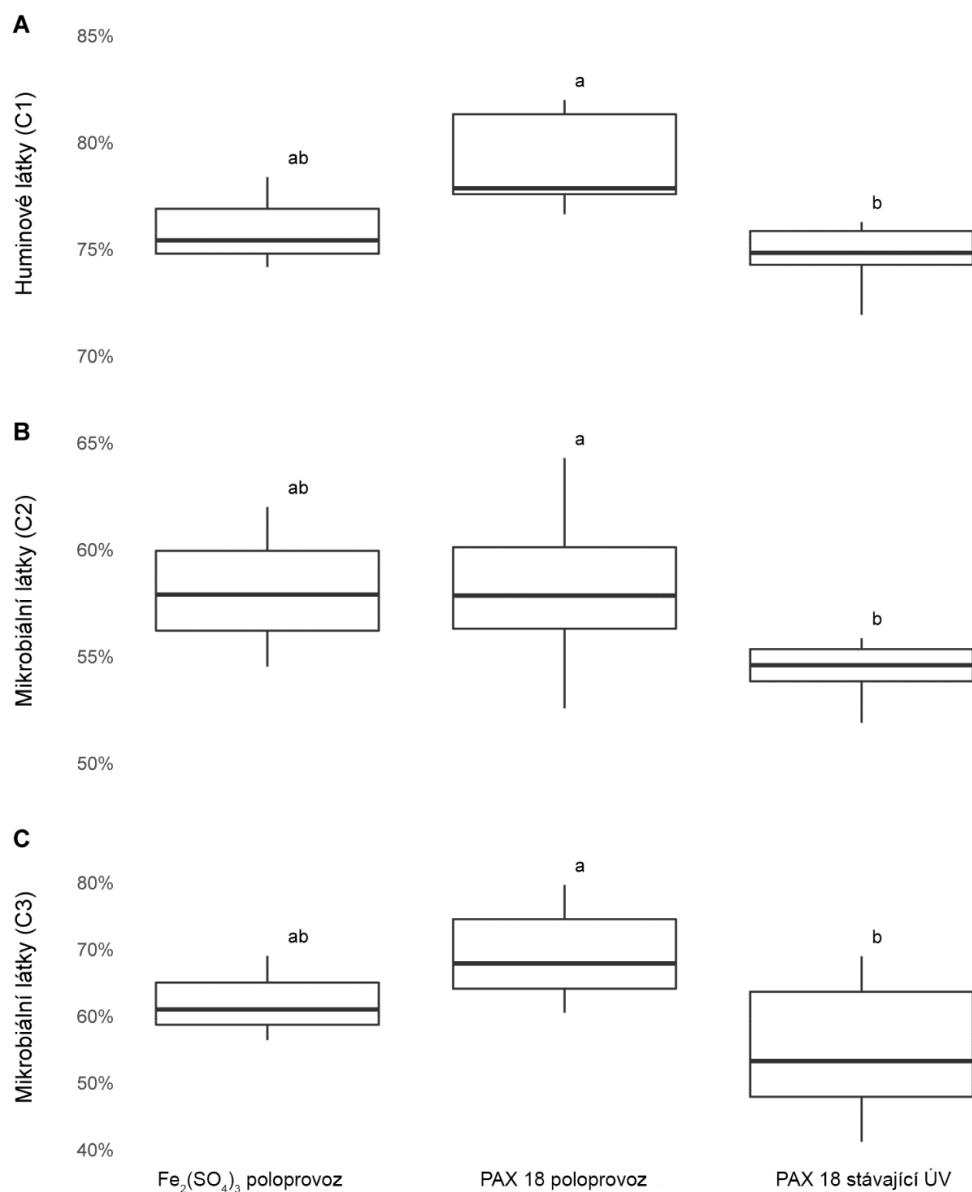
Při použití hlinitého koagulantu došlo průměrně k poklesu skupiny C1, reprezentující huminové a fulvinové látky z povodí, o 77 % a během následné filtrace byl pokles zvýšen na 79 %.

V případě použití síranu železitého byl pokles huminových látek flotací 70 % a následnou filtrace se zvýšil na 76 %. Výraznější rozdíl v účinnosti odstranění skupin organických látek byl

pozorován pro skupiny C2 a C3, odpovídajících organickým látkám mikrobiálnímu původu. Pokles obou skupin byl větší při použití hlinitého než při použití železitého koagulantu.

Následná filtrace přiblížila účinnost odstranění těchto skupin organických látek jak pro hlinitý, tak i pro železitý koagulant. Z pohledu snížení zatížení filtrace je pro flotaci vhodnější hlinitý koagulant, protože následná filtrace je zatížena jen malým množstvím organických látek z těchto skupin. V případě skupiny C2 se účinnost odstranění filtrací významně nezvýšila.

Účinnost odstranění organických látek ve stávajícím uspořádání a za provozních podmínek úpravny byla testována v květnu a srpnu 2021 a únoru 2022. Účinnost odstranění TOC/DOC na I. i II. stupni filtrace byla 64–66 %, pokles barvy ( $a_{436}$ ) byl 97–99 % květnu 2021, 82–93 % v srpnu 2021 a 91–93 % v únoru 2022.



**Obr. 4. Účinnosti odstranění skupin organických látek, (A) huminové látky (C1), (B) mikrobiální organické látky (C2), (C) mikrobiální organické látky (C3), pro dva typy koagulantu při poloprovozním testování flotace rozpuštěným vzduchem a stávajícím provozu úpravny vody. Samostatná malá písmenka (a, b) značí statisticky významnou odlišnost.**

Pokles skupiny organických látek C1, huminových látek z povodí nádrže, byl 71–77 %. Skupinu C2 představující organické látky mikrobiálního původu se dařilo odstraňovat z 51–56 % pro skupinu C2. Účinnost odstranění skupiny C3 závisela více na ustáleném provozu úpravny a pohybovala se od 40 do 66 %. Nejvyšší účinnosti bylo dosaženo v květnovém termínu, kdy zastoupení skupiny C3 po I. stupni kleslo o 56 % a po II. stupni celkem o 66 % (obr. 4).

Účinnost odstranění organických látek poloprovozním modelem flotace rozpuštěným vzduchem v kombinaci s filtrace byla větší než u stávajícího uspořádání technologie. Jedním vysvětlením by mohl být předpokládaný nižší výskyt organických látek mikrobiálního původu v podzimních měsících během testování flotace rozpuštěným vzduchem, ale k tomu pravděpodobně nedošlo. Celkový obsah organických látek vyjádřený hodnotou TOC byl během testování stejný jako v srpnu 2021. Množství organiky ve skupinách C1, C2 a C3 bylo během podzimního testování vyšší než v srpnu. Nejvýznamějším parametrem odlišujícím poloprovozní testování flotace rozpuštěným vzduchem a stávající provozní podmínky úpravny je doba zdržení vody s nadávkovaným koagulantem v agregační části flotace rozpuštěným vzduchem.

## ZÁVĚRY

- flotace rozpuštěným vzduchem rozpuštěným vzduchem jako první separační stupeň ÚV Studená – Horní Pole je vhodnou technologií, která povede ke snížení zatížení filtrů. Během poloprovozního testu flotace rozpuštěným vzduchem došlo k poklesu obsahu organických látek o 59 % a následnou filtrace přes membránový filtr o dalších 6 % na celkových 64 %.
- Předpolymerovaný hlinitý koagulant vykazoval větší účinnost odstranění organických látek než železitý koagulant.
- Před flotaci doporučujeme zařadit míchací/agregační stupeň s dobou zdržení asi 30 minut.

## PODĚKOVÁNÍ

Ověření technologie flotace rozpuštěným vzduchem bylo financováno z projektu číslo T001000202, Pitná voda – připravenost na budoucnost, který byl podpořen částkou 1 mil. € Norskými fondy a Technologickou agenturou ČR v rámci Programu KAPPA.

The DWARF, Drinking water for the future project benefits from a € 1 mil. grant from Norway and Technology Agency of the Czech Republic within the KAPPA Programme.



Programme **Kappa**

T A  
C R

## **SEZNAM LITERATURY**

1. Hejzlar, J., J. Borovec, J. Jan, J. Kopáček, and J. Žaloudík. 2009. "Vodárenská nádrž Karhov: mapování sedimentů a bilanční vyhodnocení vlivu přítoků na eutrofizaci nádrže." Zpráva pro Povodí Vltavy. Biologické centrum AV ČR, v.v.i., Hydrobiologický ústav.
2. Mostofa, K. M. G., T. Yoshioka, A. Mottaleb, and D. Vione. 2013. Photobiogeochemistry of Organic Matter. Berlin, Heidelberg: Springer. doi.org/10.1007/978-3-642-32223-5.

# ÚV HOLEDEČ – POZNATKY Z REKONSTRUKCE A ZKUŠEBNÍHO PROVOZU

Ing. František FEDOR<sup>1)</sup>, Ing. Soňa PILZOVÁ<sup>2)</sup>, Ing. Radka PEČENÁ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Severočeská servisní a.s., Přítkovská 1698/14, 415 50 Teplice

<sup>2)</sup> Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., Přítkovská 1698/14, 415 50 Teplice

E-mail: [frantisek.fedor@scservisni.cz](mailto:frantisek.fedor@scservisni.cz)

## ÚVOD

Úpravna vody Holedeč se nachází jižně od Žatce. Zdrojem vody pro úpravnu jsou vrty umístěné v okolí úpravny. Při rekonstrukci byla mimo jiné zrekonstruována aerace a filtrace a doplněn 1. separační stupeň – sedimentační nádrže. Příspěvek se věnuje rekonstrukci jako takové a vyhodnocení zkušebního provozu.

Upravenou vodou přímo z výtlačného potrubí ÚV je zásobována obec Holedeč a Holedeček, dále je voda přivedena do vodojemu Žatec STP. Další výtlačný řád vede vodu do vodojemu Skalka pro obce Hřivice, Kluček, Lipno a v blízké budoucnosti se připravuje napojení dalších obcí na tento výtlačný řád. Úpravna také zásobuje vodojem pro obec Měcholupy.

## HISTORIE

Zhoršující se kvalita vody v řece Ohři, kterou byl Žatec zásobován a neznalost úpravy vody povrchové na pitnou, vedla na počátku 20. století k rozhodnutí hledat zdroj podzemní vody. To se podařilo po první světové válce na okraji obce Holedeč. V roce 1928 byly vyvrtány čtyři vrty a zahájena stavba úpravny vody pro odstranění železa.

Stavbu zajišťovala firma BILL COMPANY Ústí nad Labem. Celé dílo bylo dokončeno a kolaudováno v roce 1933. Tento zdroj vody slouží městu Žatci dodnes. Po roce 1945 bylo vybudováno dalších sedm vrtů.

Až do roku 1964 byla voda jímána z jedenácti vrtů. Upravovaná voda se čerpala ze zdrojů na tlakové rychlofiltry. Před vtokem na filtry byl do surové vody vháněn vzduch stabilními kompresory umístěnými ve strojovně. Po průtoku filtrací odtékala voda do akumulační nádrže, kde se mísla s vodou bez úpravy. Filtry byly naplněny odkyselovací hmotou FERMAGO. Železnaté soli ze surové vody se oxidovaly vzdušným kyslíkem a vysrážené hydroxidy se zachycovaly na tlakových filtroch. Tato technologie se vzhledem ke vzrůstajícímu množství upravované vody a vyššímu množství železa v surové vodě stala nedostatečnou.

V roce 1999 bylo na počátek technologické linky instalováno provzdušňovací zařízení BUBLA 40/V. Cílem zařazení technologické jednotky bylo zlepšení separační účinnosti filtrů v ukazateli železo a mangan a zvýšení výkonu úpravny na 90 l/s. Dodavatelem technologie byly Vodní zdroje Praha, projektantem stavby Útvar projekce Liberec Severočeské vodovody a kanalizace a.s. Teplice, investorem SVS a.s. Teplice. Současně byla provedena rekonstrukce tlakového filtru č. 6, který se následně začal využívat jako reakční nádrž a zavedení ASŘTP (Automatický systém řízení technologického procesu) SIMATIC S7 2DP. V roce 2000 bylo zahájeno dávkování manganistanu draselného za účelem dalšího snížení obsahu mangantu v upravené vodě.

Od roku 2003 bylo na úpravně zavedeno dávkování inhibitoru koroze ALBAPHOS na základě technologického návrhu firmy BK Giulini [1].

## **REKONSTRUKCE ÚPRAVNY**

Důvodem k rekonstrukci úpravny byl jednak její technický stav, jednak potřeba zajistit dodávky pitné vody v odpovídajícím množství a kvalitě v situacích, kdy nebylo možné využít vždy všech zdrojů z důvodu vyšší koncentrace mangantu.

V roce 2016 proběhly na úpravně testy modelového zařízení pro první separační stupeň. Modelové zařízení bylo složeno z flokulace a lamelového separátoru. Testy prokázaly, že je lamelový separátor vhodným technologickým stupněm pro tento typ surové vody.

Rekonstrukce úpravny probíhala v období 2019/2021. Zhotovitelem bylo sdružení „Arko-HST-Holedec“. Po celou dobu rekonstrukce provázely stavbu komplikace stavebního rázu např. provádění železobetonových konstrukcí, finální úprava povrchů, nekvalitní provedení poklopů na sacích jímkách apod. Rovněž docházelo ke zdržení oproti stanoveným termínům. Nemalý vliv měla i epidemická situace (Covid 19).

Rekonstrukce probíhala za plného provozu, kdy se přednostně používala voda z vrtů s nižším obsahem železa a mangantu.

Technologická linka po rekonstrukci:

- Surová voda (9 vrtů)
- Aerace a odvětrání – 2× BUBLA (2× 30 l/s)
- Dávkování vápenného hydrátu a manganistanu draselného
- Flokulace s dávkováním polymerního flokulantu
- Lamelový separátor
- Dávkování manganistanu draselného (alternativně)
- Čtyři otevřené rychlofiltry s pískovou náplní (obr. 1)
- Hygienické zabezpečení – plynný chlor (možnost chloraminace)
- Akumulace
- Dávkování inhibitoru koroze na výtlaky do distribuční sítě



**Obr. 1. ÚV Holedeč – hala filtrace**

Surová voda z vrtů je provzdušňována na nových aeračních jednotkách. Po nadávkování vápenného hydrátu a manganistanu draselného natéká voda zespadu do reakční nádrže a následně odtéká do dvou sedimentačních nádrží. Z lamelových separátorů je odsazená

voda odváděna společným potrubím na otevřené pískové filtry s výškou náplně 1,6 m o celkové ploše 35 m<sup>2</sup>. Rekonstrukce filtrace byla zahájena až po zprovoznění 1.separačního stupně. Postupně byly původní tlakové filtry odstavovány a nahrazeny novými filtry.

Odpadní vody z praní filtrů jsou vedeny potrubím do odsazovací jímky a nově je možné z jímky čerpat recirkulát (odsazenou vodu) zpět do technologické linky. Je zde blokace praní s ohledem na hladinu v odsazovací jímce – jímka musí být před dalším praním/odkalením vždy prázdná. Odpadní vody z prvního separačního stupně a kaly z odsazovací jímky jsou odváděny na kalové laguny.

Výkon úpravny vody (surová voda):

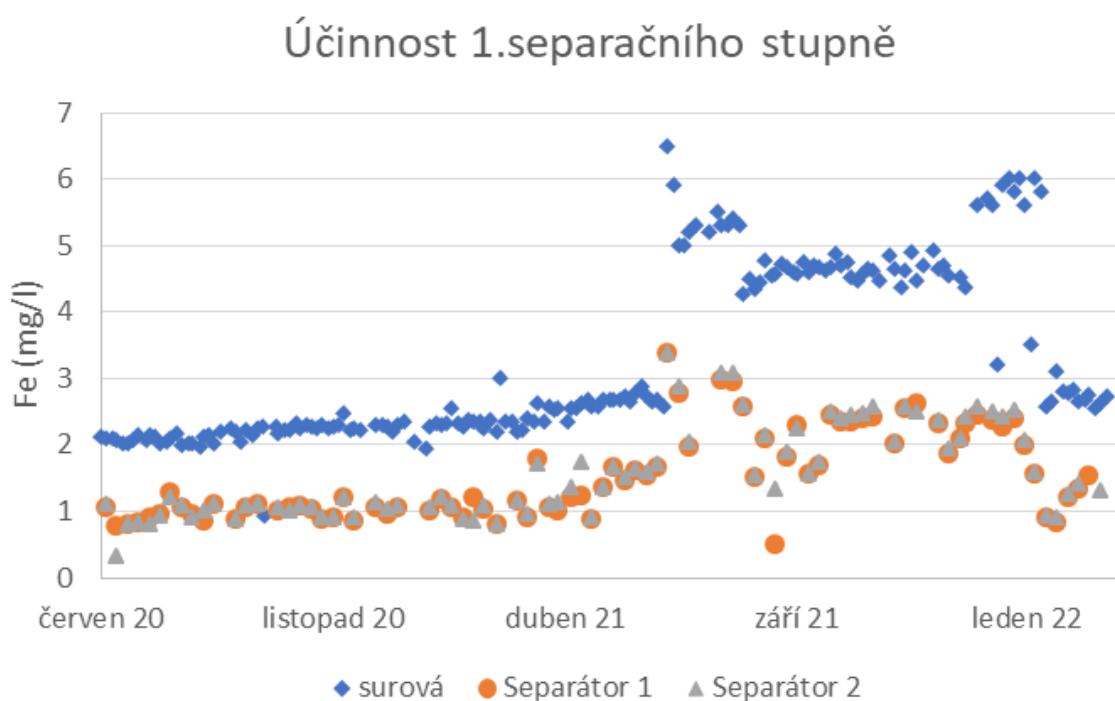
- Maximum 60 l/s
- Průměr 30 l/s
- Minimum 15 l/s

V rámci předprojektové přípravy byl rozšířen monitoring pesticidních látek a jejich metabolitů. Vzhledem k tomu, že tyto látky nebyly v surové vodě prokázány, nebyla v rámci rekonstrukce instalována adsorpce na aktivní uhlí (AU). Pro případnou potřebu v budoucnu byla ponechána prostorová rezerva [2].

## POZNATKY ZE ZKUŠEBNÍHO PROVOZU

V průběhu zkušebního provozu je monitorována kvalita vody při různých provozních stavech, zahrnujících např. skokové změny kvality surové vody, změny ve výkonu úpravny, poruchové stavy apod. Zároveň je ověřována funkčnost všech zařízení.

Účinnost 1.separačního stupně byla v roce 2021 53 %. Na obrázku (obr. 2) je patrné, že nárůst koncentrace železa na odtoku z 1. separačního stupně je úměrný nárůstu koncentrace železa v surové vodě.



Obr. 2. ÚV Holedeč – surová voda a odtok ze separátorů, ukazatel železo

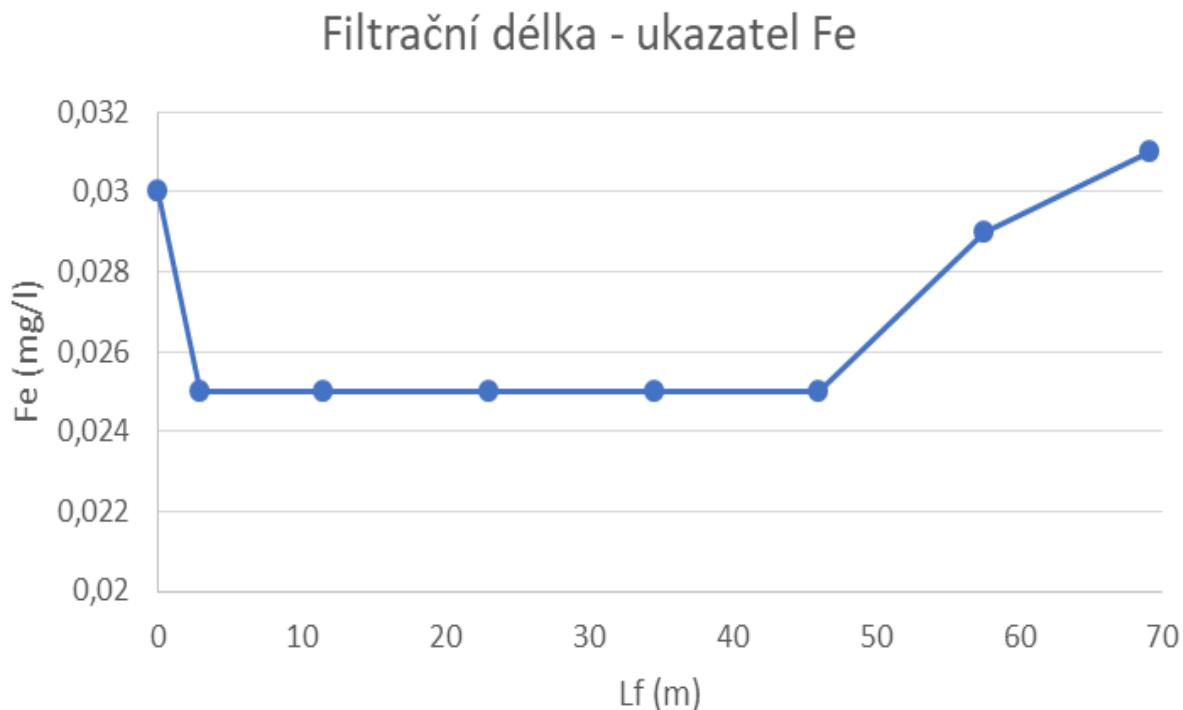
Na dalším obrázku (obr. 3) je příklad filtračního cyklu sledovaného ve zkušebním provozu vyjádřený jako průběh zbytkové koncentrace Fe ve filtrátu v závislosti na dosažené filtrační délce L(f).

Provozní ukazatele pro rekonstruovaný provozní pískový filtr:

- Délka filtračního cyklu je 24 hodin.
- Spotřeba na praní 99 m<sup>3</sup>.
- Filtrační délka 69,12 m.

Na odtoku z úpravny byla v roce 2021 koncentrace železa hluboko pod limitem vyhlášky č. 252/2004 Sb. (obr. 4). Koncentrace železa byla měřitelná v období zhoršení kvality surové vody, ale i v těchto případech byla pod hodnotou koncentrace 0,1 mg/l. Tento pozitivní výsledek byl dosažen díky zvýšení výkonu rekonstruované linky aerace.

Rovněž koncentrace mangantu v upravené vodě splňovala limit vyhlášky č. 252/2004 Sb. (obr. 5). V průběhu zkušebního provozu byly realizovány dlouhodobě plánované čerpací zkoušky a technologické opravy některých vrtů. Z tohoto důvodu docházelo ke zvýšení koncentrace mangantu v surové vodě. Situace byly řešeny úpravou dávek manganistanu draselného a polymerního flokulantu.



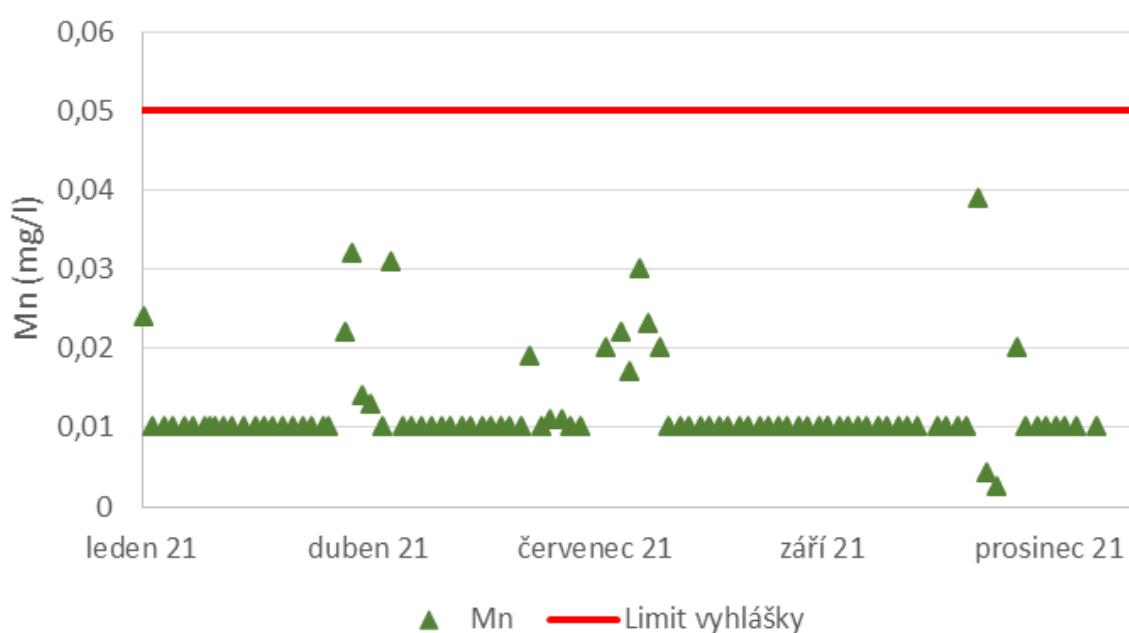
**Obr. 3. ÚV Holedeč – filtrační cyklus, ukazatel zbytková koncentrace železa ve filtrátu**

### Upravená voda - Fe



**Obr. 4. ÚV Holedeč – upravená voda, ukazatel železo**

### Upravená voda - Mn



**Obr. 5. ÚV Holedeč – upravená voda, ukazatel mangan**

V průběhu zkušebního provozu se sice ukázaly dílčí drobné nedostatky např. v dávkování manganistanu draselného, ovládání některých armatur apod., které ale jsou při rekonstrukcích obdobného rozsahu pochopitelné a očekávané. V průběhu zkušebního provozu byly odstraněny.

Dalším, bohužel negativním, poznatkem ze zkušebního provozu byly zkušenosti s vytápěním úpravny, konkrétně s provozováním tepelného čerpadla.

V období od Vánoc 2021 do poloviny března 2022 došlo k 18 výpadkům provozu, z nichž některé byly i několikadenní. A to za podmínek, kdy náhradní elektrokotel byl v poruše. Přes počáteční liknavý přístup dodavatele se postupně daří provozní problémy a poruchové stavy postupně odstraňovat.

## ZÁVĚRY

Závěry plynoucí z dosavadního průběhu zkušebního provozu na ÚV Holedeč jsou následující:

- Kvalita upravené vody splňuje limity dané vyhláškou č. 252/2004 Sb.
- Přes výše uvedené problémy v průběhu výstavby hodnotíme rekonstrukci ÚV Holedeč jako zdařilou.

## LITERATURA

1. [www.svs.cz](http://www.svs.cz)
2. Sweco Hydroprojekt a.s.: Holedeč ÚV – rekonstrukce. Povozní řád pro zkušební provoz.

# **VLIV STUPNĚ SORPCE NA GAU NA KVALITU PITNÉ VODY NA ÚPRAVNĚ VODY ŽELIVKA**

**Ing. Josef PARKÁN, Ing. Eva RIEDEROVÁ, Ing. Michal FIALA, Ing. Jiří MRKVA**

Želivská provozní a.s., K Horkám 16/23, 102 00 Praha 10 – Hostivař

E-mail: [riederova@zelivska.cz](mailto:riederova@zelivska.cz)

## **ÚVOD**

Úpravna vody Želivka v letošním roce oslaví 50 let provozu. Do provozu byla uvedena v roce 1972 jako jednostupňová technologie s chemickou úpravou sestávající z přípravy suspenze, pískové filtrace a zdravotního zabezpečení plynným chlorem, rozšíření na stávající kapacitu bylo realizováno v 80. letech minulého století, v roce 1991 byla doplněna o ozonizaci, která přispívá ke zlepšení kvality vody, odstraňuje bakterie a viry, snižuje obsah pesticidních látek a jejich metabolitů a zlepšuje senzorické vlastnosti vody.

Od roku 2005 probíhá postupně rekonstrukce a obnova vodohospodářského majetku. Mimo jiné zahrnovala rekonstrukci vápenného hospodárství, která proběhla ve dvou etapách v období 8/2005 až 5/2008. Rekonstrukce ozonizace proběhla v období 5/2009 až 6/2010. Rekonstrukce haly filtrace F1 má dokončenu projektovou přípravu. Nejvýznamnější investiční akcí byla prozatím výstavba nové haly sorpce na GAU, která byla včetně projektové přípravy realizována v období 2014 až 2020 a v únoru 2021 byla uvedena do zkušebního provozu.

Voda je do úpravny dodávána z vodárenské nádrže Švihov, která je největší českou vodárenskou nádrží. Při hladině zásobního prostoru 377 m n.m. je celkový objem vody v nádrži 266,6 mil. m<sup>3</sup>, při zatopené ploše 1432 ha (maximální hloubka 53,6 m, průměrná hloubka 18 m) a teoretickou dobu zdržení 430 dní. Plocha povodí je 1 178 km<sup>2</sup>. Správcem vodárenské nádrže je státní podnik Povodí Vltavy. Odběr surové vody z nádrže se provádí etážově ze dvou odběrných věží. Odběr surové vody z nádrže byl v roce 2021 průměrně cca 2,5 m<sup>3</sup>/s, roční odběr cca 79 mil. m<sup>3</sup>.

Významný vliv na kvalitu surové vody ve vodárenské nádrži Švihov má režim hospodaření v okolí nádrže, životní styl obyvatel a v neposlední řadě také klimatické změny. Kvalita vody ve vodárenské nádrži Švihov je ohrožována eutrofizací, přítomností pesticidních a dalších znečištěujících látek antropogenního původu, erozí nebo nevyrovnaností hydrologického režimu. Většinu bodových zdrojů znečištění představují komunální odpadní vody z obcí a měst (malé a střední zdroje znečištění). Laboratoře Povodí Vltavy, s. p. sledují cca 40 čistíren odpadních vod. Průmyslové zdroje jsou zastoupeny pouze minoritně, přičemž významnými zdroji jsou různé výrobní závody v Pelhřimově a papírna CEREPa, a.s. Červená Řečice, která ke znečištění vodárenské nádrže přispívá zejména u parametru Bisfenol A. Většina komunálních zdrojů odpadních vod patří mezi malé zdroje znečištění do 500 ekvivalentních obyvatel, mezi střední zdroje patří města Pelhřimov, Pacov a Čechtice. Nové čistírny odpadních vod (vybudované v posledních letech) a některé starší intenzifikované disponují technologií pro zvýšené biologické odstraňování dusíku a fosforu, a navíc mají možnost chemického srážení fosforu.

Významnou skupinou látek pocházejících z bodových zdrojů znečištění jsou vedle dusíku a fosforu zejména farmaka. Z pohledu eliminace specifických organických látek nemají ČOV v povodí vodárenské nádrže Švihov instalovány žádné nadstandardní separační stupně, jako

je např. sorpce na GAU, tzn., že celá řada těchto látek není v ČOV odstraňována vůbec nebo s velmi malou účinností a prochází dále do vodárenské nádrže.

Vedle bodových zdrojů znečištění ovlivňují kvalitu vody ve vodárenské nádrži Švihov velmi významně plošné zdroje znečištění. Z těchto zdrojů pocházejí zejména pesticidní látky, dusík a fosfor. Povodí vodárenské nádrže Švihov je nejen poměrně hustě osídlené, ale i intenzivně zemědělsky využívané. Více než 50 % plochy povodí vodárenské nádrže Švihov tvoří orná půda, 5 % tvoří pastviny a 10 % tvoří další různorodé zemědělské plochy. Plošné znečištění vod je způsobeno vyplavováním látek z půdního profilu nebo odtokem vody po povrchu terénu. Při erozi půdy (extrémní srážky, nevhodný management půdy) spolu s půdními částicemi odcházejí do vodních toků i látky na tyto částice navázané (např. fosfor) nebo ve vodě rozpustné (např. pesticidní látky a jejich metabolity).

Právě pesticidním látkám a jejich metabolitům a také léčivům a produktům osobní péče (Pharmaceuticals and personal care products – PPCPs) je v poslední době věnována velká pozornost. Zvýšené koncentrace těchto synteticky vyrobených organických látek mohou představovat riziko nejen pro vodní ekosystémy, ale zejména pro člověka, který vodní zdroj využívá k výrobě pitné vody. Z pohledu úpravy surové vody na vodu pitnou jsou pesticidní látky a jejich metabolity pro vodárny závažným problémem. Konvenční proces úpravy sestávající z koagulační filtrace je schopen tyto látky odstraňovat jen ve velice omezené míře. Řešením je doplnění procesu úpravy o další stupeň pokročilých technologií, nejčastěji o proces oxidace ozonem, případně kombinací ozonu a peroxidu vodíku, a následné sorpce na aktivním uhlí. S ohledem na přítomnost pesticidních látek a jejich metabolitů na prakticky celém území České republiky lze do budoucna předpokládat doplnění o tyto pokročilé technologie i na dalších úpravnách vod.

## **STUPEŇ SORPCE NA GAU NA ÚPRAVNĚ VODY ŽELIVKA**

Společnost VODA Želivka, a.s. vlastní a spravuje majetek zahrnující úpravnu vody Želivka (projektovaný maximální výkon 7,7 m<sup>3</sup>/s), štolový přivaděč Želivka (52 km dlouhý přivaděč, DN 2640 mm) a vodojem Jesenice I. (2 × 100 000 m<sup>3</sup>).

V souladu s požadavky na kvalitu vody a s ohledem na to, aby tato kvalita byla zajišťována nepřetržitě, vzešel záměr na výstavbu nového technologického stupně sorpce na GAU.

Nástrojem použitým k výběru nejvhodnější varianty byla SWOT analýza, porovnávány byly tři varianty, které lze velice zjednodušeně popsat následovně:

- Přestavba 12 ks pískových filtrů v hale filtrace F2 (v současnosti filtrů s pískovou náplní) na filtry s náplní GAU s výškou filtrační náplně 1,8 m.
- Výstavba nového objektu s 16 filtry s náplní GAU s výškou filtrační náplně 1,7 m.
- Výstavba nového objektu s 8 filtry s náplní GAU s výškou filtrační náplně 1,7 m.

Z výsledné bilance interních a externích faktorů vyplynulo, že při volbě varianty výstavby nového objektu s 16 filtry převažovaly silné stránky a příležitosti nad slabými stránkami a hrozbami. Mezi silné stránky patří zejména spolehlivost plnění návrhových technologických parametrů, optimální řešení zajišťující množství i kvalitu vyrobené pitné vody včetně plnění legislativních normativů, spolehlivost provozu v krizových situacích a pokrytí bezpečnostních rizik, možnost odstraňování dalších specifických organických polutantů.

Nový objekt sorpce na GAU byl začleněn do závěrečné fáze procesu úpravy vody – mezi objekt ozonizace a měrný objekt. Kapacita modernizovaného procesu úpravy vody dlouhodobě odpovídá požadovaným potřebám množství kvalitní pitné vody pro cca 1,3 mil. obyvatel ČR.

Celková plocha filtrů je 1 604 m<sup>2</sup>, výška náplně GAU potom 1,7 m. Doba zdržení se pohybuje od 13 minut při průtoku 3,5 m<sup>3</sup>/s do 18 minut při průtoku 2,5 m<sup>3</sup>/s. Jako drenážní systém byl použit systém TRITON v nerezovém provedení. Na zakrytí filtrů byl vybrán bazénový systém, který odděluje prostor nad filtry a umožnuje odsávání vzduchu s obsahem nespotřebovaného ozonu. Takto odsáty nespotřebovaný ozon se likviduje v destruktorech instalovaných pro každou čtveřici filtrů. Pohled do nové haly sorpce na GAU ilustruje obr. 1.

Filtry jsou naplněny GAU značky Filtrasorb TL 830, výrobce Chemviron S.A. Množství GAU dodaného na stavbu je 2 727 m<sup>3</sup>, celkem bylo použito 63 šárží.



Obr. 1. Pohled do nové haly sorpce na GAU (zdroj Želivská provozní, a.s., 2021)

## ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY VE VODÁRENSKÉ NÁDRŽI ŠVIHOV

### Oživení vodárenské nádrže Švihov

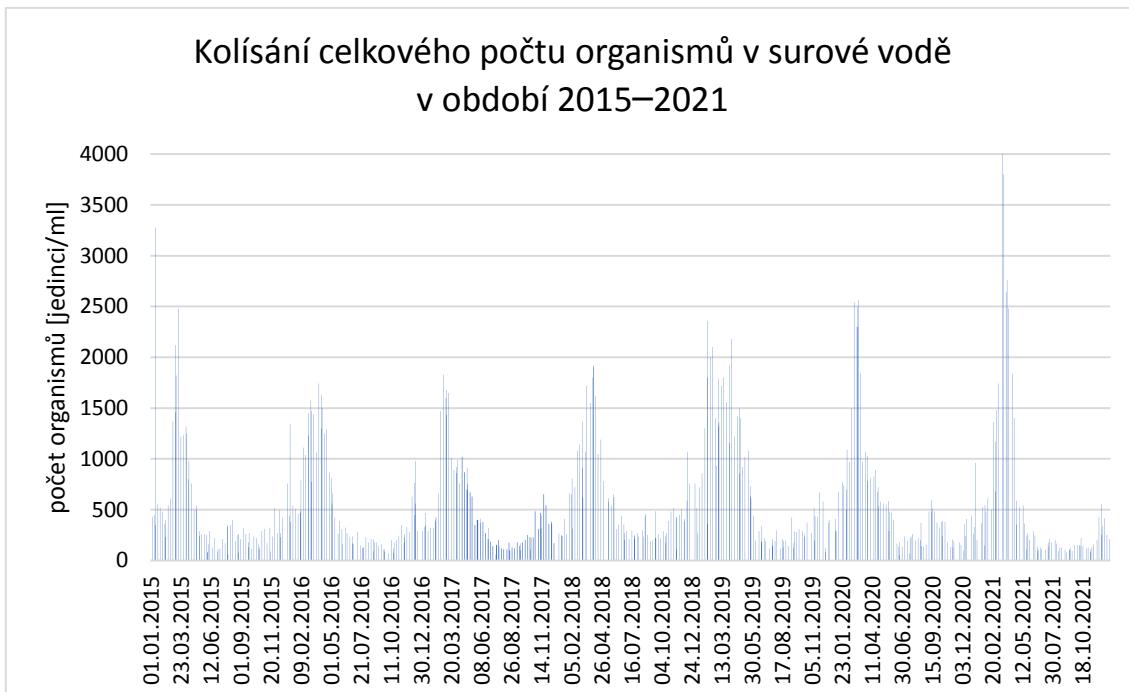
Přítomnost živin, zejména fosforu, který je limitujícím prvkem, má vliv na biologické oživení nádrže. Biologické oživení má následně vliv na účinnost čištění surové vody na vodu pitnou. Biologické oživení nádrže se v průběhu roku významně mění, problém představuje zejména jarní oživení, kdy počty organismů v surové vodě velmi výrazně rostou.

Mikroskopický obraz počtu jedinců zahrnuje analýzu přítomnosti sinic a všech eukaryotních organismů (prvoci, řasy, mikromycety, vírníci, hlístice apod.). Přítomnost většího množství živých organismů v pitné vodě může způsobovat zažívací či jiné problémy. Většinu pod mikroskopem viditelných organismů lze odstranit mechanickou filtrace. V případě živých organismů je však potřeba použít také prostředky pro jejich eliminaci, nejčastěji dezinfekcí nebo přídavkem algicidu (v případě řas).

Výsledky biologického oživení v surové vodě z vodárenské nádrže Švihov za období 2015 až 2021 ilustruje graf na obr. 2. Je z něj velice dobře patrné, že jarní oživení v roce 2021 bylo podstatně vyšší než v letech předešlých (maximální zjištěná hodnota byla 5280

organismů/ml). Průměrná roční koncentrace dusičnanů v surové vodě se od roku 2015 pohybovala od 17,3 mg/l do 18,9 mg/l, na konci roku 2020 ale došlo k postupnému nárůstu koncentrace až na 30 mg/l a ani v současné době tato koncentrace prozatím neklesá na dříve obvyklé hodnoty.

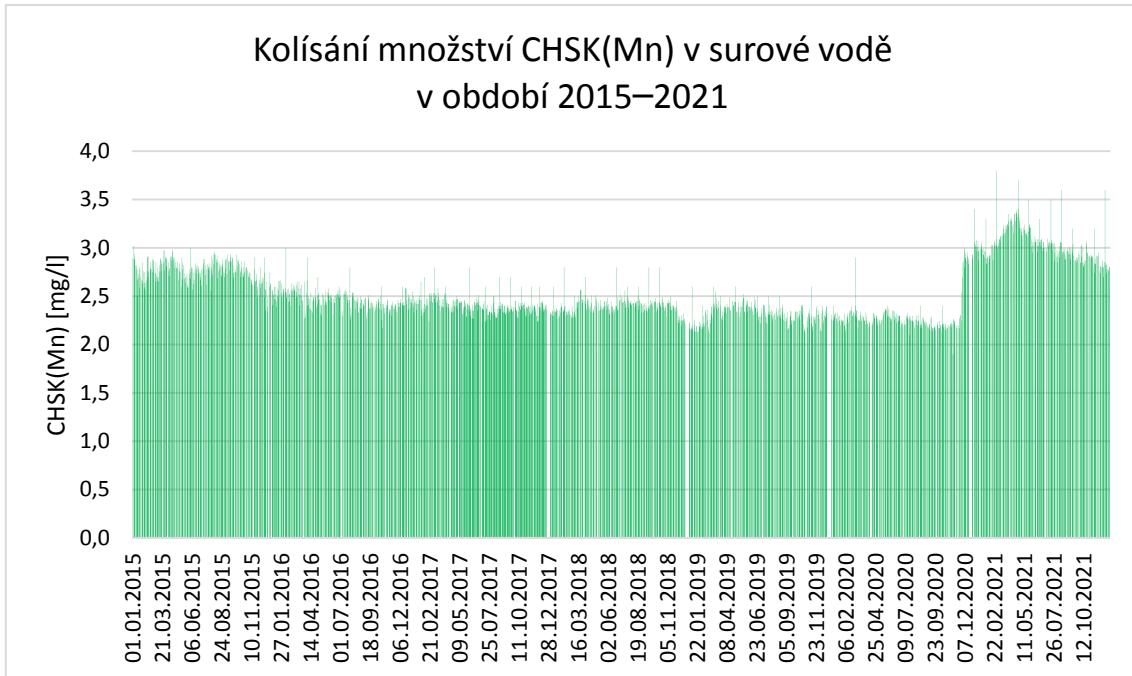
Stejně tak došlo k nárůstu koncentrace fosforečnanů v surové vodě na konci roku 2020, ale v tomto případě se jedná o koncentrace kolem 0,02 mg/l, přičemž mez stanovitelnosti je 0,015 mg/l. Proces úpravy vody na vodárně Želivka funguje velice dobře a v upravené vodě je počet živých organismů roven nule.



**Obr. 2. Kolísání celkového počtu organismů v surové vodě v období 2015 až 2021**

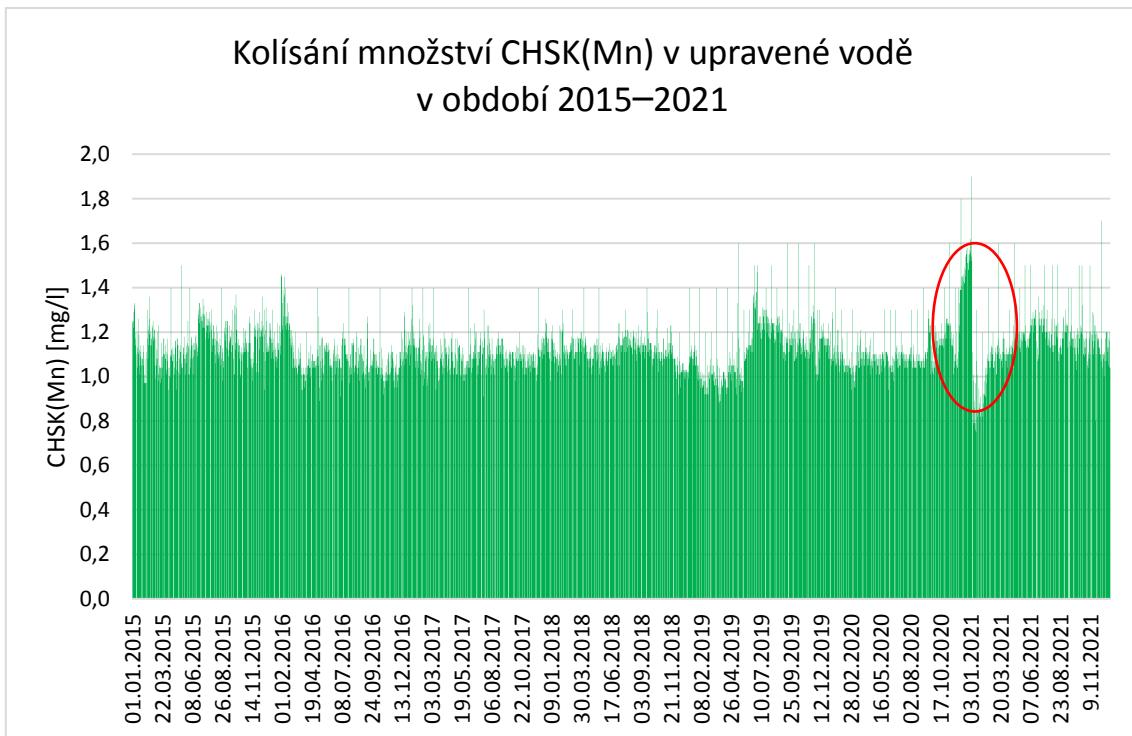
#### **Organické znečištění obecně**

Organické znečištění v surové a upravené vodě velice hezky ilustruje parametr CHSK(Mn). V grafu na obr. 3. je opět velice dobré patrná změna kvality surové vody na konci roku 2020.



**Obr. 3. Kolísání koncentrace CHSK-Mn v surové vodě v období 2015 až 2021**

Tato změna kvality surové vody neměla po spuštění stupně sorpce na GAU na kvalitu upravené vody prakticky žádný vliv a průměrná koncentrace v roce 2021 byla totožná s koncentracemi v letech předešlých. Nárůst parametru CHSK(Mn) na konci roku 2021 a pokles po uvedení stupně sorpce na GAU do provozu ilustruje červený ovál v grafu na obr. 4.



**Obr. 4. Kolísání koncentrace CHSK(Mn) v upravené vodě v období 2015–2021**

## Pesticidní látky a jejich metabolity

Jak již bylo uvedeno výše, vodárenská nádrž Švihov je situována v zemědělsky intenzivně obhospodařované krajině. Na rozsáhlých plochách se zde pěstují plodiny s kombinovaným využitím (částečně jako zdroj substrátu pro bioplynové stanice), především se jedná o širokořádkové plodiny, zejména kukuřici, řepku a brambory. Ve velkém měřítku se používají prostředky na ochranu rostlin, protože současná zemědělská praxe pesticidní látky při pěstování těchto plodin hojně využívá. Ze statistických údajů vyplývá, že spotřeba přípravků na ochranu rostlin v ČR za poslední roky klesá. Ve srovnání s dalšími státy Evropské unie patří i tuzemský prodej přípravků na ochranu rostlin k nízkým. Nicméně mnohé látky přetrhávají v půdě velmi dlouhou dobu, a i dnes nacházíme v surové vodě pesticidní látky, které jsou již mnoho let zakázané.

V roce 2021 během zkušebního provozu bylo sledováno celkem 111 pesticidních látek a jejich metabolitů. Odběry surové vody, nátoku na GAU a upravené vody byly prováděny jednou až dvakrát měsíčně. Koncentrace velké části ze sledovaných látek se v surové vodě pohybuje pod mezí stanovitelnosti. Jedná se o látky: 2,4-D, 2,4-DP, Acetamiprid, Acetochlor, Acetochlor OA, Aclonifen, Alachlor, *Alachlor OA*, Atrazin, Atrazin-desethyl, Atrazin DEDP, Atrazin DP, Azoxystrobin, Bentazon, Bifenox, Boskalid, Carbendazim, Clomazone, Clothianidin, Cyprokonazol, Cyprosulfamide, Diazinon, Difenoconazole, Diflufenican, Dichlorvos, Dimetachlor, Dimethachlor OA, Dimethenamid OA, Dimethenamid-P, Dimethomorph, Diuron, Fenitrothion, Fenpropidin, Fenpropimorph, Fenthion, Fluazinam, Flufenacet, Flufenacet ESA, Flufenacet OA, Fluroxypyr, Fluxapyroxad, Hexazinon, Chloridazon, *Chloridazon-dPhenyl*, *Chloridazon-meth-dPh*, Chlorotoluron, Chlorpyriphos, Chlorsulfuron, Imazalil, Irgarol, Isoproturon, Isoxaflutol BA, Isoxaflutol DKN, Isoxaflutole, Linuron, Mandipropamid, MCPA, MCPB, MCPP, Mesotrione, Metalaxyl, Metamitron, Metconazole, Methiocarb, Metobromuron, Metolachlor, Metribuzin, Metribuzin-DADK, N-DM-triazin amin, Nicosulfuron, Oxadiazon, Pendimethalin, Phenmedipham, Prochloraz, Prometryn, Propamocarb, Propiconazol, Prosulfocarb, Quinmerac, Quinoxifen, Simazin, Tebuconazol, Terbutryn, Thiacloprid, Thiamethoxam, Thiencarbazone-meth., Tri-allate, Trinexapac-ethyl, Tritosulfuron, přičemž posouzené nerelevantní metabolity pesticidů jsou vyznačeny kurzivou.

Průměrné koncentrace jednotlivých pesticidních látek a jejich metabolitů, které se v surové vodě v roce 2021 vyskytují (společně s výsledky v nátoku na GAU a ve vodě upravené) jsou uvedeny v tabulce tab. 1., přičemž posouzené nerelevantní metabolity pesticidů jsou vyznačeny kurzivou a posouzené nerelevantní metabolity pesticidů nacházející se v surové vodě ve významném množství jsou vyznačeny tučně. Průměr byl vypočítán ze všech naměřených hodnot, pokud byla koncentrace pod mezí stanovitelnosti, byla do průměru započtena nula.

**Tab. 1. Průměrné koncentrace sledovaných pesticidních látek a jejich metabolitů, které byly v roce 2021 detekovány v surové vodě**

	jednotka	mez stanovitelnosti	surová	na GAU	upravená
2,6-dichlorobenzamid	ng/l	<20	5,89	<20	<20
Acetochlor ESA	ng/l	<20	17,4	<20	<20
<i>Alachlor ESA</i>	ng/l	<20	<b>120</b>	<b>20,6</b>	<b>5,86</b>
<i>Atrazine-2-hydroxy</i>	ng/l	<5	3,00	<5	<5
DEET	ng/l	<10	19,0	5,62	1,64
<i>Dimethachlor ESA</i>	ng/l	<20	24,4	<20	<20
Dimethenamid ESA	ng/l	<20	1,10	<20	<20

Epoxiconazol	ng/l	<10	0,56	<10	<10
Fluopicolide	ng/l	<10	0,45	<10	<10
Imidacloprid	ng/l	<5	7,02	0,42	2,64
metazachlor	ng/l	<10	2,62	<10	<10
<i>Metazachlor ESA</i>	ng/l	<20	<b>511</b>	<b>77,3</b>	<b>48,6</b>
<i>Metazachlor OA</i>	ng/l	<20	<b>101</b>	<b>6,27</b>	<b>1,06</b>
<i>Metolachlor ESA</i>	ng/l	<20	<b>140</b>	<b>24,4</b>	<b>4,93</b>
<i>Metolachlor OA</i>	ng/l	<20	28,5	<20	<20
Metribuzin DA	ng/l	<20	0,93	<20	<20
Pethoxamid	ng/l	<10	2,51	<10	<10
Pethoxamid ESA	ng/l	<20	4,18	<20	<20
Terbutylazin	ng/l	<10	15,9	1,03	<10
Terbutylazin-DE-2-H	ng/l	<10	5,37	13,7	0,65
Terbutylazin-2-hydro	ng/l	<10	28,6	15,2	0,73
Terbutylazin-desetyl	ng/l	<10	12,9	12,4	0,64

Z těchto výsledků je velice dobře patrné, jak stupeň sorpce na GAU situovaný za ozonizací odstraňuje další podíl pesticidních látek a jejich metabolitů. Většina detekovaných látek se řadí mezi posouzené nerelevantní metabolity pesticidů.

Pouze ve 4 případech z 22 odebraných vzorků byla v upravené vodě nalezena pesticidní látka nebo její relevantní metabolit. Ve třech případech byla nalezená koncentrace blízko meze stanovitelnosti dané látky.

Pouze u jednoho vzorku byla detekována koncentrace 49,8 ng/l u látky Imidacloprid (koncentrace v surové vodě byla 123 ng/l), ale i v tomto případě leží nalezená koncentrace pod limitem stanoveným vyhláškou č. 252/2004 Sb. v platném znění, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

## ZÁVĚRY

V roce 2021 byla dokončena výstavba nového technologického stupně úpravny vody Želivka, který doplnil proces výroby pitné vody o sorpci na GAU.

Tato nejvýznamnější investiční akce v novodobé historii úpravny zahrnovala výstavbu nového objektu s 16 filtry s náplní GAU (výška náplně 1,7 m, maximální výkon 3,5 m<sup>3</sup>/s) a byla motivována zlepšením kvality vyrobené pitné vody pro cca 1,3 mil. obyvatel ČR.

Investice ve výši cca 1,25 mld. Kč byla spolufinancována Evropskou unií – Fondem soudržnosti v rámci Operačního programu Životní prostředí v programovém období 2014–2020, a to až do výše 63,75 % uznatelných nákladů (0,754 mld. Kč).

Zkušební provoz byl ukončen kolaudací stavby v lednu 2022 a od té doby je stupeň sorpce na filtrace přes GAU v trvalém provozu. Výsledky naměřené během zkušebního provozu ukazují, že stupeň sorpce na GAU přispívá významnou měrou nejen ke snížení koncentrace pesticidních látek a jejich metabolitů v pitné vodě, ale ke snížení organického znečištění obecně.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií – Fondem soudržnosti v rámci Operačního programu Životní prostředí.

## SEZNAM LITERATURY

- Baudišová D., Dobiáš J., Kolář K., Lapšanská N., Vlachová P. Periodický výskyt zvýšeného mikrobiálního oživení ve vodárenské nádrži Švihov na řece Želivce. In: Říhová Ambrožová J., Pecinová A. (ed). Sborník konference Vodárenská biologie 2020, 5.-6.2.2020, Praha str. 98-101  
<https://www.mzcr.cz/seznam-posouzenych-nerelevantních-metabolitu-pesticidu-a-jejich-doporučene-limitní-hodnoty-v-pitné-vode/>
- HUŠKOVÁ, R. Jak řešit výskyt pesticidních látek ve vodách v souladu s platnou legislativou, sborník z konference Hydroanalytika.
- Jančíková, S., Vodáková, M. Sledování výskytu pesticidů ve vodě, půdě a rostlinných produktech na vybraných lizimetrických stanovištích, výroční zpráva za rok 2020, Brno. 15 s.
- KOPECKÁ, I. Adsorpce pesticidů na granulovaném aktivním uhlí při úpravě vody. Diplomová práce, Ústav pro životní prostředí, PF UK, Praha, 2010.
- KOVAČÍKOVÁ, K. Vyhodnocení účinnosti odstraňování pesticidů na rekonstruované úpravně vody. Brno, 2017. 88 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.
- KRÁL, P. Provozní zkušenosti s odstraňováním triazinových herbicidů na GAU. Sborník konference Pitná voda 2010, s.169-174. W&ET Team, Č. Budějovice 2010. ISBN 978-80-254-6854-8.
- LIŠKA, M., FUČÍK, P., DOBIÁŠ, J., WILDOVÁ, P., KOŽELUH, M., VÁLEK, J., SOUKUPOVÁ, K., ZAJÍČEK, A. Problematika výskytu pesticidních látek v povrchových vodách v povodí vybraných vodárenských zdrojů. Vodní hospodářství, 2015, č. 1, s. 1-6.
- LIŠKA, M., SOUKUPOVÁ, K., DOBIÁŠ, J., METELKOVÁ, A., GOLDBACH, J., KVÍTEK, T. Jakost vody ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce a jejím povodí se zaměřením na specifické organické látky. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2016, roč. 58, č. 3, s. 4–11. ISSN 0322-8916.
- MIČANÍK, T., OCEÁNSKÝ, J., LISNÍK, J. a OCELKA, T. Testování sorpčních filtrů na bázi granulovaného aktivního uhlí pro účely dočišťování pitné vody. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2020, roč. 62, č. 2, s. 17-25. ISSN 0322-8916.
- MOULISOVÁ, A., BENDAKOVSKÁ, L., KOŽÍŠEK, F., VAVROUŠ, A., JELIGOVÁ, H., KOTAL, F. Pesticidy a jejich metabolity v pitné vodě: jaký je současný stav v České republice? Vodní hospodářství 2018, č. 7, s. 4-10.
- Pitter, P. Hydrochemie. 4th ed. Praha: VŠCHT Praha, 2009. P. 01. ISBN 978-80-7080-701-9
- TUŠIL, P. SWOT analýza modernizace úpravny vody Želivka. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2016, roč. 58, č. 2, s. 28-37. ISSN 0322-8916.
- VAVRUŠKOVÁ, L., DRYML, M., BÁTKOVÁ, P. Vliv ozonizace na množství pesticidních látek v upravené vodě z ÚV Želivka. Sborník konference Pitná voda 2010, s. 175-180. W&ET Team, Č. Budějovice 2010. ISBN 978-80-254-6854-8.
- Vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

# **ÚPRAVNA VODY PODOLÍ – SOUČASNÝ PROVOZ A POLOPROVOZNÍ ZAŘÍZENÍ**

**Ing. Zuzana NOVÁKOVÁ, Ph.D.<sup>1)</sup>, Ing. Jana ZUZÁKOVÁ<sup>1)</sup>,  
Ing. Petr SÝKORA, Ph.D.<sup>1)</sup>, Ing. Petr BUREŠ<sup>2)</sup> a Ing. Kateřina KOHOUTOVÁ<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Ke Kablu 971/1, 102 00 Praha 10

<sup>2)</sup> Pražská vodohospodářská společnost a.s., Evropská 866/67, 160 00 Praha 6 – Vokovice

E-mail: [zuzana.novakova@pvk.cz](mailto:zuzana.novakova@pvk.cz)

## **ÚVOD**

Podolská vodárna byla postavena v letech 1924 až 1929 a zásobovala upravenou vodou hlavní město Praha až do roku 2002, kdy byla po rozsáhlých povodních odstavena. Důvodem pro omezení provozu bylo dostatečné zásobování hlavního města pitnou vodou z vodáren Káraný a Želivka i postupné snižování spotřeby vody. V následujících letech byla Podolská vodárna využívána pouze jako záložní zdroj pitné vody s pravidelným kontrolním provozem, přičemž do distribučního systému byla pitná voda dodávána jen v případě omezení či přerušení výroby v úpravnách vody Želivka a Káraný, nebo v případě oprav na přívaděcích řadech.

V červnu roku 2021 byla vodárna opět uvedena do plnohodnotného kontinuálního provozu s výkonem přibližně 400 l/s. Tomu však od roku 2014 předcházely investiční akce zahrnující rekonstrukce původní technologické linky ÚV Podolí (rekonstrukce čířiců č. 3–6) a doplnění nových technologických stupňů (filtrace přes granulované aktivní uhlí (GAU) a hygienické zabezpečení UV zářením).

Nově doplněný sorpční stupeň filtrace přes GAU pozitivně ovlivňuje kvalitu pitné vody z hlediska odstraňování rozpustených organických látek (včetně mikropolutantů – léčiva, hormony, pesticidní látky aj. dosud neidentifikované látky) i některých anorganických látek, zároveň pozitivně ovlivňuje pach i chut' vody. Aktivní uhlí slouží rovněž jako preventivní bariéra pro případ kontaminace zdroje vody toxickými látkami [1].

Dalšího navýšení účinnosti odstranění výše zmíněných látek z pitné vody je možné dosáhnout navazující modernizací technologické linky, přičemž velmi perspektivními jsou oxidační nebo membránové procesy. V současné době jsou připravovány podklady pro další doplnění technologické linky tak, aby byl zajištěn spolehlivý provoz úpravny, a to zejména z hlediska dodávky očekávaného množství pitné vody do Středočeského kraje a její kvality v souladu s požadavky aktuální i budoucí legislativy. Současnou vyhláškou č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, jsou z hlediska mikropolutantů limitovány pouze jednotlivé relevantní pesticidní látky včetně metabolitů (100 ng/l) a jejich sumární koncentrace (500 ng/l) [2].

Nicméně vzhledem k rychlým analytickým pokrokům lze v budoucnu předpokládat rozšiřování seznamu limitovaných látek. V roce 2020 byla provedena přípravná studie a navrženy nové technologie pro doplnění ÚV Podolí, které by splňovaly předem stanovené podmínky, a to umístění do stávajících prostor s maximálním využitím již modernizovaných technologických celků a zároveň možný diskontinuální či variabilní provoz těchto technologií.

Od července 2021 je na ÚV Podolí testováno poloprovozní zařízení v podobě dvou samostatných technologických linek, a to linky membránové filtrace složené z mikrofiltrace i nanofiltrace a linky pokročilého oxidačního procesu (AOP) spočívajícího v dávkování peroxidu vodíku a UV záření s následnou sorpcí na GAU.

Současně předkládaný příspěvek navazuje na již dříve prezentovaný článek na konferenci Pitná voda 2020–2021 a zaměřuje se na posouzení dosahovaných účinností při odstraňování fyzikálně-chemických ukazatelů a mikropolutantů (pesticidních látek včetně jejich metabolitů a léčiv) současnou technologickou linkou ÚV Podolí i testovaným poloprovozním zařízením.

### **Popis technologie ÚV Podolí a základní provozní údaje**

Níže je stručně popsána stávající technologická linka ÚV Podolí včetně základních provozních údajů. Podrobný popis technologie včetně všech rekonstrukcí byl představen v příspěvku s názvem „*Úpravna vody Podolí – historie, současnost a vize budoucnosti*“ prezentovaný na 15. ročníku konference Pitná voda 2020–2021.

Zdrojem surové vody pro ÚV Podolí je řeka Vltava, která je odebírána v severní části Veslařského ostrova. Z odběrového místa vybaveného hrubými česlemi je voda vedena do čerpací stanice surové vody (ČSSV) s předřazenými jemnými česlemi, odkud je následně čerpána výtlačnými řady na první separační stupeň, tj. na čířiče typu Binar-Bělský.

Do přívodního potrubí na jednotlivé čířiče (těsně před homogenizaci) je dávkován koagulant síran železitý, pomocné koagulační čnidlo není v současné době využíváno. Vyčířená voda je před nátokem na pískovou filtrace alkalizována vápennou vodou za účelem eliminace manganu. Z důvodu zamezení biologického oživení pískových filtrů je rovněž v nízké dávce aplikován chlor ve formě chlorové vody.

Následuje stupeň separace na celkem 24 pískových rychlofiltrech s drenážním systémem Novák, přičemž písková náplň (zrnitost náplně 1,6–2 mm, výška náplně 1,2–1,3 m) je preparována vrstvičkou MnO<sub>2</sub>. Délka filtračního cyklu je přibližně 48 hodin. Při výkonu úpravny do 800 l/s je veškerá upravovaná voda po pískové filtrace vedena na sorpční stupeň filtrace přes GAU (celkem 12 filtrů, výška náplně 0,85 m).

V případě potřeby vyššího výkonu (>800 l/s) lze uvést do provozu více pískových filtrů a upravenou vodu po sorpčním stupni GAU míchat s vodou upravenou pouze pískovou filrací. Finální hygienické zabezpečení je prováděno UV zářením a dávkováním chloru ve formě chlorové vody.

Maximální neodzkoušený výkon ÚV Podolí je po posledních rekonstrukcích a doplnění technologie přibližně 1 600 l/s. Průměrný výkon od zprovoznění úpravny v červnu 2021 je přibližně 400 l/s. Vzhledem k současnemu provozu ÚV Želivka a ÚV Káraný je stávající výkon ÚV Podolí dostatečný a bude navýšen v případě omezení či přerušení výroby těchto úpraven, nebo v případě oprav na přiváděcích řadech.

### **Posouzení účinnosti úpravy vody doplněnou technologickou linkou ÚV Podolí**

Dne 15. 6. 2021 byl spolu se zahájením provozu ÚV Podolí s dodávkou pitné vody do distribuční sítě rovněž zahájen roční zkušební provoz nově doplněného sorpčního stupně na GAU. Pro posouzení účinnosti úpravy vody stávající technologickou linkou, tzn. včetně filtrace přes GAU, byla využita kvalitativní data získaná v období od 15. 6. 2021 do 15. 3. 2022. Kvalita surové vody je z pohledu vybraných fyzikálně-chemických parametrů uvedena v tab. 1. S výjimkou povodňových stavů v průběhu června a první polovině července roku 2021 byla kvalita surové vody poměrně stabilní.

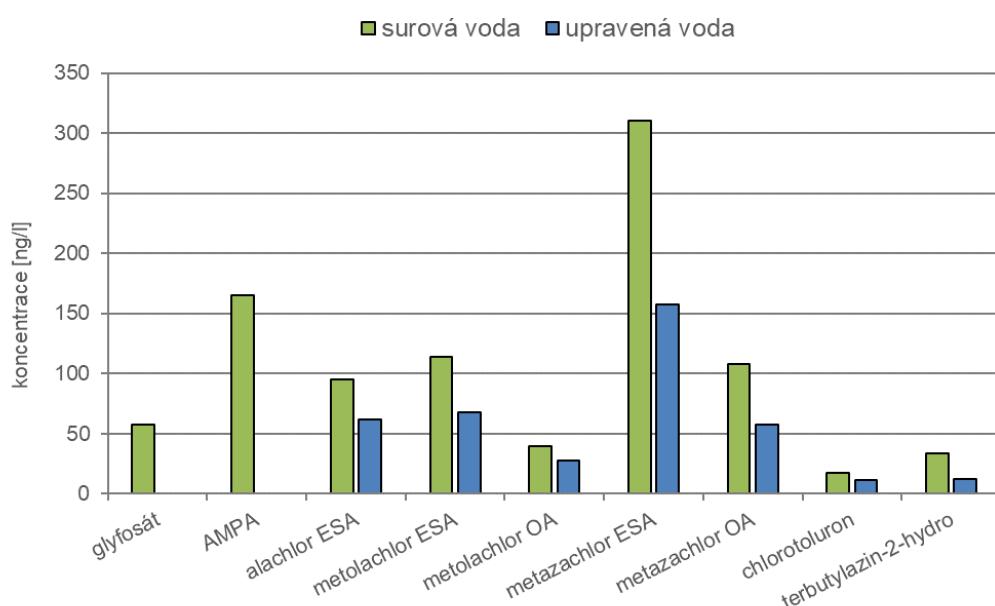
**Tab. 1. Kvalita surové vody – fyzikální a chemické ukazatele**

	T	pH	zákal	A254	CHSK <sub>Mn</sub>	TOC	konduktivita	železo
	[°C]	[‐]	[ZFm]	[‐]	[mg/l]	[mg/l]	[mS/m]	[mg/l]
<b>maximum</b>	19,9	9,2	154,00	0,383	11,0	10,10	38,4	2,58
<b>minimum</b>	4,4	7,1	2,24	0,150	4,6	4,99	25,0	0,10
<b>medián</b>	13,3	7,5	5,52	0,221	6,8	8,37	31,0	0,29
<b>průměr</b>	11,8	7,5	8,60	0,220	6,7	7,96	31,3	0,40

Vybrané skupinové ukazatele organických látek, tzn. TOC, CHSK<sub>Mn</sub> a A254, byly stupněm číření s následnou pískovou filtrace (původní stav) ze surové vody odstraňovány s průměrnými účinnostmi 68 %, 80 % a 79 %. Samotný sorpcní stupeň na GAU (nátok GAU x odtok GAU) dokázal odstranit průměrně 30 % přítékací CHSK<sub>Mn</sub>, 28 % TOC a 34 % z hodnoty A254. Granulované aktivní uhlí zlepšuje také organoleptické vlastnosti vody, zejména eliminuje pachové produkty a zlepšuje chuť. V období let 2018 až 2019, během provozů ÚV Podolí, byla průměrná hodnota pachu 2,49 °, po modernizaci ÚV Podolí doplněním GAU filtrace a UV záření je dosahováno průměrné hodnoty pachu 1,1 °.

Jedním z důvodů realizace doplnění sorpcního stupně na GAU do technologické linky ÚV Podolí byl požadavek eliminace pesticidních látek včetně jejich metabolitů a dalších organických látek (léčiv, hormonů atd.) z pitné vody. V rámci zkušebního provozu GAU bylo v surové i upravené vodě pravidelně (s četností 1x–2x měsíčně) stanovováno až 136 pesticidních látek a jejich metabolitů, přičemž na analýzách se podílely laboratoř Pražských vodovodů a kanalizací, a. s. i laboratoř Povodí Vltavy s. p. Průměrná sumární koncentrace pesticidních látek včetně nerelevantních metabolitů byla v surové vodě přibližně 1032 ng/l a sumární koncentrace relevantních pesticidních látek 336 ng/l. Účinnost odstranění technologickou linkou ÚV Podolí doplněnou o sorpci na GAU dosahovala v případě sumy veškerých pesticidních látek včetně nerelevantních metabolitů průměrně 67 %, zatímco sumy pesticidních látek bez nerelevantních metabolitů průměrně 95 %. V surové vodě překročilo ve sledovaném období celkem 9 látek alespoň jedním vzorkem koncentraci 50 ng/l.

Průměrné koncentrace těchto látek jsou zobrazeny na obr. 1, přičemž pro porovnání jsou uvedeny rovněž jejich průměrné hodnoty v upravené vodě. V nejvyšších koncentracích byly nalézány zejména některé nerelevantní metabolity pesticidních látek, a to alachlor ESA, metolachlor ESA, metazachlor ESA a metazachlor OA. Průměrné účinnosti jejich odstranění se pohybovaly v rozmezí 35–48 %. Z relevantních pesticidních látek se v surové vodě v nejvyšších koncentracích vyskytoval glyfosát a jeho metabolit AMPA. Obě látky však byly technologickou linkou ÚV Podolí, a to zejména filtrace přes GAU spolehlivě odstraňovány až pod mez jejich stanovitelnosti (50 ng/l).



**Obr. 1. Průměrné koncentrace pesticidních látek a metabolitů, které ve sledovaném období (15. 6. 2021 – 15. 3. 2022) v surové vodě alespoň jedním vzorkem překročily koncentraci 50 ng/l (Pozn.: Průměrná koncentrace byla počítána pouze z hodnot nadmezí stanovitelnosti)**

## **Popis poloprovozního zařízení testovaného na ÚV Podolí**

Poloprovozní zařízení zahrnuje dvě samostatné technologické linky, na které je voda přiváděna přímo z technologie ÚV Podolí (voda po čiření nebo voda po pískové filtrace). Jedná se o linku kombinující pokročilý oxidační proces H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV (AOP) se sorpcí na granulovaném aktivním uhlí (linka I) a linku tvořenou membránovou filtrací, konkrétně mikrofiltrací s následně řazenou nanofiltrací (linka II). Vodu z technologických linek je možné v různém poměru míchat tak, jak tomu případně bude ve skutečném provozu a sledovat její výslednou kvalitu.

Poloprovozní jednotka dále umožňuje vzájemné propojení jednotlivých linek, tak aby bylo možné vodu po mikrofiltraci přivádět na oxidační a sorpční stupeň, nebo naopak vodu po pískové filtrace přímo na nanofiltraci. Níže jsou shrnuty vybrané výsledky získané v období od **srpna 2021 do konce února 2022**, kdy byly z důvodu optimalizace provozních parametrů testovány obě linky samostatně, tzn. bez vzájemného propojení mikrofiltrace (linka II) s GAU filtrace (linka I).

Uspořádání obou linek a testované provozní parametry byly následující:

**Linka I** Reálná voda po čiření (1. separační stupeň stávající technologie) a po pískové filtrace (2. separační stupeň stávající technologie) byla nejprve oxidována pomocí kombinace H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + UV záření a následně vedena na sorpční stupeň GAU filtrace. Použité GAU bylo stejné jako v případě sorpčního stupně v technologii ÚV Podolí. Průtok vody linkou byl 0,5 m<sup>3</sup>/h, přičemž testovány byly kombinace dávek peroxidu vodíku 1 mg/l, 2,5 mg/l, 5 mg/l a dávek UV záření v rozmezí 4–24 kJ/m<sup>2</sup>. Doba zdržení na GAU byla 15 minut.

**Linka II** Reálná voda po čiření (1. separační stupeň stávající technologie) byla přiváděna do poloprovozní jednotky na sériově řazenou mikrofiltraci a nanofiltraci. Jako mikrofiltrace byla využita keramická membrána pracující na principu přímé filtrace (dead-end) s průtokem 3–4 m<sup>3</sup>/h a pravidelným fyzikálním (BW – backwash) a chemickým (CEB – chemical enhanced backwashing) praním. V období srpen 2021 až leden 2022 byly provedeny modelové zkoušky pro výběr nanofiltracní membrány. Testovány byly dva typy nanofiltracních membrán z odlišného materiálu: A) kompozitní polyamid – rejekce MgSO<sub>4</sub> >97 % a NaCl 45–55 %, B) polypiperzin – rejekce MgSO<sub>4</sub> >96 % a NaCl 20 %. Testované membrány se mezi sebou liší svou separační schopností, přičemž membrána s vyšší hodnotou rejekce MgSO<sub>4</sub> a NaCl, je více selektivní tzn. uzavřená a předpokládá se zadržení většího množství látok včetně mikropolutantů. Průtok nátoku na nanofiltracní membránu byl po celou dobu 0,3 m<sup>3</sup>/h, přičemž průtok permeátu byl 0,2 m<sup>3</sup>/h a retentátu 0,1 m<sup>3</sup>/h. V obou případech byl před nanofiltracní membrány dávkován antiscalant.

## **Směšování a hygienické zabezpečení**

Výstupy z obou testovaných linek byly vzájemně míchány a společně hygienicky zabezpečovány UV zářením a chlornanem sodným se zbytkovou koncentrací volného chloru v akumulační nádrži 0,2–0,3 mg/l.

## **Odstranění pesticidních látok poloprovozním zařízením**

Obě testované linky dosahovaly při odstranění pesticidních látok a jejich metabolitů z upravované vody vysokých účinností. Níže jsou pro obě linky shrnuty vybrané výsledky dosažené v rámci poloprovozního testování.

### **Linka I – AOP ( $H_2O_2$ /UV) + GAU**

V případě linky I, tzn. AOP + GAU, velmi záviselo na provozních parametrech, a to dávkách peroxidu vodíku a dávce UV záření. Dosahované účinnosti odstranění jsou pro dávky peroxidu vodíku 5 mg/l a 2,5 mg/l v kombinaci s různými intenzitami UV záření (10–12 kJ/m<sup>2</sup>, 15–19 kJ/m<sup>2</sup>, 21–24 kJ/m<sup>2</sup>) uvedeny v tab. 2 a tab. 3.

Dle očekávání se vyšší dávky projevily ve vyšší eliminaci sledovaných látek. Sumární koncentrace sledovaných pesticidních látek včetně relevantních i nerelevantních metabolitů se v nátoku na jednotku pohybovaly v rozmezí 596–1 089 ng/l, zatímco relevantní pesticidní látky v rozmezí 50–175 ng/l. Významného odstranění sumární koncentrace všech sledovaných pesticidních látek i sumární koncentrace relevantních pesticidních látek bylo dosahováno při dávce peroxidu vodíku 5 mg/l a dávkách UV záření vyšších než 15 kJ/m<sup>2</sup> (včetně), kdy se průměrné účinnosti pohybovaly v rozmezí 90–100 % (viz tab. 2).

Nízké koncentrace těchto látek v odtoku z prvního stupně (AOP) výrazně snižovaly zatížení GAU a mohly tak přispívat k prodloužení jeho životnosti. V případě použité nižší dávky peroxidu vodíku 2,5 mg/l se průměrné účinnosti odstranění všech pesticidních látek pohybovaly v rozmezí 57–83 % v závislosti na dávkách UV záření, zatímco u relevantních pesticidních látek v rozmezí 70–85 %. Následně řazené GAU tyto účinnosti navýšilo průměrně o 7–17 %, resp. 15–30 % (viz tab. 3).

Výběr optimálních provozních parametrů pro případný budoucí provoz v reálném měřítku bude záviset nejen na zjištěných účinnostech odstranění mikropolutantů, ale rovněž na ekonomické bilanci a bude nezbytné najít mezi těmito faktory určitý kompromis, a to především s ohledem na vysokou energetickou náročnost při použití UV záření.

**Tab. 2. Průměrné účinnosti odstranění sumární koncentrace pesticidních látek včetně metabolitů linkou I (AOP + GAU) s dávkou 5 mg/l  $H_2O_2$  a proměnnou dávkou UV záření**

E [%]	10–12 kJ/m <sup>2</sup>		15–19 kJ/m <sup>2</sup>		21–24 kJ/m <sup>2</sup>	
	AOP	AOP + GAU	AOP	AOP + GAU	AOP	AOP + GAU
<b>suma PL vše</b>	80,1	83,5	97,6	99,1	100,0	99,6
<b>suma PL rel.</b>	44,3	76,8	94,2	100,0	100,0	96,4

**Tab. 3. Průměrné účinnosti odstranění sumární koncentrace pesticidních látek včetně metabolitů linkou I (AOP + GAU) s dávkou 2,5 mg/l  $H_2O_2$  a proměnnou dávkou UV záření**

E [%]	10–12 kJ/m <sup>2</sup>		15–19 kJ/m <sup>2</sup>		21–24 kJ/m <sup>2</sup>	
	AOP	AOP + GAU	AOP	AOP + GAU	AOP	AOP + GAU
<b>suma PL vše</b>	<b>56,6</b>	<b>73,3</b>	<b>79,4</b>	<b>87,9</b>	<b>83,4</b>	<b>90,5</b>
<b>suma PL rel.</b>	<b>84,9</b>	<b>100,0</b>	<b>70,4</b>	<b>100,0</b>	<b>77,0</b>	<b>100,0</b>

## **Linka II – mikrofiltrace s následnou nanofiltrací**

Vzhledem k tomu, že předmětem příspěvku je zejména vyhodnocení účinnosti technologie při odstranění mikropolutantů, je pozornost věnována především nanofilterační jednotce. Koncentrace všech sledovaných pesticidních látek včetně relevantních i nerelevantních metabolitů se v době modelových zkoušek pohybovala v profilu nátoku na nanofilterační jednotku v rozmezí 602–1012 ng/l, zatímco sumární koncentrace pesticidních látek s relevantními metabolity v rozmezí 50–184 ng/l.

V hodnotách nad 50 ng/l se v nátoku na nanofiltraci vyskytovaly látky alachlor ESA, metolachlor ESA, metolachlor OA, metazachlor ESA, metazachlor OA, terbutylazin a látky 1-H-benzotriazol, 5-methyl-1-H-benzotriazol, které se mezi pesticidní látky neřadí.

Ostatní látky se v nátoku na nanofilterační jednotku vyskytovaly v nižších koncentracích nebo byly pod mezí stanovitelnosti. V tab. 4 jsou shrnutý výsledky odstranění pesticidních látek včetně jejich metabolitů dvěma typy nanofilteračních membrán.

Průměrná účinnost odstranění všech sledovaných pesticidních látek (včetně nerelevantních metabolitů) membránou typu A byla 100 %, zatímco druhá testovaná membrána typu B vykazovala nižší účinnost, a to průměrně 69 %. V případě pesticidních látek a jejich relevantních metabolitů byla průměrná účinnost membrány typu A rovněž 100 % a membrány typu B přibližně 43 %.

**Tab. 4. Průměrné účinnosti odstranění sumární koncentrace pesticidních látek včetně metabolitů pro dva typy testovaných nanofilteračních membrán**

E [%]	Membrána typu A	Membrána typu B
<b>suma PL vše</b>	100 %	69 %
<b>suma PL rel.</b>	100 %	43 %

Z výsledků je zřejmé, že membrána **typu A** je z hlediska účinnosti odstranění pesticidních látek a jejich metabolitů efektivnější. Jedinou problematickou látkou tzn. špatně odstranitelnou látkou byl benzotriazol, který nepatří mezi pesticidní látky (tzn. neplatí pro něj hygienický limit pro pesticidní látky dle vyhl. MZ č. 252/2004 Sb. v platném znění). Benzotriazol je používán jako antikorozní složka komerčních a průmyslových přípravků.

Testované membrány byly rovněž posuzovány z hlediska odstranění tvrdosti vody, tzn. sumy vápníku a hořčíku. Surová voda z řeky Vltavy vykazovala ve sledovaném období stabilní obsah sumy vápníku a hořčíku, přičemž hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 0,81–1,19 mmol/l s průměrnou 1,03 mmol/l. Účinnosti odstranění oběma typy nanofilteračních membrán byly poměrně konstantní.

Membrána typu A dosahovala odstranění v rozmezí 73,0–79,1 % s průměrnou hodnotou 74,8 %, zatímco u více otevřené membrány typu B se odstranění pohybovalo v rozmezí 34,8–55,1 % s průměrnou hodnotou 41,0 %. Vzhledem k tomu, že u obou membrán by v technologické praxi bylo třeba upravenou vodu dále stabilizovat, byla pro další pokračování testování poloprovozní jednotky zvolena více uzavřená membrána s vyšší účinností odstranění mikropolutantů, tzn. typ A.

Přestože vybraná membrána typu A je více uzavřená, vykazovala nižší provozní tlaky než otevřenější membrána. Vysvětlením může být odlišné materiálové složení. Nanofilterační membrány se obecně skládají z různých vrstev, tzn. z aktivní separační vrstvy, podpůrné vrstvy a dalších mezivrstev. Vzhledem k tomu, že testované membrány jsou z odlišných materiálů, je pravděpodobné, že podpůrná vrstva membrány typu B kladla vyšší hydraulický odpor než membrána typu A.

## **ZÁVĚRY**

Doplňení sorpčního stupně filtrace přes GAU do původní technologické linky ÚV Podolí navýšilo účinnost odstranění skupinových ukazatelů organických látek ( $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ , TOC, A254) a výrazně zlepšilo organoleptické vlastnosti pitné vody, jako jsou pach a chut'. Účinnost odstranění sumy veškerých pesticidních látek včetně nerelevantních metabolitů dosahovala průměrně 67 %, zatímco sumy relevantních pesticidních látek průměrně 95 %.

V rámci další plánované modernizace technologické linky ÚV Podolí bylo realizováno poloprovozní testování vybraných technologií, které by v budoucnu byly schopny navýšit výkon úpravny a spolehlivě plnit případné zvyšující se legislativní požadavky na kvalitu pitné vody.

Na lince pokročilého oxidačního procesu ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) v kombinaci s filtrací přes GAU byly provedeny testy s různými dávkami peroxidu vodíku a UV záření za účelem optimalizace provozních parametrů při odstraňování mikropolutantů. Optimální hodnoty budou pro případnou technologii v reálném měřítku vybrány po zohlednění ekonomických nákladů.

V případě linky membránové filtrace byly porovnány dva typy nanofiltráčních membrán z hlediska jejich odstraňování mikropolutantů a sumy vápníku a hořčíku.

Pro další pokračování poloprovozních zkoušek byla zvolena více uzavřená membrána s vyšší účinností odstranění mikropolutantů, tzn. typ A. Vzhledem k tomu, že u obou membrán by v technologické praxi bylo potřeba upravenou vodu dále stabilizovat, nebylo odstranění parametru „Ca+Mg“ rozhodujícím kritériem pro výběr výsledné membrány.

## **LITERATURA**

1. Dolejš, P., Role adsorpce na aktivním uhlí v současném vodárenství, in Sborník konference Pitná voda 2016, s. 97-104, Tábor 2016, W&ET Team České Budějovice 2016, ISBN 978-80-905238-2-1
2. Vyhláška č. 252/2004 Sb., vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. [cit. 14.3.2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>.

# ZMĚNY NA ÚPRAVNĚ VODY HRADEC KRÁLOVÉ – ORLICE POHLEDEM PROVOZU A TECHNOLOGA

**Ing. Pavel Král, Ph.D., Ing. Kateřina Tesaříková, Michal Chvojka**

Královéhradecká provozní a.s., Vítá Nejedlého 893, 500 03 Hradec Králové  
E-mail: [pavel.kral@khp.cz](mailto:pavel.kral@khp.cz)

## ÚVOD

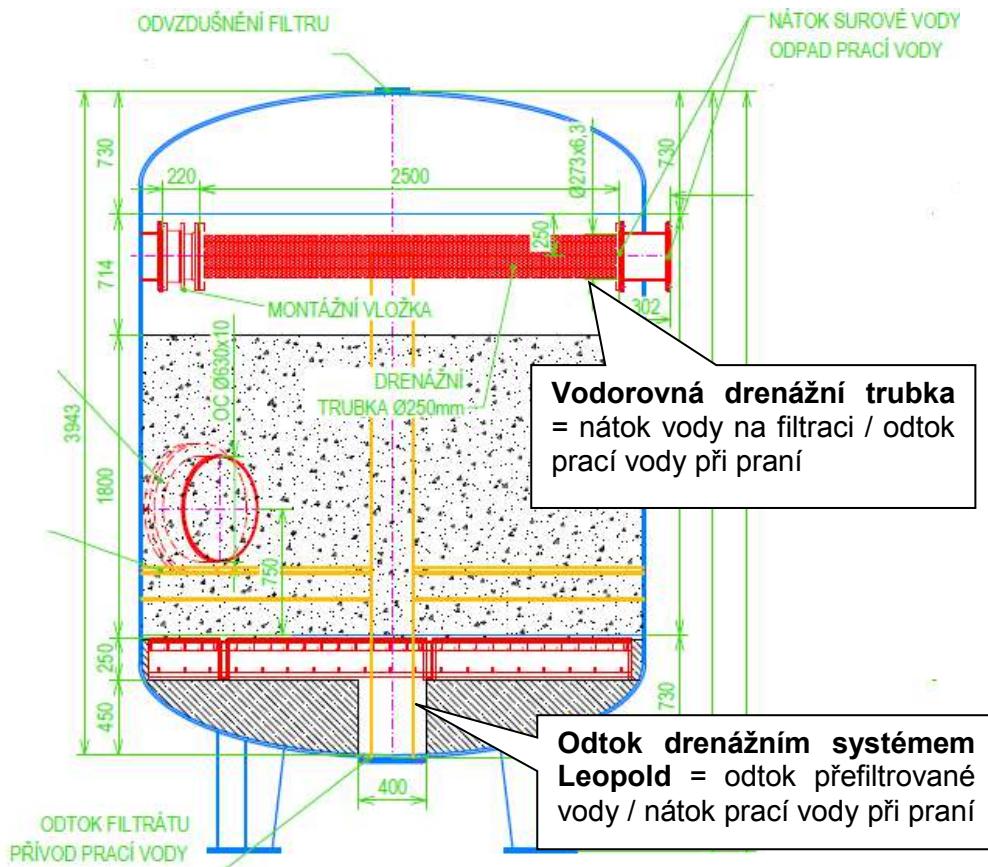
Úprava vody Hradec Králové Orlice byla komplexně rekonstruována v letech 2012 až 2014. V průběhu posledních let však dochází k dalším nemalým investičním akcím. V roce 2019 byla realizována rekonstrukce tlakových filtrů dosud nemodernizované GAU filtrace a výměna granulovaného aktivního uhlí za nové (podrobněji o této akci příspěvek [1]). Následně v roce 2021 až 2022 navázala další akce ještě většího rozsahu – zvětšení kapacity úpravny ze 150 l/s na 250 l/s. Došlo mimo jiné ke komplexní rekonstrukci dalších 4 otevřených gravitačních filtrů, k doplnění druhého saturátoru na flotaci a k doplnění čerpací techniky či souboru dávkování chemikalií.

## REKONSTRUKCE GAU FILTRACE

Nově je na úpravně v provozu všech 8 ks tlakových filtrů – každý o průměru 3,0 m a ploše 7,0 m<sup>2</sup>, tj. celková filtrační plocha činí 56 m<sup>2</sup>. V letech 2012 až 2019 bylo používáno jen 4 ks filtrů, ale nově bylo rekonstruováno a do provozu zapojeno všech 8 tlakových GAU filtrů. Tímto krokem se podařilo reakční náplň zvětšit z původních 66 m<sup>3</sup>, respektive užívaných 33 m<sup>3</sup> na stávajících 102 m<sup>3</sup>. Tento objem významně prodloužil kontaktní dobu uhlí s vyráběnou pitnou vodou na hodnoty 15 – 20 min, což již jsou kontaktní doby zajišťující bezproblémovou separaci speciálních organických látek (pesticidy či léčiva). Mimo to granulované aktivní uhlí slouží také k separaci zbytkových koncentrací látek za ozonizací či jejich oxidačních produktů.

Průběh rekonstrukce byl následující:

Bylo vyřezáno původní mezidno a nádoba filtrů byla nově natřena. Na dno do betonového základu byl osazen pochozí rovný plastový drenážní systém firmy Leopold. V horní části filtru vznikla vodorovná drenážní distribuční trubka, které zároveň odvádí prací vodu. Tato drenážní trubka je poměrně specifická, protože se dá říci, že **filtr má drenážní systém nahore i dole** – což zabraňuje úniku GAU i při intenzivnějším praní. Drenážní trubka má průlínou 0,30 – 0,35 mm. Do filtru tak vstupují defacto jen dvě potrubí, které se následně dělí. V případě vrchního potrubí do drenážní trubky se jedná o přívodní potrubí surové vody na filtrace a o odvodní potrubí prací vody. Do dna drenážního systému pak směřují tři potrubí – potrubí odvádějící přefiltrovanou vodu, potrubí zafiltrování a potrubí přivádějící prací vodu (obr. 1). Celkem je tedy u každého filtru osazeno 5 ks klapek, následuje měření průtoku filtrátu magneticko-indukčním průtokoměrem, společné měření zákalu turbidimetrem a společné měření UV absorbance. Regenerace filtrační náplně je technologicky řešena pouze praním vodou. Praní vzduchem na GAU filtrace nebylo na naší úpravně nikdy instalováno a tento stav se při rekonstrukci neměnil. Všechny stavby filtrů (provoz, praní, najízdění) probíhají přednostně v automatickém režimu a jsou řízené automatickým systémem řízení (ASŘ), ve výjimečných případech lze tyto úkony provádět v „ručním“ režimu.



Obr. 1. Konstrukce rekonstruovaného GAU filtru [2]

### Výběr GAU uhlí a zkušenosti z plnění

Postup výběru vhodného granulovaného uhlí pro naši úpravnu je podrobně popsáný v publikaci [1]. Vzhledem k poměrně omezenému času a dostupným finančním prostředkům, nebyly provedeny poloprovozní testy testování různých druhů GAU, protože i ty jsou bohužel velmi náročné časově i nákladově. Přístup určený investorem byl ten, že byly pečlivě určeny zadávací garantované parametry uhlí (viz tab. 1) a následně byly osloveni 4 dodavatelé GAU uhlí, kteří mají v České republice dostatečné reference a dostupnou technickou podporu. Následně se pak již jednalo o soutěž, kde hlavním parametrem byla cena zakázky.

Vybraný dodavatel pak musel v několika procedurách splnit garantované parametry a stejně tak musel garantovat stav uhlí po proběhnutí 300 pracích cyklů z hlediska otěru a podílu prachu a podobně.

Granulované aktivní uhlí od vybraného dodavatele bylo dodáno ve dvou fázích tak, jak postupovala výstavba filtrů. První fáze plnění tak proběhla v srpnu 2019, druhá pak v říjnu 2019. Granulované aktivní uhlí bylo dovezeno v balení Big Bag (dále jen BB) a složeno na paletách po dvou pytlech na dvoře před úpravnou. V každé fázi tak bylo dodáno 44 BB o objemu 1,2 m<sup>3</sup> každý – tj. cca 56 m<sup>3</sup> GAU. V každé fázi byly plněny 4 filtry, tedy do každého z nich bylo naplněno 11 BB GAU.

Plnění probíhalo s využitím sestavy hydroejektoru (obr. 2, 3) zapůjčeného z ÚV Mostiště, společnost VAS, a.s. Za zapůjčení i cenné rady kolegům velmi děkujeme. Samotná instalace propojení se zapůjčenými hadicemi byla velmi jednoduchá a lehce realizovatelná. Doporučujeme vyrobit si nějakou pevnou koncovku na samotném vstupu do filtrů, aby tam nemusel pracovník hadici po celou dobu plnění držet. Násypka dávkující uhlí do hydroprojektoru

je s výhodou udělána tak, aby šikovný pracovník s vysokozdvížným vozíkem zvládnul vyměnit dosypaný BB za nový a otevřít jej, aniž by bylo přerušeno plnění. Samotná doba plnění BB do filtru nezávisí tolik ani na průtoku nosné vody, ale velkou roli hraje celková vzdálenost od hydroejektoru do filtru a zejména také výška mezi hydroejektorem a místem plnění. Jako zkušenost uvádíme, že jeden BB se podařilo naplnit za 15 – 20 minut. Plnění tak v našem případě probíhalo přibližně 2 × 2 dny. Pro úplnost doplňujeme – průtok nosné vody v našem případě cca 7 – 8 l/s, celková spotřeba vždy na 56 m<sup>3</sup> GAU činila asi 350 m<sup>3</sup> nosné pitné vody.



Obr. 2. Plnění GAU hydroejektorem



Obr. 3. Plnění GAU hydroejektorem

### **První praní dodaného uhlí**

Po naplnění dodaného GAU uhlí do filtrů je nutné provézt jeho praní tak, aby se vypraly prachové částice, které v každém případě v dodaném GAU uhlí jsou. Výrobci GAU uhlí uvádí k prvnímu praní uhlí různá doporučení, z nichž obecně vybíráme:

- prát při expanzi lože min. 15 – 30 %, výše se naopak obvykle nedoporučuje;
- pro vybrání použít až 20násobek objemu dodané náplně uhlí;
- praní sledovat s pomocí měření pH a zákalu prací vody a ukončit při stabilním pH a zákalu pod 5 NTU.

Na tomto místě je nutno zdůraznit, že expanzní křivky GAU uhlí jsou silně závislé na teplotě. Tedy, při teplotě prací vody 5 °C, 10 °C nebo 20 °C jsou velmi rozdílné expanzní křivky a jsou třeba zcela jiné prací průtoky. A to u nás na úpravně vzhledem ke změnám teploty surové vody je fakt, který je nutno brát v potaz.

Velkou roli hraje také fakt, že na ÚV Orlice není instalováno praní GAU vzduchem. Ze zkušeností z jiné ÚV víme, že k doprání uhelného prachu dojde mnohem rychleji, když se uhlí vždy na chvíli vzduchem rozvolní a prach se tak uvolní a je lépe doprán.

Objektivně nutno napsat, že při praní jsme narazili na první problém. Dodavatelem totiž nakonec bylo vybráno a dodáno uhlí MESH 10 × 20 s velikostí částic 0,85 – 2,00 mm (splňuje zadané rozmezí 0,425 – 2,00 mm). Drenážní trubka nahoře má však konstrukční průlínky 0,30 – 0,35 mm. Tedy, část podsítného podílu v uhlí, která již není prachová, konkrétně o velikosti 0,35 – 0,85 mm, je pro nás nevypratelná, protože neproleze skrz drenážní trubku. Na to musíme myslet, protože tato frakce se nechová úplně dle expanzní křivky daného uhlí. Musíme prát spíše menší intenzitou, zejména v zimě, kdy jsou expanze vyšší. V opačném případě může nastávat zacpávání drenážní trubky těmito částicemi.

### **Rozbory GAU po dodání a během prvních let provozu**

Kvalita GAU dodaného výrobcem byla při každé dodané šarži analyzována jak laboratoří výrobce, tak v laboratoři srovnávací vybrané provozovatelem. Výsledky jsou v tab. 1. Obecně se dá konstatovat, že dodané uhlí splnilo garantované parametry dané ve výběrovém řízení bez jakýchkoliv problémů.

**Tab. 1. Rozbory dodaného GAU**

Parametr	Garantovaná hodnota	Filtry č. 5 – 8 27. 8. 2019	Filtry č. 5 – 8 srovnávací 27. 8. 2019	Filtry č. 1 – 4 6. 11. 2019
<b>Iodové číslo (mg/g)</b>	Min. 950	973	992	1018
<b>Obsah popela (%)</b>	Max. 10	5,9	6,1	4,7
<b>Vlhkost (%)</b>	Max. 5	0,8	-	0,7
<b>Specifický povrch BET (m<sup>2</sup>/g)</b>	Min. 1000	1020	976	1068
<b>Otěr (%)</b>	Min. 75	88	-	89
<b>Tvrnost (%)</b>	Min. 92	98	-	98
<b>Podsítný podíl (%)</b>	Max. 5	2,3	-	3,7
<b>Nadsítný podíl (%)</b>	Max. 5	0,9	-	1,5

V zájmu provozovatele je sledovat kvalitu uhlí i dále během provozu. Tlakové filtry je však možné otevřít a vzorek odebrat pouze během pravidelné letní odstávky. V roce 2021 se to však bohužel díky souběhu s další rekonstrukcí nepodařilo realizovat. Výsledek nového uhlí s porovnáním s výsledkem po necelém roce provozu pro každou šarži je v tab. 2. Jisté zhoršení je patrné na jodovém čísle a na obsahu popela, nicméně to může být tím, že vzorek se i přes veškerou snahu vždy odebere spíše z vrchní vrstvy filtru. Další sledování uhlí je v plánu v červnu 2022 po další provozní kampani.

**Tab. 2. Rozbory GAU během provozu**

Parametr	Filtry č. 1 – 4 6. 11. 2019 NOVÉ	Filtry č. 1 – 4 26. 5. 2020	Filtry č. 5 – 8 27. 8. 2019 NOVÉ	Filtry č. 5 – 8 26. 5. 2020
<b>Iodové číslo (mg/g)</b>	1018	950	973	858
<b>Adsorpce na methylenové modři (mg/g)</b>	252	276	250	236
<b>Obsah popela (%)</b>	4,70	5,88	5,90	7,08
<b>Sypná hmotnost (kg/m<sup>3</sup>)</b>	447	432	440	430

### **První provozní výsledky z hlediska kvality pitné vody**

Na úpravně Orlice provádíme úplný rozbor surové vody (tab. 3) a vyrobené pitné vody včetně všech pesticidů a jejich metabolitů dle doporučeného rozsahu v četnosti tříkrát ročně. V podobné četnosti stanovujeme i metabolity pesticidních látek ve vyrobené vodě za GAU filtrací, které jsou v následující tab. 4. Pro objektivní hodnocení je nutné vzít v potaz fakt, že voda před novou GAU filtrací prochází také ozonizací s výkonem 1,0 – 1,5 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>.

**Tab. 3. Analýza metabolitů pesticidních látek v surové vodě z řeky Orlice**

Látka	limit	03.02. 2020	04.05. 2020	07.09. 2020	02.02. 2021	03.05. 2021	29.11. 2021	31.01. 2022
		µg/l						
<b>Metolachlor</b>	0,10							0,011
<b>Metolachlor ESA</b>	DH 6,00	0,054	0,071	0,078	<b>0,130</b>	0,062	0,066	<b>0,105</b>
<b>Metolachlor OA</b>	DH 6,00	0,015	0,014	0,018	0,029	0,011	0,012	0,011
<b>Metazachlor</b>	0,10							
<b>Metazachlor ESA</b>	DH 5,00	0,065	0,042	0,076	<b>0,170</b>	0,056	0,042	<b>0,174</b>
<b>Metazachlor OA</b>	DH 5,00	0,021	0,017	0,021	0,072	0,023	0,011	<b>0,132</b>
<b>Dimetachlor ESA</b>	0,10	0,023	0,016	0,012	0,024	0,010	0,013	0,021
<b>Dimetachlor OA</b>	0,10							
<b>Chloridazon-desphenyl</b>	Suma 6,00		<b>0,209</b>	<b>0,176</b>	<b>0,246</b>	<b>0,398</b>	<b>0,114</b>	<b>0,369</b>
<b>Chloridazon-methyldesphenyl</b>			0,026	0,034	<b>0,103</b>	0,041	0,037	<b>0,104</b>

Pozn.: Analytická hodnota pod mezi stanovení = prázdná buňka. Metabolit není v tabulce = nikdy nebyl nalezen ani v surové vodě. Červené hodnoty jsou vyšší než základní limit 0,10 µg/l v případě nerelevantního metabolitu pesticidní látky.

**Tab. 4. Analýza metabolitů pesticidních látek ve vyrobené vodě Orlice**

Látka	limit	03.02. 2020	02.09. 2020	05.10. 2020	02.02. 2021	02.11. 2021	31.01. 2022	30.03. 2022
		µg/l						
<b>Metolachlor</b>	0,10							
<b>Metolachlor ESA</b>	DH 6,00			0,011	0,018			
<b>Metolachlor OA</b>	DH 6,00							
<b>Metazachlor</b>	0,10							
<b>Metazachlor ESA</b>	DH 5,00			0,010	0,028			
<b>Metazachlor OA</b>	DH 5,00				0,014			
<b>Dimetachlor ESA</b>	0,10							
<b>Dimetachlor OA</b>	0,10							
<b>Chloridazon</b>	0,10							
<b>Chloridazon-desphenyl</b>	Suma 6,00							
<b>Chloridazon-methyldesphenyl</b>								

Pozn.: Prázdná buňka značí nález pod mezi stanovení analytické hodnoty.

### ZVĚTŠENÍ KAPACITY ÚPRAVNY NA 250 l/s

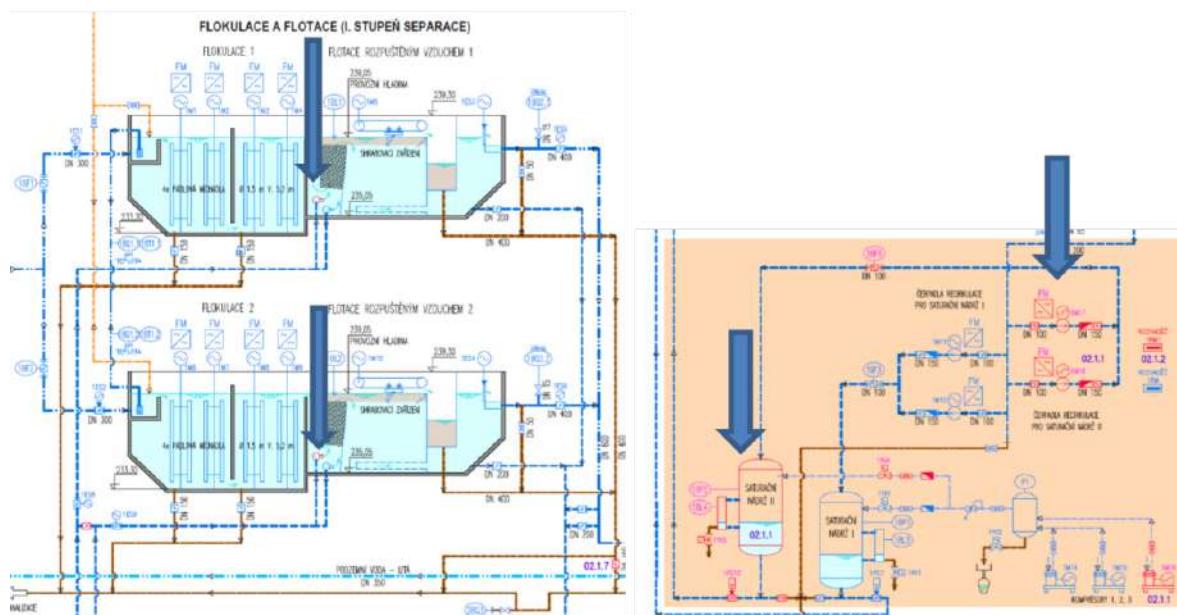
Zvětšení kapacity úpravny ze 150 l/s na 250 l/s bylo již předběžně plánované při přípravě rekonstrukce v roce 2010 a mělo již vypracovanou dokumentaci ke stavebnímu povolení z této doby. K rozhodnutí tuto akci realizovat došlo poměrně rychle v roce 2020, samotná rekonstrukce pak probíhala v roce 2021 a 2022. Rozšíření kapacity se týkalo zejména nového vystrojení 4 ks otevřených filtrů na 2. stupni separace. V případě flotace došlo pouze k doplnění řady trysek a nového saturátoru s příslušnými čerpadly.

V další části technologie úpravny pak došlo k doplnění podávacích čerpadel na jednotlivé stupně a čerpadel chemikálií. Vyšší kapacita úpravny je zálohou pro období sucha případně pro případ poruchy vodárenských přivaděčů.

V tomto příspěvku bych se rád věnoval provozování sestavy úpravny, která má maximální kapacitu 250 l/s, ale běžně je provozována na výkon méně než poloviční – tj. 80 l/s. S takto širokým rozpětím kapacit úpravny souvisí nutnost přemýšlet o provozním nastavení a odstavení části zařízení v závislosti na objemu vyráběné vody.

### **Úpravy flotační linky – zvětšení kapacity na 250 l/s – provozní pohled**

Jak již bylo zmíněno výše, flotační linka byla v roce 2010 koncipována tak, aby hydraulicky zvládla i průtok 250 l/s. Podmínkou této akce bylo pouze doplnění řady trysek na tvorbu bílé vody do kontaktní zóny a s tím doplnění druhého saturátoru a příslušných čerpadel recyklu vody. Změny jsou vyznačeny na následujícím obrázku šipkami (obr. 4).



**Obr. 4. Úpravy flotační linky – změny zdůrazňují šipky [3]**

Jak již bylo zmíněno výše, flotační linka byla v roce 2010 koncipována tak, aby hydraulicky průtok 250 l/s zvládla, a to i v části předrazeného flokulačního míchání. Jediné co bylo třeba je doplnit jeden saturátor a řadu trysek. Novinkou provozování je však fakt, že dříve byly vždy v provozu dvě linky a k nim jeden saturátor, který dodával nasycenou vodu do trysek na obou linkách. Nově však každý saturátor s příslušnou dvojicí čerpadel přísluší ke své lince, do které dodává nasycenou vodu. To znamená, že do průtoku cca 120 l/s je doporučeno provozovat jen jednu linku flotace s příslušným saturátorem a teprve při průtoku vyšším se zapínají obě linky flotace.

Zde se dostáváme k prvnímu specifiku této úpravny, která je provozována ve velkém rozsahu provozního výkonu. Obvyklý provoz, který je potřebný je totiž 80 až 90 l/s. Za této situace je jedna linka flotace v provozu, druhá je odstavena a naplněna čistou vodou – nemůže být prázdná z důvodu statiky. Toto provozování jedné linky flotace více hydraulicky zatížené má jednu nevýhodu – logicky se zkracuje kontaktní čas v pomalém míchání, což se zejména na studené zimní vodě může negativně projevit. Zvažujeme tedy možné provozní úpravy a možnost provozu obou linek i při malém výkonu v zimě.

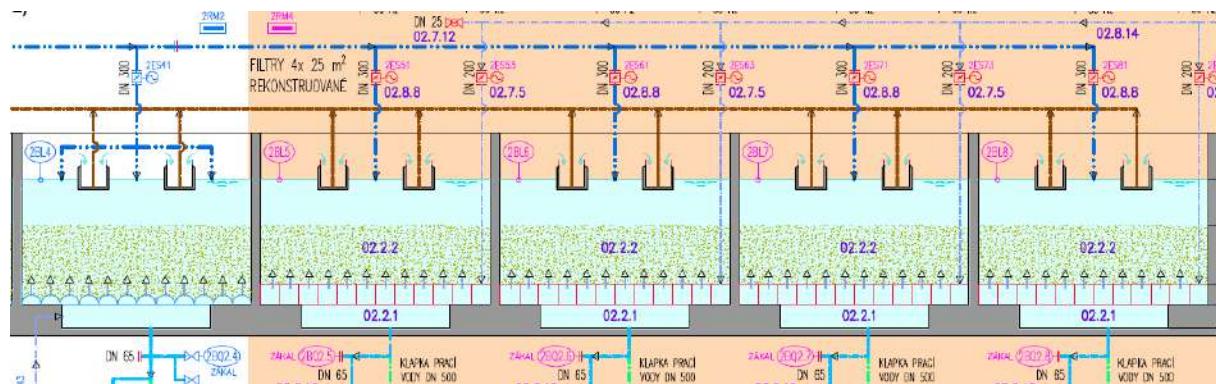
### **Rozšíření otevřených filtrů – zvětšení kapacity na 250 l/s**

Při rekonstrukci úpravny v roce 2012 byly rekonstruovány 4 z původních 8 otevřených filtrů. Došlo k vybourání mezidna a instalaci drenážního systému. V roce 2012 byl ve filtroch č. 1 až č. 4 instalován nerezový drenážní systém Triton. Náplň filtru tvoří materiál Filtralite

Mono-Multi v sestavě 0,6 + 0,6 m každé filtrační vrstvy. Poslední rekonstrukce se zabývala původními filtry č. 5 až č. 8. Protože filtrace je budována jakožto modifikovaná filtrace s proměnlivou filtrační rychlosí, bylo nutné udělat filtry co nejvíce stejné. Přesto byla zvolena poměrně zásadní změna – zadáním bylo instalovat filtrační systém Leopold. Tento je cca o 10 cm výšší než systém Triton, a proto následná filtrační vrstva Filtralite Mono-Multi byla volena v modifikaci 0,55 + 0,55 m výšky. Dalším rozdílem mezi oběma systémy je fakt, že vzduch je do systému Leopold na naší úpravně zaveden z vrchu, zatímco vzduch do systému Triton přichází ze spodu rozdělovacím žlabem. Jinak jsou filtry identické.

Zde jsou základní projektované parametry filtrace:

- Maximální výkon  $Q=250 \text{ l/s} = 900 \text{ m}^3/\text{hod}$ , minimální výkon  $Q = 70 \text{ l/s}$ .
- Počet filtrů – 8 ks.
- Plocha jednoho filtru cca  $23,82 \text{ m}^2$ .
- Celková plocha 8 filtrů –  $190,86 \text{ m}^2$ .
- Navržená filtrační rychlosí při maximálním výkonu úpravny –  $4,8 \text{ m/hod}$ .



**Obr. 5. Nové vystrojení dosud nerekonstruovaných filtrů č. 5 – 8 v porovnání s filtrem č. 4 [3]**

V případě 8 kusů otevřených filtrů a širokého rozsahu provozování úpravny od 80 l/s do 250 l/s přichází logické otazníky – kolik filtrů má být na jaký výkon v provozu a jakým způsobem má být pečováno a filtry odstavené, ale v pohotovostním režimu připravené pro případnou nutnost navýšení výroby vody například v případě poruchy přivaděče. Byla stanovena tato pravidla, která však mohou doznat změn v průběhu provozu:

- |                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| • Výroba do 90 l/s včetně | 3 filtry nebo 4 filtry |
| • Výroba 120 až 150 l/s   | 4 filtry               |
| • Výroba 150 až 200 l/s   | 6 filtrů               |
| • Výroba 200 až 250 l/s   | 8 filtrů               |

Dále na základě komplexních testů byla pravidla doplněna:

- Nelze provozovat 5 ks filtrů (sestava 4 „nové“ + 1 „starý“ nebo naopak hydraulicky ideálně nefunguje).
- Provoz 2 filtrů je příliš málo, 3 filtry jsou minimum (aby při praní 1 ks zůstaly v provozu 2 filtry).

Pokud jde o péči o filtry odstavené v pohotovostním režimu – v této chvíli se předpokládá uchovávání náplně smočené pod vodou a preventivní praní se zkráceným cyklem prací vody 1x za 14 dní až 1x za měsíc. Naším „strašákem“ je sekundární oživení filtrů související se světlem na úpravně – luxfery v historicky projektované budově.

### První výsledky z komplexních testů při výrobě 250 l/s

Rekonstrukce byla po stránce technologické a strojní dokončena v březnu 2022. Závěrem byly komplexní v délce 72 hodin – tedy tří dnů. V době komplexních testů byla spuštěna nová technologie a byl postupně zdvihán výkon úpravny z 90 l/s na 130 l/s a dále až na 250 l/s. Byly testovány různé sestavy provozu linek flotace a filtrů v závislosti na výkonu úpravny. Při každém výkonu úpravny byly odebrány vzorky vody za jednotlivými separačními stupněmi, při výkonu 250 l/s úplný vzorek vyrobené pitné vody.

Všechny rozbory vyhověly požadavkům a jednotlivé separační stupně vykázaly potřebnou účinnost. Během komplexních testů bylo nutné seřídit regulační klapky za sestavami filtrů a regulační hladiny – poté se při výrobě 250 l/s podařilo dosáhnout rovnoměrné filtrace na všech 8 filtroch. Provoz po dobu 72 hodin je pochopitelně příliš krátký na závěry a zjištění. Jeden zajímavý závěr však prezentovat lze – ukázalo se, že filtrační materiál Filtralite Mono-Multi poskytuje lepší výsledky (snížení zákalu a podobně) při vyšších filtračních rychlostech – z projekčního rozsahu a naopak „pomalá“ filtrace může výsledky zhoršovat.

## ZÁVĚR

Na úpravně pitné vody Hradec Králové Orlice byly v roce 2019 a následně 2021 až 2022 provedeny další dvě rekonstrukce úpravnu modernizující a rozšiřující. V prvním kroku došlo ke kompletní repasii všech osmi tlakových GAU filtrů a modernizaci filtrační technologie v nich. Všech 8 filtrů bylo naplněno novým granulovaným uhlím, kterého nově máme 102 m<sup>3</sup> namísto původních 66 m<sup>3</sup>. Tím došlo k prodloužení potřebné doby zdržení vody na cca 15 – 20 minut, což je pro separaci mikropolutantů, jako jsou například pesticidy či léčiva, nutností. V druhém kroku pak byla technologie rozšířena na kapacitu 250 l/s. Došlo k úpravě flotační jednotky přidáním saturátoru a rekonstrukci dalších 4 ks otevřených filtrů. Obě rekonstrukce proběhly úspěšně a provozní výsledky jsou uspokojivé. Provozování úpravny v širokém rozsahu průtoků 80 až 250 l/s má však své závludnosti, na které je třeba do budoucnosti myslit.

## PODĚKOVÁNÍ

- Projektant EKO EKO, s.r.o. (Ing. Josef Smažík a další)
- Dodavatel technologie ENVI-PUR, s.r.o. – celý tým odborníků na obou akcích.
- Dodavatel GAU Brenntag CZ – výborná spolupráce při plnění a praní GAU.
- VAK Hradec Králové, a.s. – rozumný a do budoucnosti hledící vlastník.
- Ministerstvo zemědělství ČR – poskytovatel dotace na zvýšení kapacity úpravny.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Král P. (2021), Rekonstrukce GAU filtrace na úpravně vody Hradec Králové – Orlice, Elektronický sborník prezentací z konference Pitná voda 2020–2021, Petr Dolejš, ISBN 978-80-905238-4-5.
- [2] EKO EKO, s.r.o. (2019). Projektová dokumentace pro výběr zhotovitele – „ÚV Hradec Králové – modernizace 8 filtrů s aktivním uhlím“.
- [3] EKO EKO, s.r.o. (2022). Projektová dokumentace skutečného provedení stavby – „ÚV Hradec Králové – II.etapa rozšíření na 250 l/s“.

# **DOSTAVBA ÚPRAVNY VODY ŠPINDLERŮV MLÝN – PŘEDPROJEKTOVÁ A PROJEKTOVÁ PŘÍPRAVA**

**Milan DRDA, Ing. Petra HRUŠKOVÁ, Ing. Pavel DOBIÁŠ, Ph.D.**

ENVI-PUR, s.r.o., Na Vlčovce 13/4, 160 00 Praha 6 – Dejvice  
E-mail: [drda@envi-pur.cz](mailto:drda@envi-pur.cz), [hruuskova@envi-pur.cz](mailto:hruuskova@envi-pur.cz), [dobias.pavel@envi-pur.cz](mailto:dobias.pavel@envi-pur.cz)

## **ÚVOD**

Rekonstrukce technologické linky úpravny vody Špindlerův Mlýn (ÚV Špindlerův Mlýn) má za cíl navýšení výkonu výroby pitné vody z povrchového zdroje Bílé Labe na celkový výkon  $Q = 162 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  ( $45 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Další podmínkou rekonstrukce ÚV Špindlerův Mlýn je zajištění, co největší provozní autonomie s co nejmenší personální obslužností. A to především v zimních měsících.

## **STÁVAJÍCÍ STAV**

Stávající technologická linka ÚV Špindlerův Mlýn o projektovaném maximálním výkonu  $20 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  je provozována jako dvoustupňová. První separační stupeň je tvořen sedimentační nádrží s lamelovou vestavbou a druhým separačním stupněm je filtrace přes vrstvu zrnitého materiálu (filtrační písek 1–1,6 mm).

Voda je upravována koagulací a jako koagulant je dávkován síran hlinitý ve formě 10% roztoku. Hodnota koagulačního pH je upravována přídavkem roztoku  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Hodnota KNK<sub>4,5</sub> a pH upravené vody je upravována dávkováním  $\text{CO}_2$  a vápenné vody.

Hygienické zabezpečení upravené vody je prováděno jednak účinkem UV záření pomocí UV reaktoru zařazeného na odtoku upravené vody do vodojemů a také dávkováním roztoku  $\text{NaClO}$ .

Technologická linka je provozována diskontinuálně jen v obdobích se zvýšenou potřebou pitné vody ve spotřebišti. To je většinou v zimním období. Jinak je po většinu roku odstavená.

## **KONCEPCE NÁVRHU NOVÉ TECHNOLOGICKÉ LINKY ÚV ŠPINDLERŮV MLÝN**

Na základě podrobné analýzy provozně-technických a technologických údajů byla navržena nová technologická linka ÚV Špindlerův Mlýn, která po rekonstrukci bude mít maximální výkon  $Q = 162 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  ( $45 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ) při zajištění dosažení parametrů kvality upravené vody v souladu s požadavky vyhlášky MZ ČR 252/2004 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Technologická koncepce úpravny vody se po rekonstrukci významně změní, ale nadále bude vycházet z koncepce založené na koagulaci a filtrace s následnou stabilizací uhličitanové rovnováhy tak, aby kvalita upravené vody plnila požadavky pro dopravu ocelovým potrubím, a hygienickým zabezpečením.

Požadavkem investora na novou technologickou linku ÚV Špindlerův Mlýn je především zvýšení jejího výkonu a co nejširší autonomie provozu. K tomu bude přizpůsoben i systém sledování kvality surové a upravované vody.

**Technologická linka bude po rekonstrukci úpravny vody zahrnovat následující základní technologické uzly:**

### **1. Přítok surové vody**

Jímací objekt a přítok surové vody bude zachován beze změn oproti stávajícímu stavu. Potrubí surové vody v objektu úpravny projde celkovou obnovou.

Surová voda bude natékat bez úpravy do stávajícího sedimentační nádrže s lamelovou vestavbou.

Nátokové potrubí surové vody bude vybaveno kontinuálním analyzátorem zákalu pro sledování kvality surové vody, aby bylo možné včas zachytit náhlou změnu kvality surové vody například v období se zvýšeným výskytem srážek, táním sněhu apod.

### **2. První separační stupeň**

Sedimentační nádrž s lamelovou vestavbou bude zachována ve stávajícím uspořádání. Surová voda nebude před tímto separačním stupněm žádným způsobem upravována a bude sloužit pro zachycení hrubých nečistot.

Kapacita pro odstranění hrubých nečistot bude v celém výkonnostním spektru ÚV Špindlerův Mlýn dostatečná.

Technologické vybavení sedimentační nádrže pro provádění její periodické údržby (odkalení) bude zachováno ve stávající konfiguraci. Na odtokovém potrubí z prvního separačního stupně bude osazeno kontinuální měření zákalu, pH a UV absorbance.

### **3. Čerpání vody z prvního separačního stupně**

Nátok upravované vody do druhého separačního stupně bude osazen dvěma pomocnými čerpadly s externím řízením pomocí frekvenčních měničů (FM).

### **4. Tlaková flokulační nádrž**

Potrubí upravované vody na výtlaku z pomocných čerpadel bude vybaveno homogenizačním elementem se zaústěním dávkování alkalizačního činidla ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ) pro řízenou úpravu optimální hodnoty koagulačního pH.

Potrubí upravované vody mezi posilovacími čerpadly a tlakovou flokulační nádrží bude vystrojeno i druhým homogenizačním elementem se zaústěním dávkování koagulantu (síran hlinitý, alternativně předpolymerizovaný hlinitý koagulant). Při použití vhodného předpolymerizovaného koagulantu nebude pravděpodobně nutné aplikovat předalkalizaci. Výběr vhodného koagulantu a strategie procesu koagulace na ÚV Špindlerův Mlýn by měl vzejít z provedených koagulačních testů pro aktuální kvalitu surové vody.

Instalované homogenizační elementy zaručí, že dojde k velmi rychlé homogenizaci do surové vody dávkovaných roztoků, která je klíčová pro co nejvyšší efektivitu procesu koagulace, a to především v období, kdy je teplota surové vody velmi nízká.

Po nadávkování koagulantu bude voda spolu se vznikající suspenzí natékat do tlakové flokulační mechanicky míchané nádrže, kde bude probíhat orthokineticcká fáze koagulace. Tlaková flokulační nádrž bude vybavena hydrofoilovým míchadlem s možností změny intenzity míchání, a tím i změny středního rychlostního gradientu.

Teoretická doba zdržení v tlakové flokulační nádrži je navržena nejméně na 1,3 minuty, což je dostatečné pro následující keramickou membránovou mikrofiltraci/ultrafiltraci (MF/UF).

Předupravená voda bude z flokulační nádrže natékat na druhý separační stupeň, který bude rozdělen na dvě větve. V hlavní větvi druhého separačního stupně budou zařazeny keramické MF/UF membrány.

Druhá větev bude vycházet ze současného uspořádání a bude využita stávající flokulační nádrž s 5 nerezovými přepážkami o objemu  $23 \text{ m}^3$  a stávající filtr s vrstvou zrnitého materiálu, u kterého bude z důvodu zajištění vysoké separační účinnosti vyměněna filtrační náplň. Obě větve bude možné podle potřebného výkonu ÚV provozovat současně i samostatně.

## **5. Druhý separační stupeň – keramická membránová MF/UF**

Hlavní větev druhého separačního stupně technologické linky ÚV Špindlerův Mlýn bude tvořena třemi samostatnými linkami tlakové keramické MF/UF.

Každá MF/UF linka bude mít standardní výkon  $10 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $36 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ) a krátkodobě bude možno každou MF/UF linku provozovat při maximálním výkonu  $12,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $45 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ).

Výkon nové MF/UF linky bude tedy  $30 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $108 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ) a maximálně krátkodobě  $37,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $135 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ).

Výkon nové linky bude možné plynule zvyšovat až na výkon  $30 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  (krátkodobě až  $37,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ) pomocí regulace výkonu posilovacího čerpadla na vstupu a případně ještě připojováním nebo odpojováním jednotlivých linek membránové keramické filtrace.

Kvalita permeátu bude sledována kontinuálním analyzátorem UV absorbance a kontinuálním měřením pH. Celá jednotka MF/UF bude řízena automaticky na základě dat získaných z kontinuálních analyzátorů.

Po zadání optimální dávky koagulantu, stanovené technologem úpravny vody pro aktuální kvalitu surové vody, bude automatický systém řízení umět vyhodnotit kvalitu surové a upravované vody, od níž se bude odvíjet i délka filtračních cyklů a bude možné na základě vyhodnocovacích algoritmů automaticky upravit dávkování koagulantu, alkalizačního činidla i režim automatického praní samotných membrán.

Automatické praní membrán bude prováděno na základě sledování poklesu permeability a nárůstu hodnot transmembránového tlaku až na 90-120 kPa (max 150 kPa).

## **6. Druhý separační stupeň – stávající flokulace a filtrace**

Větev technologické linky s původní flokulací a filtrací přes vrstvu zrnitého materiálu bude možné využívat jako záložní při výkonu ÚV Špindlerův Mlýn do  $Q = 15 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $54 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ) či při potřebě výkonu celé technologické linky  $Q = 45 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $162 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ).

Voda bude natékat do původní flokulace, vystrojené čtyřmi nerezovými děrovanými přepážkami, o objemu  $22,77 \text{ m}^3$ . V této nádrži bude doba zdržení pro flokulaci při maximálním průtoku  $15 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  25 minut. Odtud bude voda natékat novým potrubím do stávajícího otevřeného filtru. Stávající jednovrstvá písková náplň bude nahrazena novou dvouvrstvou filtrační náplní Filtralite Mono-Multi Fine.

## **7. Stabilizační filtry přes vrstvu vápencové drti**

Z obou větví druhého separačního stupně (primárně z MF/UF) bude upravovaná voda natékat do nově zbudovaných 5 kontaktních filtrů s vrstvou drceného vápence. Kontaktní stabilizační filtry s vápencovou drtí nahradí dávkování vápenné vody, čímž byla měly odpadnout především problémy s vápenným hospodářstvím, které vyžaduje intenzivní obsluhu a údržbu.

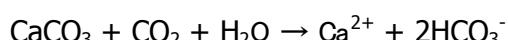
Kontaktní stabilizační filtry budou nově vybudovány v prostoru stávající odstavené a nevyužívané filtrace. Před nátokem do nových kontaktních filtrů bude zaústěno dávkování CO<sub>2</sub>, množství bude záviset od rozdílu pH před a za kontaktními filtry. Kontaktní filtry, vystrojené drenážním systémem Leopold, budou protékány zespoda nahoru pro lepší využití nadávkovaného CO<sub>2</sub>. V této konfiguraci odpadá nutnost periodického praní stabilizační kontaktní náplně.

Kontaktní filtry pro stabilizaci upravované vody budou vybaveny i možností praní, které bude nutné při plnění nového materiálu (vápencová drť) a bude využito jen při zprovoznění nově naplněného nebo doplněného kontaktního filtru. Počet kontaktních filtrů, které budou provozovány, bude záviset na aktuálním výkonu úpravny.

Úbytek náplně je přirozeným projevem navrženého procesu stabilizace vody, předpokládáme, že filtry budou vždy před začátkem zimní sezony doplněny na výšku náplně 2 m. Na základě výsledků provedených poloprovozních zkoušek předpokládáme, že při provozu úpravny vody po dobu 3 měsíců (provoz 10 hodin denně na výkon 45 l·s<sup>-1</sup>) bude úbytek náplně kontaktních filtrů 0,1 m. Odtokové potrubí stabilizované vody do vodojemu bude vybaveno měřením zákalu z důvodu bezpečnosti provozu. Zákal na odtoku z kontaktních filtrů do vodojemu by neměl překročit hodnotu 1 NTU. Plocha pěti samostatných filtrů bude celkem 55,1 m<sup>2</sup>.

V tabulce 1 jsou vedeny hodnoty doby kontaktu (EBCT) při výšce náplně 2 m v závislosti na výkonu technologické linky ÚV Špindlerův Mlýn. Doporučovaná hodnota EBCT pro návrh kontaktních stabilizačních filtrů je minimálně 45 minut vzhledem k pomalému rozpouštění vápencové náplně. To odpovídá filtrační rychlosti 2-3 m·h<sup>-1</sup>. Maximální hodnota filtrační rychlosti by neměla překročit 3 m·h<sup>-1</sup>. Při této filtrační rychlosti by nemělo docházet ke vznosu náplně a případnému odplavování jemné zbytkové frakce použitého vápence. Účinnost stabilizace vzhledem k požadovaným hodnotám KNK4,5 (min. 0,8 mmol·l<sup>-1</sup>) a pH (7,5-8,1) [1] bude řízena pomocí dávkování CO<sub>2</sub> na nátoku upravované vody do stabilizačních filtrů.

Proces je založen na chemické reakci probíhající podle rovnice:



Teoreticky lze předpokládat, že při dávce 10 mg·l<sup>-1</sup> volného CO<sub>2</sub> vzroste koncentrace HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> o 0,454 mmol·l<sup>-1</sup>.

Pokud bude potřeba po kontaktní filtrace ještě upravovat hodnotu pH upravené vody, tak to bude možné provádět dávkováním alkalizačního činidla (NaHCO<sub>3</sub>, NaOH).

**Tab. 1. Doba kontaktu pro navrhované průtoky při výšce náplně drceného vápence 2 m**

Počet filtrů v provozu	Q [m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ]		
	54	108	162
<b>1</b>	25	12	8
<b>2</b>	49	25	16
<b>3</b>	74	37	25
<b>4</b>	98	49	33
<b>5</b>	123	61	41

## **8. Hygienické zabezpečení upravené vody**

Na odtoku z kontaktní filtrů bude umístěn UV reaktor pro finální dezinfekci vody. Na nátoku do vodojemu bude možné ještě dávkovat roztok NaClO.

## **9. Kalové hospodářství**

Odpadní voda bude odváděna (odkalení sedimentace, prací vody z filtrů, mechanické proplachy membránové filtrace) přímo do splaškové kanalizace.

Výjimku budou tvořit odpadní vody z chemické regenerace membrán, které budou do splaškové kanalizace distribuovány přes neutralizační nádrž.

## **ZÁVĚRY**

Celý návrh nové úpravny vody byl proveden s ohledem na předpokládaný přerušovaný provoz úpravny. Byly zohledněny veškeré předložené výsledky rozborů surové vody za posledních několik let. Návrh nové úpravny vody předpokládá bezpečný a stabilní provoz úpravny vody i při výrazném zhoršení kvality surové vody, než bylo předloženo v podkladech pro zpracování projektové dokumentace.

Návrh předpokládá, že bude možné upravovat surovou vodu při hodnotách ukazatele CHSK(Mn) do 25 mg/l a hodnotách ukazatele zákalu do 100 NTU za předpokladu optimální dávky a druhu koagulantu.

Návrh kontaktních stabilizačních filtrů pro úpravu uhličitanové rovnováhy a pH v upravené vodě byl proveden na základě poloprovozních experimentů, kdy bylo testováno několik typů vápencových materiálů při různých podmínkách provozu.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkujeme za spolupráci při zpracování návrhu dostavby ÚV Špindlerův Mlýn pracovníkům SČVK a.s., konkrétně Ing. Monice Stehnové a Ing. Lubošovi Ryplovi.

## **SEZNAM LITERATURY**

1. Požadavky na jakost vody dopravované potrubím při teplotě do 25 °C. TNV 757121, MZe ČR, Červen 2010, Hydropunkt CZ a.s., Praha

# **PROVOZ, OPTIMALIZACE A VYUŽITÍ KAPACITNÍ DEIONIZAČNÍ JEDNOTKY**

**Bc. Jan VESPALEC, Ing. Martina ŠVÁBOVÁ, Mgr. Martina REPKOVÁ, Ph.D.**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí, Purkyňova 464/118, Královo Pole, 61200 Brno 12  
E-mail: [Jan.Vespalec@vutbr.cz](mailto:Jan.Vespalec@vutbr.cz)

## **ÚVOD**

Celosvětově ubývá přírodních zdrojů měkké pitné vody, a s tím souvisí snaha rozvíjet nové technologie zaměřené na změkčování vod. Vedle současných membránových technologií a iontoměničů se ukazuje kapacitní deionizace jako jedna z dalších potencionálně využitelných technologií. Kapacitní deionizace má v porovnání s membránovými procesy podstatně menší nároky na tlak a náklady na provoz jsou ekonomičtější. V porovnání s iontoměniči není potřeba používat žádné další provozní chemikálie.

Kapacitní deionizace je založená na separaci nabitych iontů z roztoku elektrostatickými silami. V této práci byla použita jednotka kapacitní deionizace, kterou vyvinula firma ASIO, spol. s r.o. Cílem bylo optimalizovat vybrané faktory (napětí, průtok, vliv iontů obsažených v roztoku, vliv počáteční koncentrace iontů v roztoku a stáří elektrodového materiálu) a odzkoušet její účinnost na vybraných ukazatelích ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , celková tvrdost,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ).

Kapacitní deionizace (CDI) je založená na separaci nabitych iontů z roztoku elektrostatickými silami. Mezi dvě elektrody se aplikuje napětí a disociované ionty v roztoku jsou nuceny migrovat k sobě opačně nabitém elektrodám. Z protékajícího elektrolytu se vlivem elektrosorpce ukládají ionty do elektrické dvojvrstvy v mikropórech a makropórech. Kationty jsou přitahovány k záporně nabité elektrodě a anionty jsou přitahovány ke kladně nabité elektrodě. Ionty jsou adsorbovány na povrchu elektrod, a tím je snížena jejich koncentrace ve výstupním roztoku. Při naplnění kapacity elektrosorpce jsou elektrody zkratovány nebo je na elektrody vložen opačný potenciál. Nastává desorpce iontů z povrchu zpět do roztoku a na výstupu dostáváme zvýšenou koncentraci roztoku. Výsledkem je střídavě vytékající diluát a koncentrát z elektrochemického článku [1].

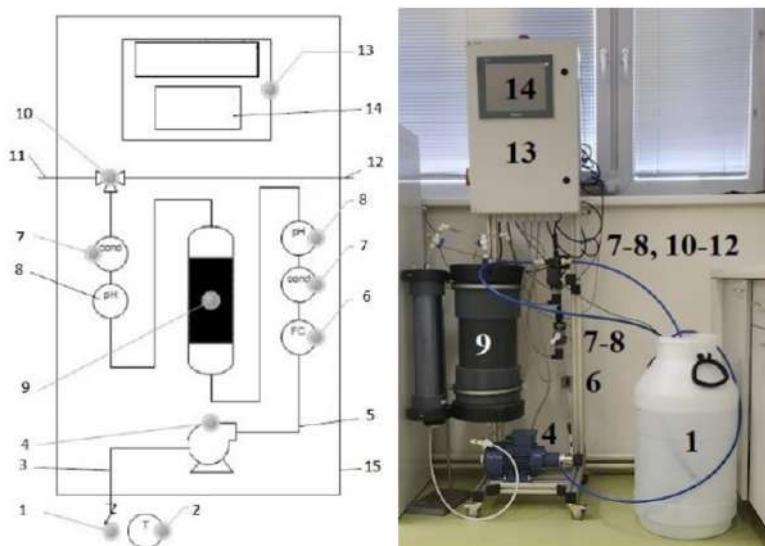
Na článcích kapacitní deionizace probíhají faradaické a nefaradaické reakce, přičemž faradaické reakce jsou v kapacitní deionizaci nežádoucí, z důvodu oxidace elektrody, což snižuje účinnost separace [2, 3]. Za faradaický proces považujeme takový proces, když na povrchu elektrod probíhají redoxní reakce [2, 4]. V případě uhlíkových elektrod se na anodě oxiduje uhlík na karboxylovou skupinu, dále se oxiduje voda na samotný dikyslík. V případě, že roztok obsahuje i chlorid, dochází k jeho oxidaci až na chlorečnan. Přes peroxid vodíku dochází na katodě k redukci dikyslíku na vodu. Rovněž dochází k redukci uhlíku, kdy probíhá hydrogenace a vzniká C-H skupina. Za nefaradaický proces označujeme to, když oxidační stav látky zůstává zachován, ale vlivem náboje je přitahován k povrchu elektrody. Ionty jsou vázány elektrostatickými a adsorpčními silami v elektrodové dvojvrstvě [2, 4, 5].

V této práci byly použity uhlíkaté elektrody, které jsou vyráběny z levných materiálů a mají vysokou měrnou povrchovou plochu pro adsorpci. Rovněž materiál elektrod musí mít vhodnou distribuci pórů, aby dokázal zachytit veškeré typy iontů. Cílem práce bylo vyzkoušet optimální nastavení faktorů ovlivňující sorpci, a poté provedení experimentů na modelové vodě.

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

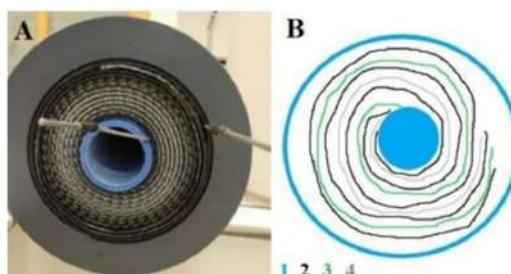
### Popis přístroje

Na obr. 1 je bodově popsána jednotka CDI. Surová voda určená k odsolení (1) je čerpána čerpadlem (4), jehož výkon je regulován frekvenčním měničem podle požadavku na průtok. Poloprovozní jednotka kontinuálně měří následující parametry: průtok, vodivost, pH a teplotu. Po nasátí čerpadlem (4) proudí kapalina přes průtokoměr (6), poté přes první vodivostní (7) a pH (8) sondu. Kapalina vtéká do elektrodového prostoru (9) a pokračuje na druhou pH (8) a vodivostní (7) sondu. Na konci je třícestný elektromagnetický ventil (10), který určuje směr proudu kapaliny na diluát (11) nebo koncentrát (12). Měření teploty probíhá teplotním čidlem (2) mimo uzavřený systém. Toto čidlo lze umístit do jedné z provozních kapalin. Celý systém je řízen centrálním rozvaděčem (13), jenž je napojen na dotykový displej (14) s možností připojení externího zařízení skrze ethernetový kabel.



Obr. 1. Schéma CDI a laboratorní jednotka CDI, 1 zdroj surové vody, 2 teplotní čidlo, 3 sání čerpadla, 4 čerpadlo, 5 výtlak čerpadla, 6 průtokoměr, 7 vodivostní čidlo, 8 pH sonda, 9 elektrodový prostor, 10 třícestný ventil, 11 potrubí diluát, 12 potrubí koncentrát

Elektroda je spirálovitě vinutá, viz obr. 2, aby se v malém prostoru docílilo co nejvíce aktivně využitelného měrného povrchu elektrody. Je umístěna v plášti se středovou trubicí (1). A je vyrobená ze směsi komerčního aktivního uhlí. Jako pojivo pro aktivní uhlí je použit polymer polyvinylidenfluorid (PVDF). Tloušťka porézní uhlíkové vrstvy (2) je cca 200 µm. Po dvojici elektrod je izolační fólie (3). Prostor mezi elektrodami je oddělen polypropylenovou (PP) mřížkou (tzv. spacer) (4), kde proudí surová voda.



Obr. 2. Vrchní pohled na elektrodu (A) a schematické znázornění vynutí elektrody (B), kde 1 je středová trubice, 2 porézní uhlíková vrstva, 3 izolační fólie a 4 spacer

## Odsolování modelové vody

Na jednotce kapacitní deionizace lze nastavit tři hodnoty napětí, dále pak průtok v rozmezí 0,2–1,2 l/min. Na průběh sorpce mají vliv ionty obsažené v roztoku, počáteční koncentrace iontů, typ a stáří elektrodového materiálu. Na optimalizaci byl použit roztok chloridu sodného  $c(\text{NaCl}) = 380 \text{ mg/l}$  a chloridu vápenatého  $c(\text{CaCl}_2) = 298 \text{ mg/l}$ . Jejich koncentrace byla připravena tak, aby se vodivost pohybovala okolo  $500 \mu\text{S/cm}$ . Pracovní roztok byl cirkulován po dobu 20 hodin. To odpovídá 6 cyklům, přičemž jeden cyklus se skládá ze 2 hodin adsorpce a jedné hodiny a dvaceti minut desorpce včetně postupných změn napětí.

Pro separaci vybraných iontů byly připraveny pracovní roztoky 1. Ca,  $c(\text{Ca}^{2+}) = 150 \text{ mg/l}$ ; 2. Mg,  $c(\text{Mg}^{2+}) = 50 \text{ mg/l}$ ; 3. Ca + Mg,  $c(\text{Ca}^{2+}) = 125 \text{ mg/l}, c(\text{Mg}^{2+}) = 25 \text{ mg/l}$ ; 4.  $\text{NH}_4\text{NO}_3, c(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 150 \text{ mg/l}$ , 5.  $\text{Cl}^-, c(\text{Cl}^-) = 250 \text{ mg/l}$ . Tyto pracovní roztoky byly použity na zkoušku účinnosti odstranění vápníku, hořčíku, celkové tvrdosti, dusičnanů a chloridů. Byly měřeny tři cykly. Při prvním cyklu docházelo k homogenizaci roztoku a do vyhodnocení byl použit druhý cyklus.

## Analytické metody

Výsledkem optimalizace faktorů je vyhodnocení ze všech šesti cyklů. Vyhodnocení bylo provedeno tak, že byla odečtena průměrná maximální hodnota vstupu pracovního roztoku a průměrná minimální hodnota výstupu pracovního roztoku. Z těchto dvou hodnot byl vypočten rozdíl vstupu a výstupu, který představoval adsorbované množství iontů. Při porovnávání majoritní adsorpce jednomocných nebo dvojmocných iontů byl stanoven  $\text{Na}^+$  pomocí plamenového fotometru PFP7 (JENWAY, Velká Británie) a  $\text{Ca}^{2+}$  pomocí titrace Chelatonu 3 (LACHEMA, Česká republika) s indikátorem Murexid (LACHEMA, Česká republika).

V experimentech se separací vybraných iontů byly použity metody: stanovení vápníku odměrnou metodou se směsí metalochromních indikátorů (ISO 5975: 1983), stanovení hořčíku diferenční metodou (ISO 5975: 1983), stanovení vápníku a hořčíku volumetricky s indikátorem v pevném stavu (ISO 5975: 1983), stanovení dusičnanů pomocí setu mobilní analytiky Spectroquant Nitrate Test (Merck spol. s.r.o., Česká republika) a stanovení chloridů odměrným argentometrickým stanovením podle Mohra (ISO 9297: 1989).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

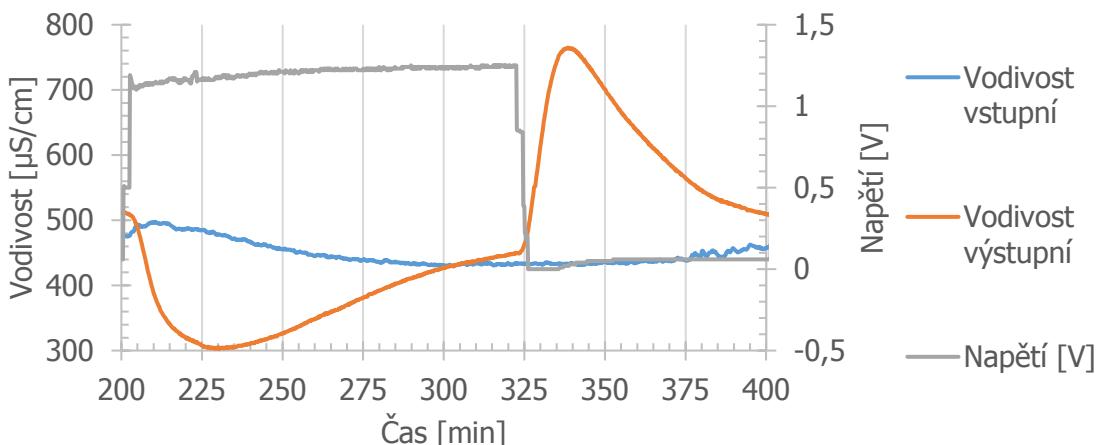
### Optimalizace

#### Napětí

Napětí bylo testováno při třech hodnotách, a to: 0,9 V; 1,0 V a 1,2 V. Nejúčinnější adsorpce byla jednoznačně při napětí 1,2 V, kdy došlo k poklesu vodivosti o  $144 \mu\text{S/cm}$ . Na obr. 3 je znázorněn druhý cyklus při nejúčinnější hodnotě použitého napětí. Stejných výsledků bylo dosaženo v práci autora Oladunni [6].

#### Vliv ostatních iontů

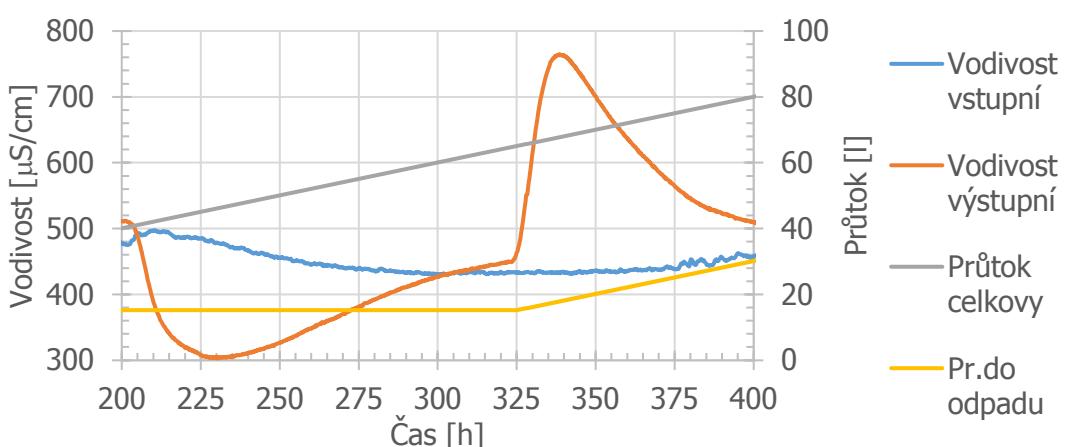
Byl testován vliv sodného a vápenatého kationtu. V obou případech se jednalo o chlorid. Byla testována sorpce jednotlivých iontů a směsi iontů v poměru 1 : 1. V roztoku s jednou látkou byla více adsorbována látka NaCl. Vodivost klesla o  $144 \mu\text{S/cm}$ . Iont  $\text{Na}^+$  má menší hydratovaný obal než  $\text{Ca}^{2+}$ , a tak byl adsorbován ve větší míře, zatímco elektrostatické síly ovlivnily adsorpci ve směsi iontů. Ve směsi došlo k adsorpci sodných iontů  $c(\text{Na}^+) = 14 \text{ mg/l}$ , zatímco vápenatých iontů bylo adsorbováno  $c(\text{Ca}^{2+}) = 44 \text{ mg/l}$ . Na obr. 3 je druhý cyklus látky s největším poklesem vodivosti. Ve směsi jsou dvojmocné ionty upřednostňovány před adsorpcí jednomocných iontů. Podobných výsledků bylo dosaženo v práci autora Oladunni [6].



**Obr. 3. Graf závislosti vodivosti a napětí na čase, při 1,2 V, 0,2 l/min v roztoku NaCl, 2. cyklus**

#### Průtok

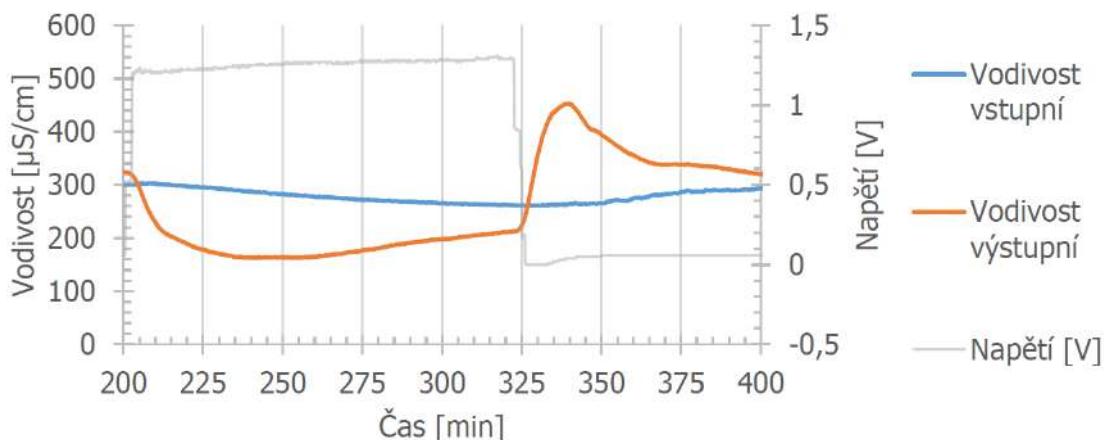
Průtok byl testován na minimální možné nastavitelné hodnotě a posléze i u dvou větších hodnot pro ověření účinnosti. Měření bylo prováděno při průtoku: 0,2 l/min; 0,3 l/min a 0,5 l/min. Dále byl měřen procentuální podíl koncentrátu při daném průtoku. Nejúčinnější adsorpce byla jednoznačně při nejnižším průtoku (0,2 l/min), kdy došlo k poklesu vodivosti o 144  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a současně byl nejmenší procentuální podíl koncentrátu 37,8 %. Na obr. 4 je znázorněn druhý cyklus při nejúčinnější hodnotě průtoku. Podobných výsledků bylo dosaženo v práci autora Mossad [7].



**Obr. 4. Graf závislosti vodivosti a průtoku na čase, při 0,2 l/min, 2. cyklus**

#### Vliv počáteční koncentrace

Byly zvoleny čtyři počáteční koncentrace. První testovaná koncentrace byla v předcházejících měřeních připravena tak, aby odpovídala přibližně 500  $\mu\text{S}/\text{cm} = 0,238 \text{ g/l NaCl}$ , což byla doporučená vodivost pracovního roztoku od firmy ASIO, spol. s r. o. Následující měřená počáteční koncentrace byla dvojnásobná (0,476 g/l NaCl), trojnásobná (0,714 g/l NaCl) a poloviční (0,119 g/l NaCl). Na obr. 5 je znázorněn druhý cyklus při optimální hodnotě počáteční koncentrace. K největšímu poklesu vodivosti došlo při počáteční koncentraci 0,119 g/l, ale pokles byl téměř totožný s koncentrací 0,238 g/l. Došlo k poklesu vodivosti o 145  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 144  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Při takto nízkých koncentracích již není velký rozdíl v adsorbovatelném množství. Podobných výsledků bylo dosaženo v práci autora Mossad [7].



Obr. 5. Graf závislosti vodivosti a napětí na čase, při 0,119 g/l NaCl, 2. cyklus

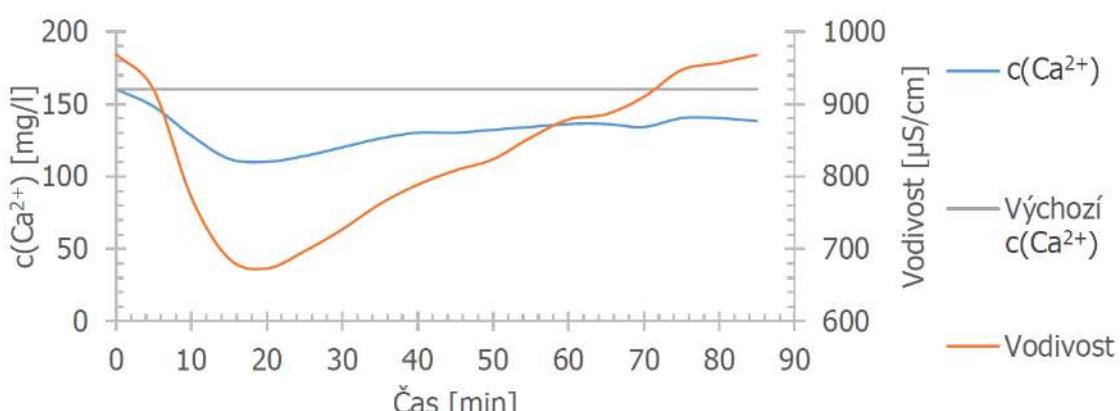
#### *Elektrodový materiál*

Při experimentech byly k dispozici celkem čtyři elektrody. Při separaci vybraných iontů byla použita elektroda č. 2. Sorpční kapacita byla změřena před samotnými experimenty a po experimentech. Došlo k poklesu absorpční kapacity o 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . To bylo způsobeno částečnou degradací elektrody v průběhu měření.

#### **Separace vybraných iontu v laboratorních podmínkách**

##### *Vápenatý kationt ( $\text{Ca}^{2+}$ )*

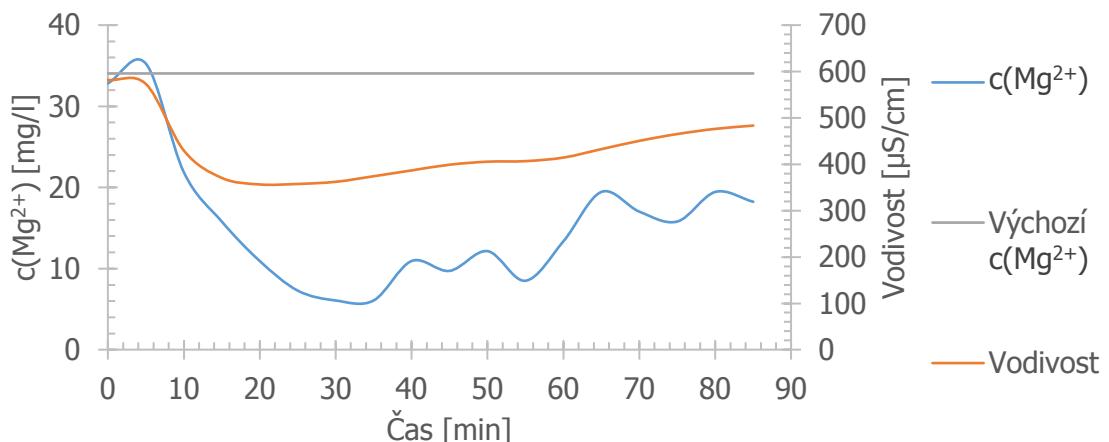
Výchozí koncentrace byla zvolena na základě informací ze zdroje [8, 9]. Na obr. 6 je znázorněn pokles koncentrace a vodivosti v čase druhého cyklu. Z grafu je patrné, že aktuální vodivost v daném čase koresponduje s aktuální koncentrací vápníku. Skutečná koncentrace připraveného pracovního roztoku byla 160,32 mg/l  $\text{Ca}^{2+}$ . Za druhý cyklus bylo vyprodukované 16 litrů diluátu s průměrnou koncentrací 131,82 mg/l, což odpovídá poklesu o 17,8 %.



Obr. 6. Graf závislosti koncentrace vápníku a vodivosti na čase, snižování koncentrace vápníku ve vodě, 2. cyklus

##### *Hořčnatý kationt ( $\text{Mg}^{2+}$ )*

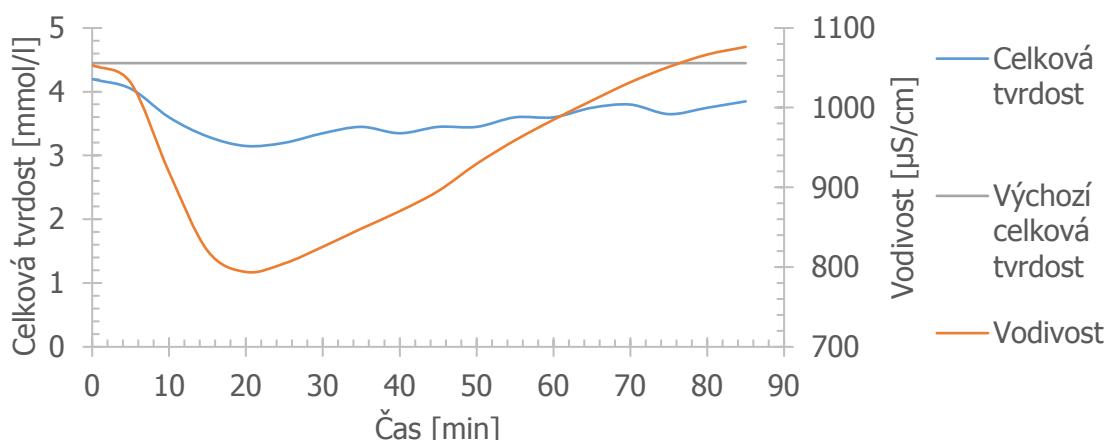
Výchozí koncentrace byla zvolena na základě informací ze zdroje [8, 9]. Na obr. 7 je znázorněno, že při experimentu s hořčíkem byla počáteční vodivost vyšší z důvodu nedostatečného proplachu před měřením. V důsledku toho se zpětně do roztoku uvolňoval vápník z předchozího měření. Skutečná koncentrace připraveného pracovního roztoku byla 34,03 mg/l  $\text{Mg}^{2+}$ . U hořčíku došlo ke snížení koncentrace o 54,2 %. Během cyklů bylo vyprodukované 16 litrů s průměrnou koncentrací hořčíku 15,59 mg/l.



**Obr. 7. Graf závislosti koncentrace hořčíku a vodivosti na čase, snižování koncentrace hořčíku ve vodě, 2. cyklus**

#### Celková tvrdost

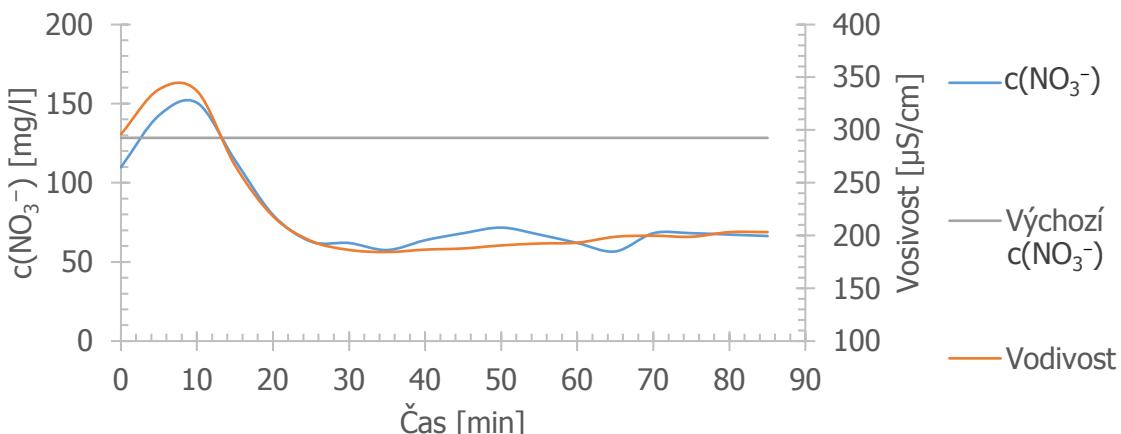
Na obr. 8 je znázorněno, že výchozí tvrdost byla 4,45 mmol/l a jednalo se o velmi tvrdou vodu. Průměrná tvrdost ve 2. cyklu byla 3,59 mmol/l a během sorpce bylo vyprodukované 16 litrů diluátu. Jednalo se stále o tvrdou vodu, avšak se tvrdost blížila k hodnotě legislativně doporučené pro pitnou vodu, tedy do rozmezí 2 až 3,5 mmol/l [10]. Celkem tedy došlo ke snížení tvrdosti o 19,3 %.



**Obr. 8. Graf závislosti celková tvrdost a vodivosti na čase, změkčování vody, 2. cyklus**

#### Dusičnany ( $\text{NO}_3^-$ )

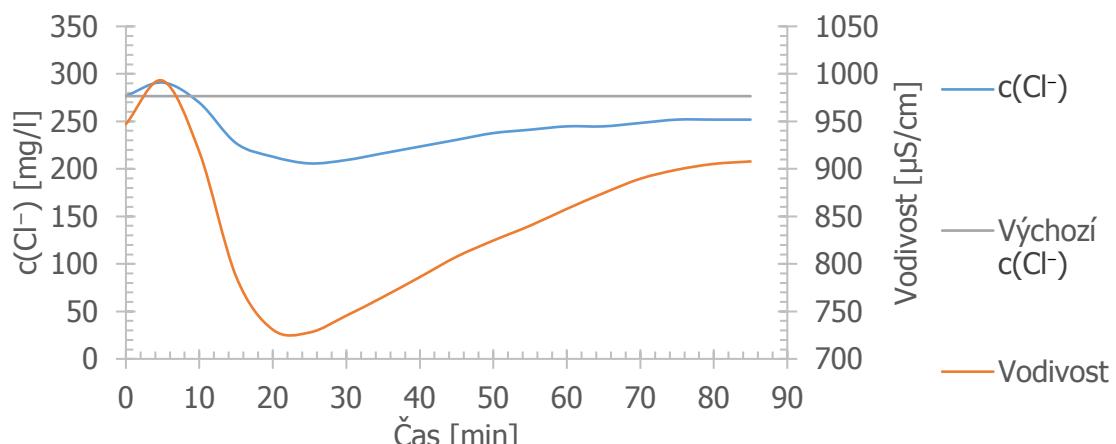
Na obr. 9 je znázorněn 2. cyklus sorpce, kde nejprve docházelo ke zvýšení a poté k poklesu koncentrace a vodivosti v čase. Zvýšení na začátku sorpce je způsobeno degradací elektrody. Pokud se zanedbá degradace a průměrná koncentrace se vypočítá až od 15. minuty sorpce, kdy došlo k faktickému snižování koncentrace dusičnanů, výsledkem je průměrná hodnota 69,06 mg/l. To odpovídá výrobě diluátu se sníženou koncentrací dusičnanů téměř o 46,2 %.



**Obr. 9. Graf závislosti koncentrace dusičnanů a vodivosti na čase, snižování koncentrace dusičnanů, 2. cyklus**

#### *Chloridy ( $\text{Cl}^-$ )*

Obr. 10 znázorňuje graf závislosti koncentrace chloridů a vodivosti na čase při 2. cyklu. Z počáteční koncentrace 276,53 mg/l chloridů bylo vyprodukované v 2. cyklu 16 l diluátu s koncentrací 240,04 mg/l. Pokud se zanedbá počáteční nárůst koncentrace, a průměrná koncentrace se vypočítá až od 15. minuty sorpce, výsledkem je hodnota 231,71 mg/l. Jedná se však o pokles pouze o 16,2 %. Tento malý pokles koncentrace je pravděpodobně způsoben vysokou počáteční koncentrací chloridů a také z důvodu degradace elektrody.



**Obr. 10. Graf závislosti koncentrace chloridů a vodivosti na čase, snižování koncentrace chloridů 2. cyklus**

## ZÁVĚRY

V této práci byla použita jednotka kapacitní deionizace, kterou vyvinula firma ASIO, spol. s r.o. a cílem bylo optimalizovat vybrané faktory (napětí, průtok, vliv iontů obsažených v roztoku, vliv počáteční koncentrace iontů v roztoku a stáří elektrodového materiálu) a odzkoušet její účinnost na vybraných ukazatelích (vápenaté ionty, hořečnaté ionty, celková tvrdost, dusičnany, chloridy).

Bylo zjištěno, že optimálním nastavením je napětí 1,2 V, průtok 0,2 l/min. Z hlediska mocnosti iontů probíhala nejúčinnější adsorpce v roztoku s jednomocným iontem. Při experimentech, kdy byly ionty testovány ve směsi, převládaly elektrostatické síly. Z naměřených dat vyplývá, že dvojmocné ionty jsou upřednostňovány před adsorpcí

jednomocných iontů. Při separaci vybraných iontů byla použita elektroda č. 2. Sorpční kapacita byla změřena před samotnými experimenty a po experimentech. Došlo k poklesu absorpční kapacity o  $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ . To bylo způsobeno částečnou degradací elektrody v průběhu měření. Práce byla zaměřena na selektivní účinnost odstranění iontů při procesu změkčování vody. Při experimentech u vybraných iontů došlo ke snížení koncentrace vápníku o 17,8 %, hořčíku o 54,2 % a u celkové tvrdosti vody došlo ke změkčení o 19,3 %. U aniontů došlo k poklesu obsahu dusičnanů o 46,2 % a u chloridů pouze o 16,2 %. Z výsledků je patrné, že metodu kapacitní deionizace lze použít pro separaci všech sledovaných iontů.

Z naměřených dat vyplývá, že kapacitní deionizace má velký potenciál využití na místech s nedostatkem energie, protože v porovnání s ostatními separačními metodami, má CDI několik výhod: malá energetická náročnost, bez nutnosti dávkování chemikálií, produkce malého množství koncentrátu a je nenáročné na provozní podmínky. Některé ze studií poukazují na případnou možnost kombinace s reverzní osmózou. Lze očekávat, že výzkum se bude mimo jiné v budoucnu také věnovat vývoji nových materiálů elektrod a inovovaným konfiguracím modelů.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval firmě ASIO, spol. s r.o. za zapůjčení poloprovozní jednotky kapacitní deionizace pro experimentální část této práce.

## SEZNAM LITERATURY

- CHOI, Jongmoon, Pema DORJI, Ho Kyong SHON a Seungkwan HONG. *Applications of capacitive deionization: Desalination, softening, selective removal, and energy efficiency* [online]. B.m.: Elsevier B.V. 1. leden 2019. ISSN 0011-9164. Dostupné z: doi:10.1016/j.desal.2018.10.013
- ZHANG, Changyong, Di HE, Jinxing MA, Wangwang TANG a T. David WAITE. Faradaic reactions in capacitive deionization (CDI) - problems and possibilities: A review [online]. B.m.: Elsevier Ltd. 1. leden 2018. ISSN 1879-2448. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2017.10.024
- BIESHEUVEL, P M a J E DYKSTRA. Introduction to Physics of Electrochemical Processes V e-water ion j ion i [online]. 2020 [vid. 2021-03-19]. ISBN 9789090341064. Dostupné z: <http://www.physicsofelectrochemicalprocesses.com>
- BIESHEUVEL, P M, S PORADA a J E DYKSTRA. The difference between Faradaic and non-Faradaic electrode processes. 2021.
- PORADA, S., R. ZHAO, A. VAN DER WAL, V. PRESSER a P. M. BIESHEUVEL. Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization [online]. B.m.: Elsevier Ltd. 1. říjen 2013. ISSN 0079-6425. Dostupné z: doi:10.1016/j.pmatsci.2013.03.005
- OLADUNNI, Jimoh, Jerina H. ZAIN, Abdul HAI, Fawzi BANAT, G. BHARATH a Emad ALHSEINAT. A comprehensive review on recently developed carbon based nanocomposites for capacitive deionization: From theory to practice [online]. B.m.: Elsevier B.V. 22. prosinec 2018. ISSN 1873-3794. Dostupné z: doi:10.1016/j.seppur.2018.06.046
- MOSSAD, Mohamed a Linda ZOU. A study of the capacitive deionisation performance under various operational conditions. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2012, 213–214, 491–497. ISSN 0304-3894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2012.02.036
- PITTER, Pavel. HYDROCHEMIE. 5. aktuali. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
- HORÁKOVÁ, Marta. Analytika vody. 2003. ISBN 80-7080-520-X.
- Vyhľáška zákon ČR: Vyhľáška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontrol pitné vody, č.252/2004 Sb. v platném znění č.70/2018 Sb. Česká republika Sbírka zákonů, Praha, CZ

# **VÝVOJ A HODNOCENÍ KOMBINOVANÉHO FILTRAČNÍHO ELEMENTU TVOŘENÉHO NANOVLÁKENNOU KOMPOZITNÍ PŘÍZÍ A UHLÍKOVÝM JÁDREM**

**Ing. Michal KOMÁREK, Ph.D.**

Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace,  
Technická Univerzita v Liberci, Bendlova 7, 460 01 Liberec  
E-mail: [michal.komarek@tul.cz](mailto:michal.komarek@tul.cz)

## **ABSTRAKT**

Příspěvek přestavuje problematiku vývoje kombinovaných filtračních elementů sestávajících z jádra tvořeného aktivním uhlím a návinu nanovlákkenné kompozitní příze. Zároveň budou shrnuty provedené laboratorní a poloprovozní testy hodnotící účinnost záchytu kontaminantů a změnu funkčních parametrů filtru v průběhu životnosti. Provedené testy zahrnují hodnocení účinnosti záchytu specifických mikropolutantů (mikroplasty, residua pesticidů, kovů a léčiv) a testy redukce bakteriální kontaminace. Vzorky vstupní kontaminované vody a permeátu byly analyzovány nefelometricky, metodami ICP OES, HPLC/MS.

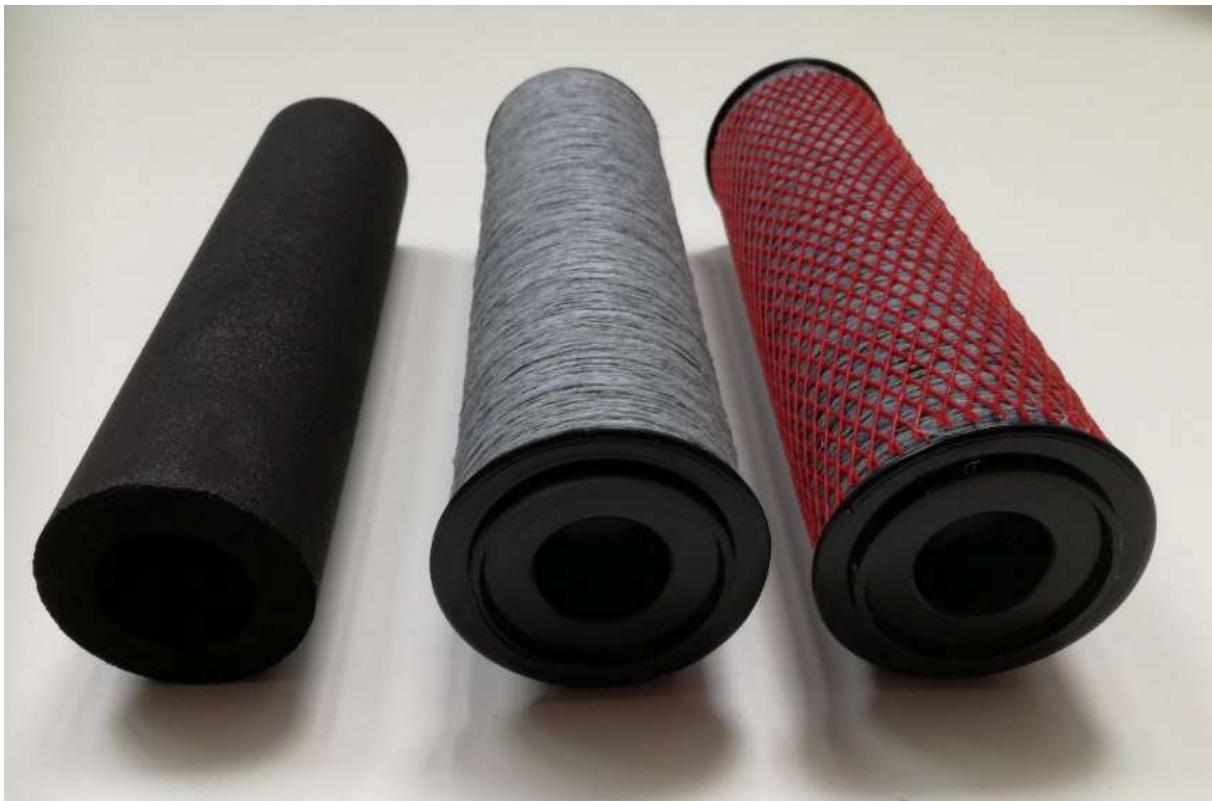
## **ÚVOD**

Komerčně dostupné filtrační elementy pro filtraci pitné vody jsou obvykle tvořeny návinem polypropylenové příze, návinem polypropylenové plošné vrstvy, uhlíkovými či keramickými porézními bloky. V případě požadavků na výraznější redukci bakteriální kontaminace pitné vody jsou obvykle využívány svazky kapilárních filtračních membrán, které svou velikostí pórů brání průchodu mikroorganismů. Tato řešení jsou aplikována v případě lokálního zdroje v závislosti na mře a typu kontaminace pitné vod.

Mezi podstatné nevýhody stávajících řešení patří zejména nízká separační účinnost standartních návinů polypropylenové příze a polypropylenové netkané textilie, zejména pak v případě znečištění nerozpuštěnými látkami tvořenými velmi jemnými částicemi. V případě kapilárních membrán, keramických a uhlíkových bloků je pak nevhodou velmi vysoká tlaková ztráta filtračního elementu (nízká průtočnost) a náchylnost zanášení a tím i k destrukci (snížení životnosti) filtračního elementu. Předložené technické řešení kombinovaného filtračního elementu eliminuje tyto nevýhody synergickou aplikací funkčních komponent a umožňuje odstranění tzv. nerozpuštěných látek o submikronových frakcích zároveň s odstraněním iontů rozpuštěných látek.

## **POPIS KONSTRUKCE FILTRAČNÍHO ELEMENTU**

Vyvíjený filtrační element je koncipován ve standardním provedení 10" filtračních patron. Vnitřní jádro z aktivního uhlí je vyráběno v typizovaných rozměrech 235 x 64 mm a bylo vyrobeno a dodáno firmou Filbec®. Tím je po návinu nanovlákkenné kompozitní příze a kompletaci filtrační patrony zajištěna kompatibilita ve standardizovaných modulech velikosti 10" dostupných u nás i v zahraničí.

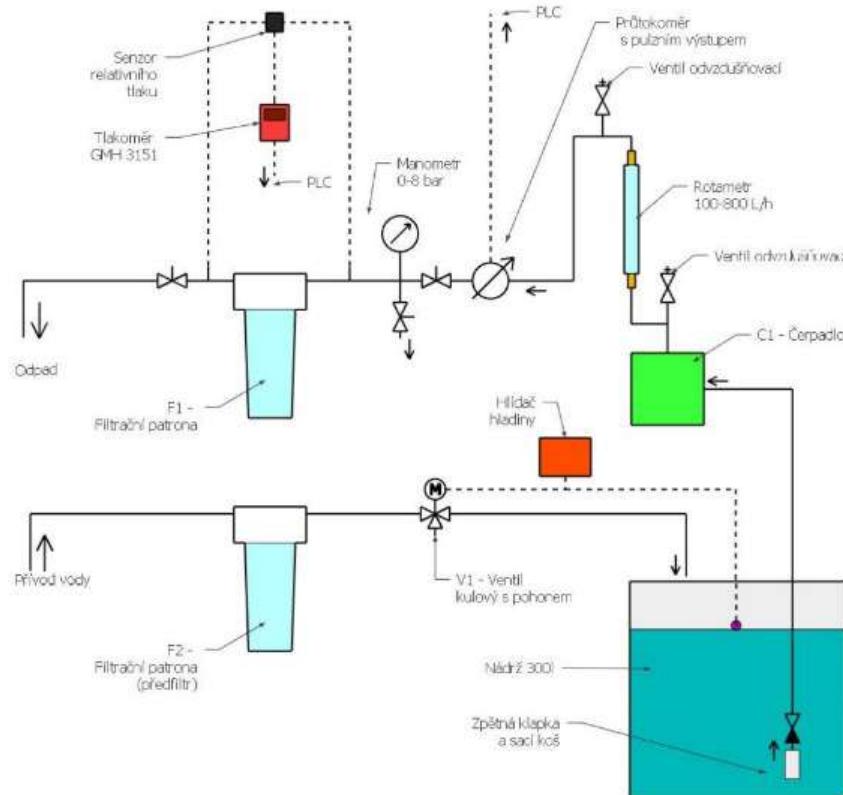


**Obr. 1. Jednotlivé fáze výroby kombinovaného filtračního elementu**

## **HODNOCENÍ FUNKČNÍCH PARAMETRŮ VYVÍJENÉHO FILTRAČNÍHO ELEMENTU**

### **Konstrukce měřící aparatury**

Vzhledem ke značnému objemu a časové náročnosti plánovaných testů vyvinutých filtračních elementů byla testovací aparatura navržena tak, aby umožnovala automatické ukládání hodnot aktuálního průtoku a tlakové ztráty. Tato funkce je zajištěna využitím PLC v kombinaci s ovládacím software, jenž byl vytvořen a optimalizován specificky pro tuto konkrétní aplikaci. Bylo použito čerpadlo s možností programování chodu (regulace konstantního výstupního tlaku, vypnutí po dosažení definovaného proteklého objemu a rozpoznáním krizových situací (chod naprázdno)). Schéma zapojení testovací aparatury je uvedeno na obrázku níže.



Obr. 2. Zapojení testovací aparatury

### Stanovení záchytu specifických polutantů

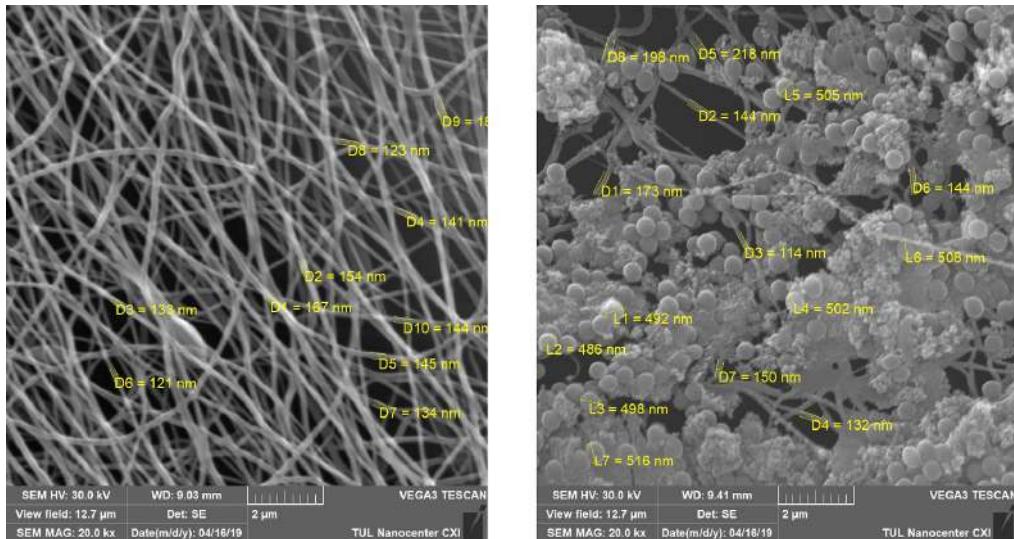
Pro testování účinnosti záchytu byly zvoleny kategorie polutantů: mikroplasty, pesticidy, léčiva a kovy. Z kategorie pesticidů byla pro testování zvolena látka Atrazin, z kategorie léčiv látka Ibuprofen a z kategorie kovů měď. Vlastní testování probíhalo vnesením vypočteného množství zásobního roztoku (o přesně definované koncentraci analyzované látky) do IBC tanku

o velikosti 300 l do naplněného pitnou vodou (z laboratorního vodovodního řádu). Pro značný plánovaný objem protečené kapaliny byla hned v úvodním konceptu testu zavržena varianta využití vody demineralizované. Pitná voda byla na vstupu do zásobního tanku filtrována tak, aby byla zbavena mechanických nečistot snižujících životnost vlastního testovaného filtru (viz schéma testovací trati na obrázku výše). V případě laboratoře TUL se jedná zejména o přítomnost oxidů železa. Voda v tanku byla po celou dobu experimentu konstantně míchána vloženým čerpadlem tak, aby byla zajištěna homogenizace polutantu v testovaném objemu. Následně byla voda regulovaným čerpadlem tlačena přes testovaný filtr tak, aby bylo dosaženo zvoleného průtoku 200 l/h. Maximální nastavovaný tlak čerpadla byl zvolen na 4 bar. Hodnoty aktuálního průtoku, celkového protečeného množství, aktuální tlakové ztráty byly snímány příslušnými čidly a ukládány pomocí PLC s využitím vlastního navrženého software pro ukládání a analýzu dat. V definovaných intervalech byly odebrány vzorky testované vody před a za filtrem, které byly následně analyzovány metodikami popsanými níže.

#### Mikroplasty

Laboratorní testovací postup stanovení záchytu mechanických nečistot je koncipován tak, aby bylo umožněno porovnání různých typů vyvinutých a komerčně dostupných filtračních elementů za shodných podmínek testování. Testovací voda je kontaminována přidanými polystyrenovými částicemi kulového tvaru o definovaném rozměru 500 nm. Částice jsou povrchově upraveny tak aby nedocházelo k agregaci a měly hustotu shodnou s hustotou

vody (nedochází k sedimentaci). Obsah částic v testovací vodě je přesně stanoven ředěním ze zásobní disperze o známé koncentraci a ověřen dle kalibrační křivky. Vlastní stanovení bylo provedeno nefelometricky. Měřená účinnost záchytu polystyrenových částic 500 nm se v případě nanovlákenných vinutých filtrů pohybuje v rozmezí 95-99 %. Zanesení filtračního materiálu je patrné na obrázku níže. Snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu vlevo zobrazuje detail nanovlákenné vrstvy před filtrací vpravo po filtraci. Na pravém snímku jsou dobře identifikovatelné kulovité testovací polystyrenové částice o průměru 500 nm. Ostatní kontaminace pozorovatelná na obrázku je pak způsobena převážně oxidy železa.



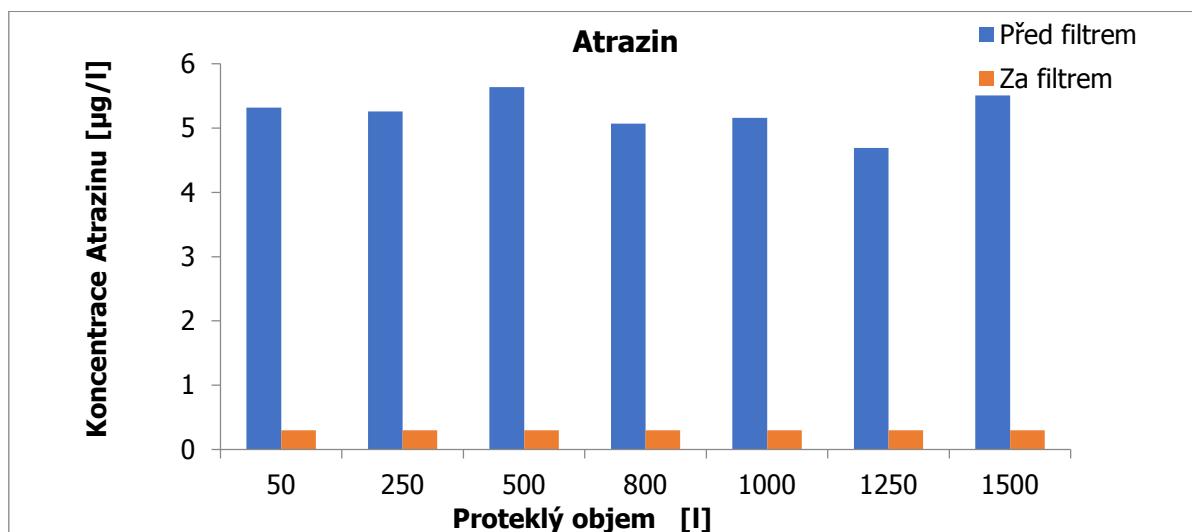
Obr. 3. SEM nanovlákenné vrstvy před a testovacím procesem

#### Atrazin

Ke stanovení koncentrace atrazinu odebraných testovacích vzorcích pomocí metody HPLC/MS byl použit hmotnostní spektrometr AB Sciex 3200 QTRAP vybavený kapalinovým chromatografem Dionex Ultimate 3000. Separace probíhala na koloně Kinetex EVO C18 o průměru 2,1 mm a délce 100 mm s částicemi o velikosti 2,6 µm. Byl použit průtok mobilní fáze 0,4 ml/min a teplota kolonového kompartmentu byla nastavena na 40°C. Složka mobilní fáze A byla tvořená 0,1 % kyselinou mravenčí ve vodě a složka B byla tvořena čistým methanolem HPLC kvality. Počáteční složení mobilní fáze obsahovalo 30 % složky B a byl použit gradient na 70 % složky B. Chromatogramy byly zaznamenávány po dobu 10 min a bylo nastříkováno 10 µl vzorku. Výsledky provedených testů jsou shrnutы v tabulce (tab.1) a grafu (obr.4) níže:

Tab. 1. Shrnutí výsledků provedených testů s atrazine

Protekly objem [l]	Koncentrace Atrazin [ug/l]	
	Před filtrem	Za filtrem
50	5,32	Pod detekčním limitem (<0,3)
250	5,26	<0,3
500	5,64	<0,3
800	5,07	<0,3
1000	5,16	<0,3
1250	4,69	<0,3
1500	5,51	<0,3



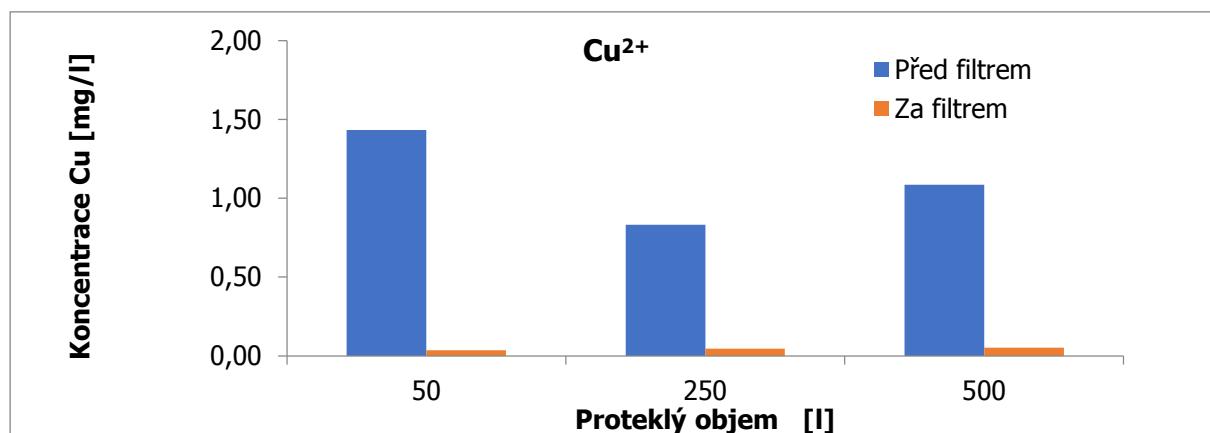
Obr. 4. Účinnost separace atrazinu

$Cu^{2+}$

Vzorky byly naředěny a měřeny metodou ICP OES, na přístroji OPTIMA 2100. DV fy Perkin Elmer. ICP OES = Optický emisní spektrometr s iontově vázanou plazmou, Výsledky provedených testů záchrany  $Cu^{2+}$  jsou uvedeny v tabulce (tab. 2) a grafu (obr. 5) níže.

Tab. 2. Výsledky provedených testů pro záchyt  $Cu^{2+}$

Proteklý objem [l]	Koncentrace Cu [mg/l]	
	Před filtrem	Za filtrem
50	1,43	0,04
250	0,83	0,05
500	1,09	0,05



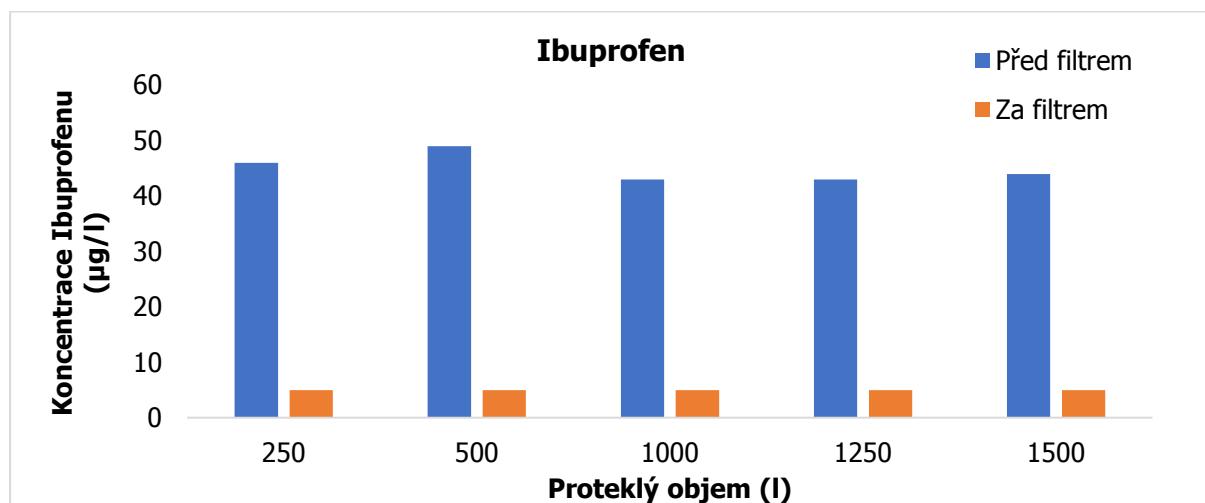
Obr. 5. Účinnost separace  $Cu^{2+}$

### Ibuprofen

Ke stanovení Ibuprofenu pomocí metody HPLC/MS byl použit hmotnostní spektrometr AB Sciex 3200 QTRAP vybavený kapalinovým chromatografem Dionex Ultimate 3000. Byl sledován přechod z m/z 207 na 161 m/z ibuprofenu. Separace probíhala na koloně Kinetex EVO C18 o průměru 2,1mm a délce 100 mm s částicemi o velikosti 2,6 µm. Byl použit průtok mobilní fáze 0,4 ml/min a teplota kolonového kompartmentu byla nastavena na 40°C. Složka mobilní fáze A byla tvořená 0,1 % kyselinou mravenčí ve vodě a složka B byla tvořena čistým methanolem HPLC kvality. Počáteční složení mobilní fáze obsahovalo 30% složky B a byl použit gradient na 70% složky B. Chromatogramy byly zaznamenávány po dobu 10 min a bylo nastřikováno 10 µl vzorku.

**Tab. 3. Výsledky provedených testů pro záchyt Ibuprofenu**

Proteklý objem [l]	Koncentrace Ibuprofenu [µg/l]	
	Před filtrem	Za filtrem
250	46	Pod detekčním limitem ( $\leq 5$ )
500	49	Pod detekčním limitem ( $\leq 5$ )
1000	43	Pod detekčním limitem ( $\leq 5$ )
1250	43	Pod detekčním limitem ( $\leq 5$ )
1500	44	Pod detekčním limitem ( $\leq 5$ )



**Obr. 6. Účinnost separace Ibuprofenu**

### Testování odstranění bakteriální kontaminace Escherichia coli (laboratorní test)

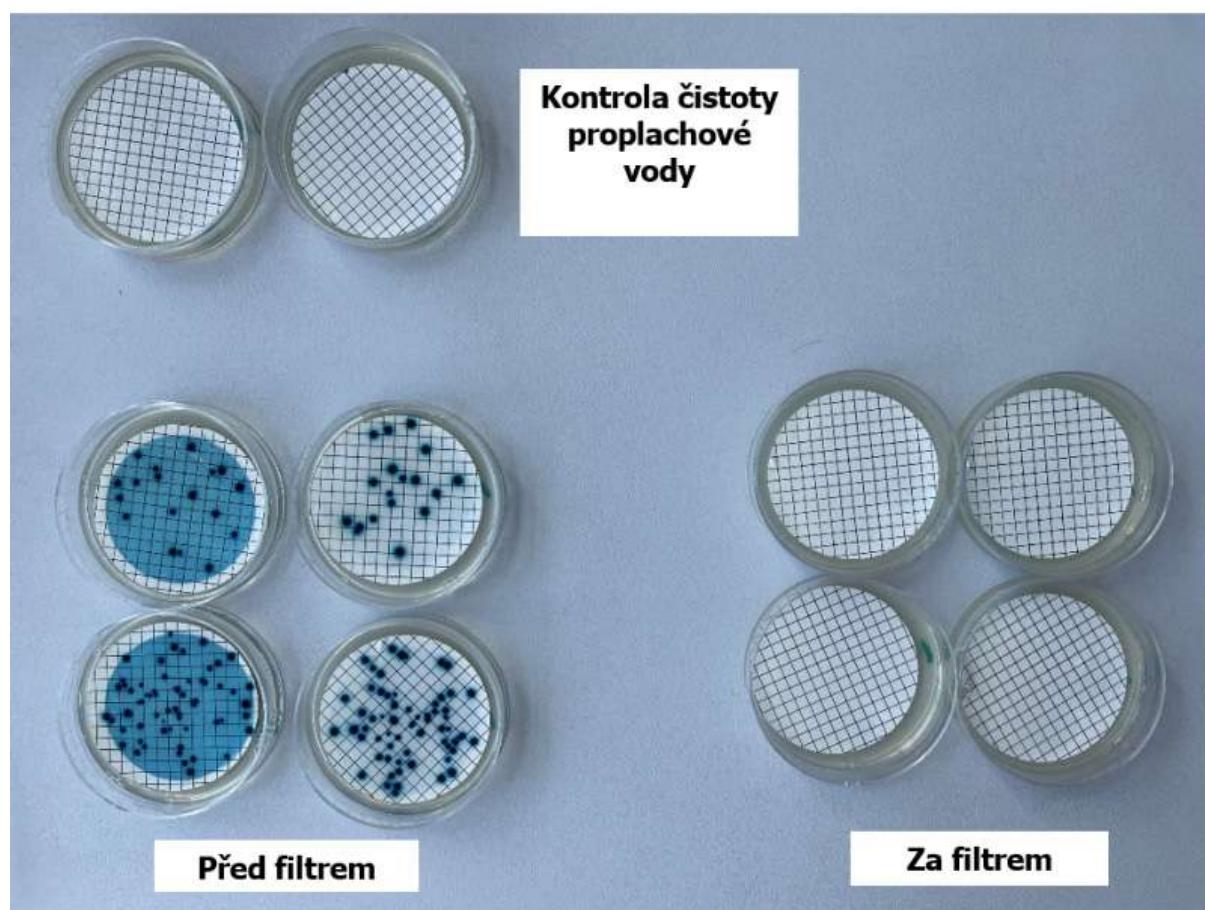
Laboratorní stanovení probíhalo na testovací aparatuře popsané výše (viz obr. 2). Pro zamezení vzájemné kontaminace byla vypracována metodika desinfekce a výplachu testovaného filtru a filtrační aparatury, před i po provedeném testu (případně při výměně testovaných filtrů).

### *Testovací postup*

Pro jednotlivý test bylo připraveno 10 l roztoku (kohoutková voda) s bakteriemi EC (CCM7395, Masarykova univerzita) o koncentraci  $10^5$ /ml. Ze zásobního roztoku (1 MC ve fyziologickém roztoku). Byl odebrán vzorek 0 pro stanovení koncentrace EC. Celá aparatura (včetně filtru) byla propláchnuta desinfekcí a následně 50 l kohoutkové vody. Pro kontrolu čistoty byl odebrán vzorek proplachové vody přímo z aparatury. Poté bylo filtrováno 10 l bakteriálního média s EC. Ke konci filtrace byl odebrán vzorek pro stanovení EC. Mikrobiologické stanovení proběhlo dle normovaného postupu (viz níže).

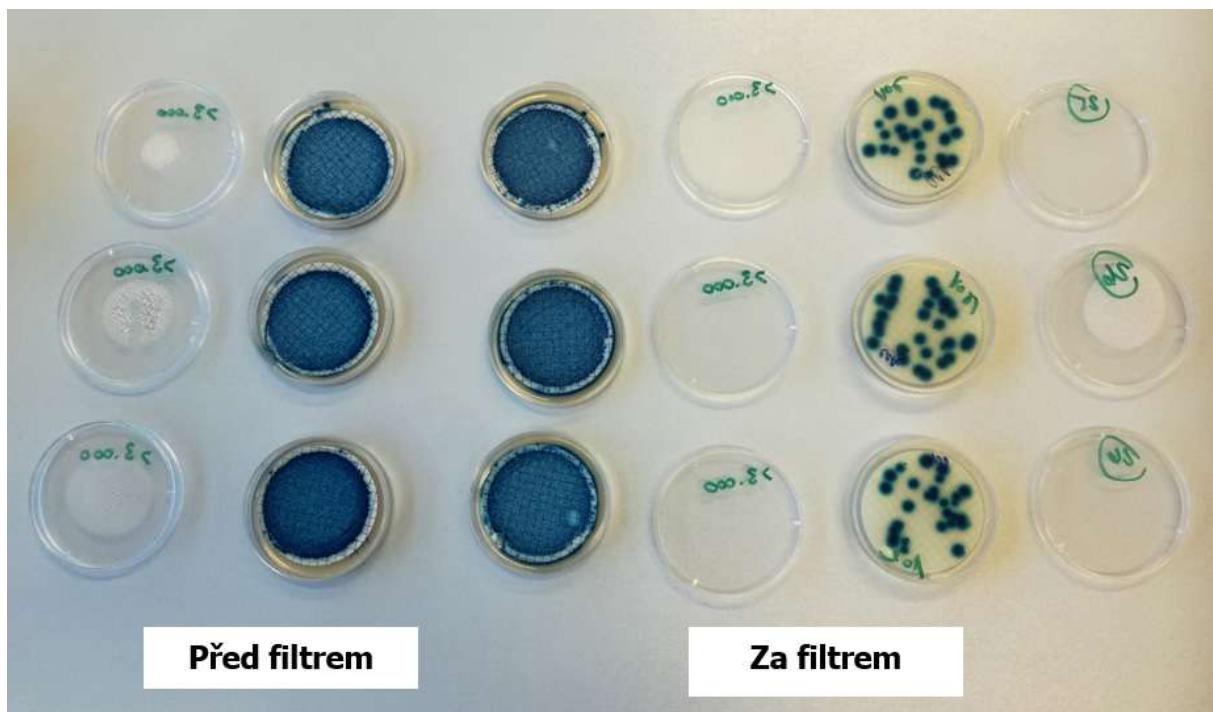
### *Metodika stanovení*

Odebraný vzorek vody (10, resp. 100 ml) s bakterií Escherichia coli (CCM7395, Masarykova univerzita) byl zfiltrován 45 $\mu$ m membránovým filtrem (Sartorius Stedim Biotech), který slouží pro zachycení sledovaných bakterií. Filtr po filtraci byl vložen na plotnu s chromogenním médiem (HiChromeTM Chromogenic Coliform Agar, od HIMEDIA). Membránový filtr byl kultivován při teplotě ( $36 \pm 2$  °C) po dobu 48 hodin v termostatu. Po kultivaci byl vypočten počet KTJ (kolonie tvořící jednotky).  $\beta$ -D-galaktozidáza a  $\beta$ -D-glukuronidáza pozitivní kolonie (tmavě modré až fialové) se počítají jako E. coli. Zabarvení vzniká probíhající biochemicalickou reakcí. Výsledky testu vykázaly dosažení 100 % účinnosti záchytu bakterií E. coli (veškeré bakterie EC byly zachyceny na filtru) v případě stanovení počáteční účinnosti, dále pak účinnosti po 30 a 50 l.



Obr. 7. Výstupy kultivace E. Coli po 10 l

Po protečení objemu 60 l byla účinnost redukována na 99 %, tj. za filtrem bylo kultivováno cca 1 % bakteriálních kolonií v porovnání se stejným okamžikem před filtrem. Jak je patrné z rozboru (viz obr. 8) za filtrem bylo kultivováno 26-28 KTJ a před filtrem více než 3000 KTJ, ve všech vzorcích testovacího triplikátu (Všechna laboratorní kultivační stanovení byla provedena multiplikovaně, aby byla redukována stanovení). Jak bylo popsáno v metodice provedení testu je v testovací vodě koncentrace baktérií o 3-4 řády vyšší ( $10^5 \text{ ml}^{-1}$ ), než je reálná koncentrace vyskytující se v podmínkách lokálních zdrojů ( $10^1$ - $10^2 \text{ ml}^{-1}$ ). Tato koncentrace je volena s ohledem na opakovatelnost a verifikovatelnost laboratorního stanovení.



**Obr. 8. Výstupy kultivace E. Coli po 60 l**

#### Filtrace reálné vody

Testování aplikace odstranění kontaminace z reálné vody bylo uskutečněno odběrem vody z přehradní nádrže. Tato voda byla filtrována za podmínek shodných s bakteriálním testem popsaným výše v textu a byly provedeny stanovení relevantních ukazatelů znečištění vody před a po filtraci. Pro stanovení byly použity metody CHSK<sub>Cr</sub>, TOC a stanovení transmitance. Hodnoty CHSK byly stanoveny pomocí kyvetových testů na spektrofotometru HACH DR 6000 UV – VIS. Stanovení TOC bylo provedeno instrumentální analýzou na přístroji – multi N/C 3100 (Analytik Jena). Transmitance byla měřena na přístroji HACH DR 6000 UV – VIS od společnosti Hach-Lange.

Jak je patrné z výsledků uvedených v tabulce (tab. 4), filtrací přes kombinovaný filtrační element dochází u filtrované vody z přehradky ke značné redukci kontaminace – ve většině stanovení je v podstatě dosaženo limitu stanovitelnosti. Tyto výsledky samozřejmě nesuplikují výsledky získané kultivačními bakteriálními testy, ani nemají oporu ve vztahu k normovaným stanovením aplikovaným u pitných vod, umožňují však velmi rychlé a přesné hodnocení účinnost filtru. Tyto testy lze úspěšně aplikovat pro vzájemné srovnávání využíjených a komerčně dostupných filtrů ve statisticky významné škále.

**Tab. 4. Účinnost filtrace reálné vody**

Vzorek	CHSK <sub>Cr</sub> [mg/l]	TOC [mg/l]	Transmitance [%]
0 (před filtrací)	13,8	5,37	99,1
1 (po 25 L)	<2	1,82	100
2 (po 50 L)	<2	1,25	100

## ZÁVĚR

Ve všech provedených testech prokázaly testované filtrační patrony vysokou míru záchrnu mikropolutantů i nerozpuštěných látek. Struktura filtračního elementu tvořeného uhlíkovým jádrem a návinem nanovlákkenné kompozitní příze vykazuje synergickou kombinaci funkčních vlastností.

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum kombinovaných filtračních elementů byl podpořen projektem TH04030511 ve výzvě TAČR Epsilon4.

# VYUŽITIE TLAKOVÝCH MEMBRÁNOVÝCH PROCESOV PRE RECYKLÁCIU MESTSKÝCH ODPADOVÝCH VÔD

Ing. Marek MINICH<sup>1)</sup>, Mgr. Martina REPKOVÁ Ph.D.<sup>1)</sup>, Ing. Lucie BÁBORSKÁ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Vysoké učení technické v Brně, Ústav chemie a technologie ochrany životného prostredí,  
Purkyňova 464/118, 612 00 Brno,

<sup>2)</sup> ASIO TECH, spol. s r.o., Kšírova 552/45, 619 00 Brno  
e-mail: [Marek.Minich1@vut.cz](mailto:Marek.Minich1@vut.cz)

## ÚVOD

Nedávne obdobia súch v Českej republike, predovšetkým v rokoch 2014 až 2018, vypukli znepokojenie nad možnými vážnymi dôsledkami klimatickej zmeny na dostupnosť pitnej vody v tomto regióne [1]. Aplikáciou princípov obeholového hospodárstva pre vodné hospodárstvo je možné významne napomôcť k celkovej udržateľnosti vodného hospodárstva krajinu ako i zlepšiť jeho pripravenosť čeliť dôsledkom globálnej zmeny klímy [2]. Opäťovné využitie vody z mestských odpadových vôd na vodu pitnú môže byť spoločné a udržateľné riešenie pre veľké aglomerácie v regiónoch čeliacich negatívnym efektom dlhodobého sucha [3]. V roku 2020 bolo viac ako 865 miliónov kubických metrov odpadových vôd čistených a následne vypúšťaných do recipientov v Českej republike [4]. Takáto voda môže byť po vhodnej úprave vrátená do mestského vodného cyklu a tým zadržaná v krajine dlhšie, aby plnila svoje funkcie.

Sľubnou technológiou pre takúto úpravu sa v súčasnosti javia predovšetkým membránové procesy, ktoré dosahujú vysokú efektivitu pri čoraz nižších nákladoch. Recykláciou odpadovej vody na vodu pitnú za splnenia prísnych legislatívnych požiadaviek možno názorne demonštrovať široký potenciál aplikovateľnosti membránových procesov v oblasti recyklácie vôd [5].

## MATERIÁL A METODIKA

### UF-RO membránová jednotka

Pre potreby tejto štúdie bola využitá pilotná poloprevádzková membránová jednotka firmy ASIO TECH, spol. s.r.o. Vstupnou vodou je odtok z mestskej čistiarne odpadových vôd (ČOV) s počtom pripojených ekvivalentných obyvateľov 530 000, ktorá je vybavená okrem sekundárneho čistenia pomocou aktivovaného kalu aj terciárnym stupňom, a to odstraňovaním fosforu koagulantami na báze železitých a/alebo hlinitých iónov. Vstupná voda teče do vstupnej nádrže umiestnenej v Kontajnery 3 (viď Obrázok 1). Odtial' je čerpaná cez kapilárnu ultrafiltráčnu (UF) membránu (MULTIBORE® 1.5, INGE GmbH, NL) v zapojení dead-end, ktorej nastavenie je zhrnuté v tabuľke (tab. 1). Pred UF je in-line dávkovaný železitý koagulant Prefloc o dávke 50 mL/m<sup>3</sup>. Permeát je zbieraný do nádrže UF permeátu, pred ktorou je umiestnený vzorkovací bod po prvom technologickom stupni (K3V2).

Odtial' je permeát prečerpávaný do Kontajneru 2 (viď obr. 1) do nádrže UF permeátu. Z druhej nádrže je UF permeát hnaný cez filter s granulovaným aktívnym uhlím (GAU) a prietokovú UV lampa do série 4 reverzne-osmotických (RO) modulov (CSM® 4040-BLF, LENNTECH, NL), každý s jednou nízkotlakou polyamidovou RO membránou. Nastavenie RO je zhrnuté v tabuľke (tab. 2).

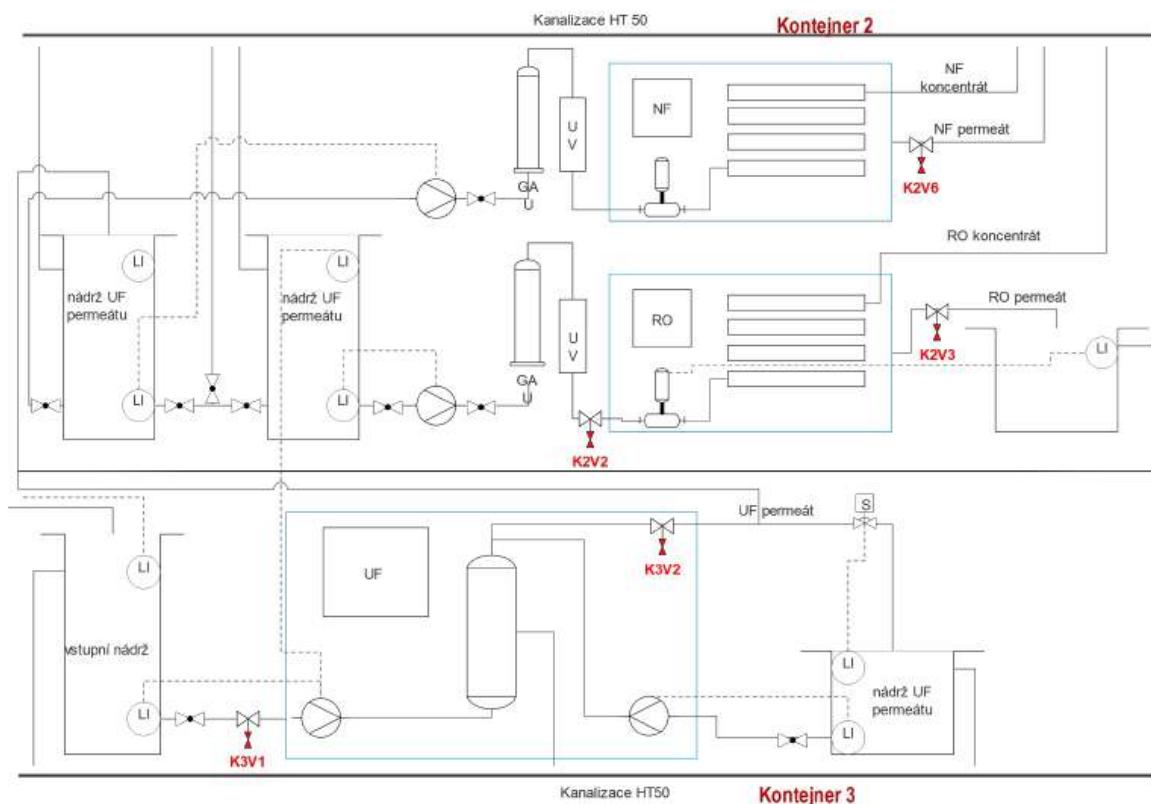
Pred vstupom na RO stupeň je dávkovaný antiskalant (VITEC 3000, Avista, USA) o dávke  $5 \text{ g/m}^3$ , ktorý je v súlade s ČSN EN 15040 [6]. RO permeát putuje do nádrže permeátu, pred ktorou je umiestnený vzorkovací bod po druhom technologickom stupni (K2V3). RO koncentrát je čerpaný do kanalizácie.

**Tab. 1. Nastavenie ultrafiltrácie**

<b>Membránový modul</b>	<b>INGE XL-1.5 MB-40</b>
<b>Typ filtrácie</b>	Dead-end
<b>Transmembránový tlak</b>	0,7/0,5 bar
<b>Prietok na vstupe</b>	2,2 $\text{m}^3/\text{h}$
<b>Spätný preplach</b>	Filtrácia 35 min FF (forward flushing) 40s BW (back washing) 50s
<b>CEB perióda</b>	30-40 cyklov

**Tab. 2. Nastavenie reverznej osmózy**

<b>Membrána</b>	<b>CSM® 4040-BLF, LENNTECH</b>
<b>Počet membrán v sérií</b>	4
<b>Transmembránový tlak</b>	5,5/4,5 bar
<b>Prietok na vstupe</b>	1 $\text{m}^3/\text{h}$
<b>Prietok permeátu</b>	0,5 $\text{m}^3/\text{h}$
<b>Prietok koncentrátu</b>	0,25 $\text{m}^3/\text{h}$
<b>Prietok recirkulácie</b>	1,2 $\text{m}^3/\text{h}$
<b>CIP perióda</b>	6 mesiacov



**Obr. 1. Schéma membránovej jednotky**

## Vzorkovanie a analýzy

Bolo vybraných 35 zo sledovaných fyzikálne-chemických parametrov v období od 9. 3. 2021 do 25. 1. 2022 s intervalom 7, 14, resp. 28 dní v závislosti od konkrétneho parametru. Analýzy boli vykonávané vo firme ASIO TECH spol. s.r.o. i v akreditovanom laboratóriu stopovej analýzy Centra RECETOX Masarykovej univerzity v Brne. Sledované chemické parametre boli pH, zákal, nerozpustené látky (NL), rozpustené látky (RL), vodivosť, biochemická spotreba kyslíka po 5 dňoch (BSK<sub>5</sub>), dichromanová chemická spotreba kyslíka (CHSK<sub>Cr</sub>), dusík celkový (N<sub>celk.</sub>), organický (N<sub>org.</sub>), anorganický (N<sub>anorg.</sub>), amoniakálny (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), dusičnanový (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), dusitanový (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), fosforečnanový (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), chloridy, sírany, Na, Mg, K, Ca, B, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Pb, Hg.

## Štatistické spracovanie dát

Testované bolo normálne rozdelenie dát pomocou testov Shapiro-Wilk a d'Agosto-Pearson. Pre analýzu rozptylu v rámci troch sledovaných dátových súborov bol použitý neparametrický Kruskal-Wallisov *H* test s následným párovým exaktným Mann-Whitneyho testom a Hochbergovou metódou korekcie. Štatistická významnosť bola vyjadrená pomocou *p*-hodnôt. Hladina významnosti a bola zvolená 0,05. Dátové súbory boli 3 – parametre vstupnej vody, 1. technologický stupeň úpravy a 2. technologický stupeň úpravy. Hodnoty nachádzajúce sa pod limitmi kvantifikácie (LOQ) boli korigované na polovicu LOQ. Percentuálna účinnosť bola vypočítaná z mediánov koncentrácií jednotlivých parametrov. Štatistická analýza dát bola vykonaná pomocou doplnku Real Statistics Resource Pack pre Microsoft Excel.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Základné parametre

Z nameraných hodnôt pH možno vidieť, že pH v priebehu technologického procesu postupne klesá. Medián pH RO permeátu bol stanovený na 5,9±0,08 (vid' tab. 3).

**Tab. 3. Prehľad nameraných hodnôt základných parametrov**

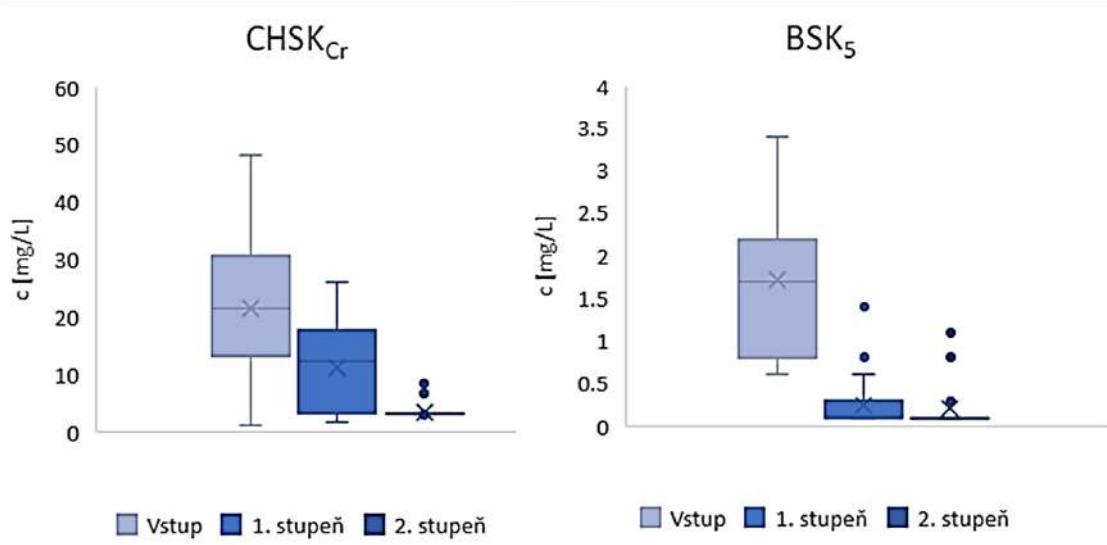
Parameter		Medián	MAD	Účinnosť	<i>p, a&lt;0.05</i>
pH	<b>Vstup</b>	7,69	0,14		
	<b>1.stupeň</b>	7,23	0,07		
	<b>2.stupeň</b>	5,9	0,08		
Zákal [Zft]	<b>Vstup</b>	3,045	0,49		
	<b>1.stupeň</b>	0,15	0,05	<b>95,1 %</b>	$9,0 \cdot 10^{-21}$
	<b>2.stupeň</b>	0,11	0,03	<b>26,7 %</b>	$9,0 \cdot 10^{-21}$
	<b>Celková účinnosť</b>			<b>96,4 %</b>	$6,3 \cdot 10^{-17}$
NL [mg/L]	<b>Vstup</b>	8,25	3,97		
	<b>1.stupeň</b>	1,4	1,1	<b>83,0 %</b>	$6,3 \cdot 10^{-8}$
	<b>2.stupeň</b>	1	0,15	<b>28,6 %</b>	$1,9 \cdot 10^{-15}$
	<b>Celková účinnosť</b>			<b>87,9 %</b>	$3,9 \cdot 10^{-12}$
RL [mg/L]	<b>Vstup</b>	780	61.5		
	<b>1.stupeň</b>	773	62	<b>nonsig.*</b>	0,85
	<b>2.stupeň</b>	70	16,7	<b>90,9 %</b>	$6,8 \cdot 10^{-22}$
	<b>Celková účinnosť</b>			<b>91,0 %</b>	$1,6 \cdot 10^{-16}$
Vodivosť [ $\mu$ S/cm]	<b>Vstup</b>	1140	49		
	<b>1.stupeň</b>	1140	60	<b>nonsig.*</b>	0,88
	<b>2.stupeň</b>	62,8	11,15	<b>94,5 %</b>	$8,0 \cdot 10^{-22}$
	<b>Celková účinnosť</b>			<b>94,5 %</b>	$2,8 \cdot 10^{-16}$

\*nonsig. – nebola preukázaná štatistická významnosť (*p*>0,05)

V závislosti od účelu recyklácie odpadovej vody, či už na vodu závlahovú, procesnú alebo pitnú je do budúcnosti potrebné počítať so zavedením následnej úpravy pH, resp. v prípade recyklácie na vodu pitnú, možno úpravu pH docieľiť správnou voľbou remineralizačnej techniky, napr. za použitia polovypáleného dolomitu. Majoritný vplyv na účinnosť separácie pre parametre zákalu a NL mal prvý technologický stupeň (UF s koaguláciou). U NL sa už po prvom technologickom stupni dostáva koncentrácia pod LOQ 2 mg/L. Vplyv prvého stupňa na RL bol zanedbateľný, podobne ako na vodivosť, čo korešponduje s predpokladom, keďže stupeň zahrňuje len koaguláciu a UF membránou.

### **Chemická a biochemická spotreba kyslíka**

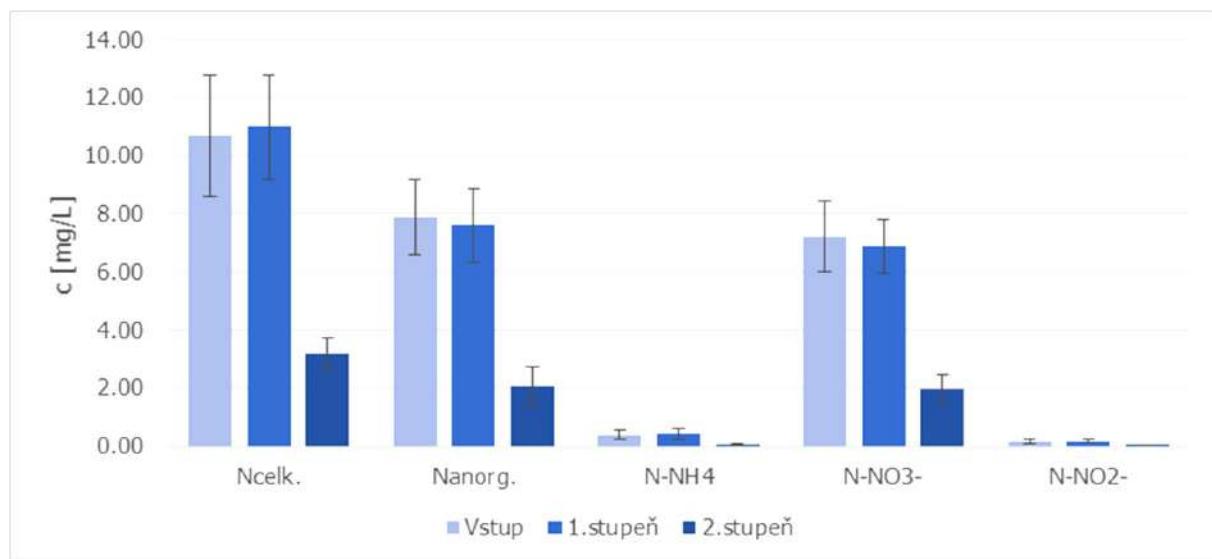
Boli sledované i nešpecifické parametre organického zatáženia CHSK<sub>Cr</sub> a BSK<sub>5</sub>. Grafy koncentrácií týchto parametrov pre vstupnú vodu, prvý i druhý stupeň sú zobrazené na obr. 2. Ukázalo sa, že u parametra CHSK<sub>Cr</sub> dochádzalo postupne k poklesu koncentrácie. Po prvom stupni bol zaznamenaný pokles o 42 % ( $p=1,80 \cdot 10^{-10}$ ) na hodnotu mediánu  $12,4 \pm 6,7$  mg/L. Po druhom stupni bola už koncentrácia pod hodnotou LOQ 6 mg/L. BSK<sub>5</sub> zaznamenala pokles po prvom stupni o 94 % ( $p=1,56 \cdot 10^{-12}$ ) na hodnoty pod LOQ 0,2 mg/L. Vzhľadom k charakteru vstupnej vody bola očakávaná nízka hodnota BSK<sub>5</sub> už na vstupe, a preto nemožno hodnoverne kvantifikovať presnú účinnosť jednotlivých technologických stupňov.



**Obr. 2. Graf koncentrácie CHSK<sub>Cr</sub> (vľavo) a BSK<sub>5</sub> (vpravo)**

### **Formy dusíka**

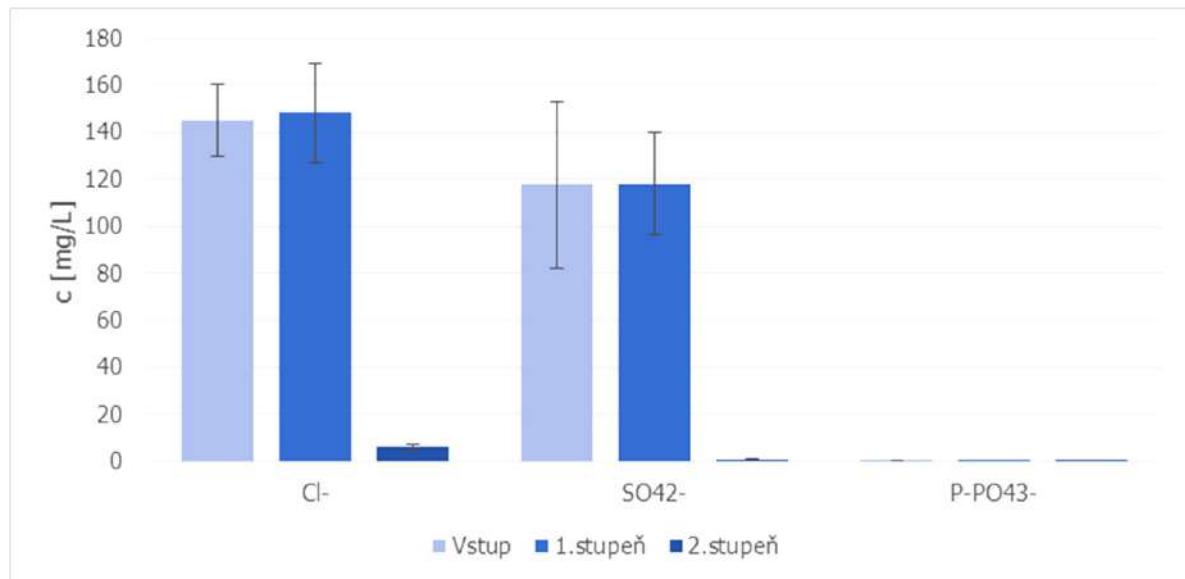
Parameter celkového, anorganického dusíku ako i jednotlivých iónových spôsobičí neprekázali štatisticky významnú účinnosť separácie po prvom stupni (viď obr. 3). Celková účinnosť separácie týchto foriem dusíku bola však uspokojujivá, na úrovni 70 % pre N<sub>celk.</sub> ( $p=1,53 \cdot 10^{-5}$ ), 74 % pre N<sub>anorg.</sub> ( $p=6,03 \cdot 10^{-12}$ ), 83 % pre N-NH<sub>4</sub> ( $p=3,95 \cdot 10^{-13}$ ), 73 % pre N-NO<sub>3</sub> ( $p=1,10 \cdot 10^{-14}$ ) a 88 % pre N-NO<sub>2</sub> ( $p=1,89 \cdot 10^{-11}$ ). Koncentrácia amónnych katiónov, dusitanov a dusičnanov spĺňajú i medzné hodnoty dané Vyhláškou 70/2018 Sb. [7].



Obr. 3. Graf koncentrácie N<sub>celk.</sub>, N<sub>anorg.</sub>, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub>

#### Ostatné anióny

Chloridy a sírany podobne ako formy dusíka nepreukázali štatisticky významnú účinnosť separácie po prvom stupni ( $p_{Cl^-}=0,40$ ;  $p_{SO_4^{2-}}=0,74$ ). Situácia je opačná pri fosforečnanoch, ktoré boli separované s účinnosťou 98 % ( $p=3,92 \cdot 10^{-11}$ ) a koncentráciou po prvom technologickom stupni na úrovni pod LOQ 0,02 mg/L. Zapríčinené to bolo i relatívne nízkou hodnotou mediánu koncentrácie vstupnej vody (odtoku z ČOV) na úrovni  $0,47 \pm 0,12$  mg/L, kvôli používanej technológií terciárneho čistenia na ČOV. Chloridy a sírany vykazovali takú účinnosť až po druhom stupni, konkrétnie 96 % ( $p=1,38 \cdot 10^{-8}$ ) pre chloridy a 99 % ( $p=2,95 \cdot 10^{-8}$ ) pre sírany. Koncentrácia chloridov na výstupe bola  $6,15 \pm 1,34$  mg/L, sírany mali výslednú koncentráciu pod LOQ 2 mg/L. Namerané mediánové koncentrácie pre jednotlivé parametre na vstupe, po prvom i druhom stupni sú zobrazené na obr. 4.



Obr. 4. Graf koncentrácie Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

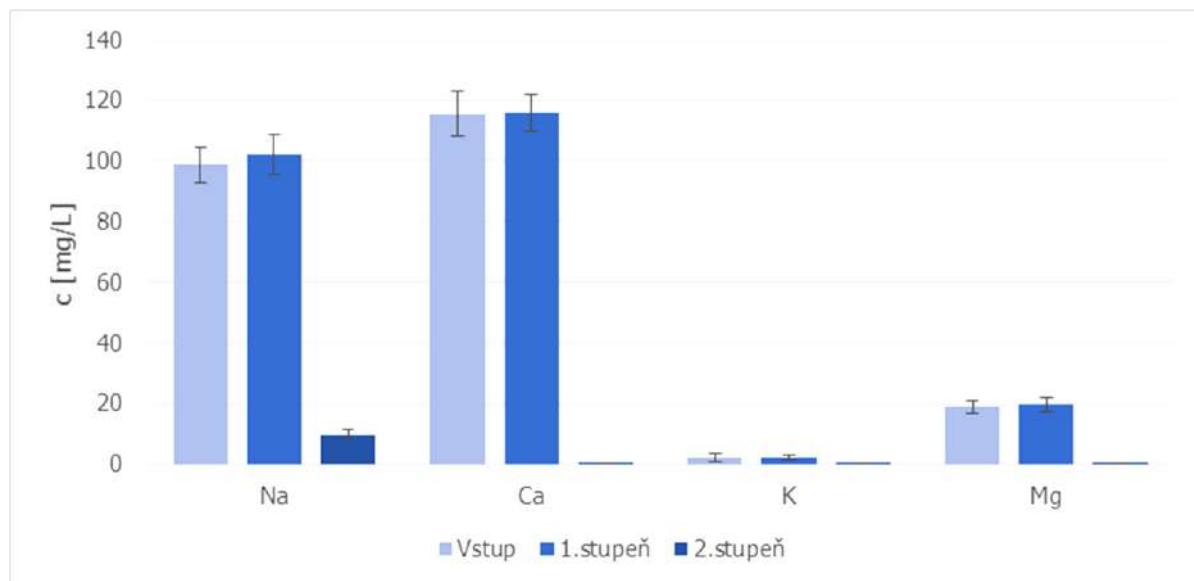
## Prvková analýza

V rámci prvkovej analýzy bolo sledovaných 13 prvkov. Boli rozdelené do 2 skupín podľa jednotky koncentrácie, v ktorej sa v sledovanej vode nachádzali.

### Makroprvky

Prvou skupinou sledovaných prvkov boli makroprvky, prvky nachádzajúce sa v koncentráciách miligramy na liter. Patrí sem sodík, vápnik, draslík, horčík. Tieto prvky sa nachádzajú vo vode vo forme jedno, resp. dvoj nabitých katiónov. Prvý technologický stupeň neboli schopní separovať tieto katióny na štatisticky významnej úrovni. Na druhú stranu, účinnosť separácie dosahovala 90 % ( $p=3,30\cdot10^{-8}$ ), resp. 92 % ( $p=4,33\cdot10^{-8}$ ) pre sodík a draslík a 100 % pre vápnik ( $p=3,11\cdot10^{-8}$ ) a horčík ( $p=9,13\cdot10^{-5}$ ). Tieto hodnoty účinnosti separácie odpovedajú predpokladom vychádzajúcim z modelov dielektrickej exklúzie pre nízkotlaké RO membrány, ktoré tvrdia, že viacnásobne nabité prvky sú separované lepšie ako menej násobne nabité prvky [6].

Konečné koncentrácie po druhom technologickom stupni boli  $9,72\pm1,62$  mg/L pre sodík,  $0,48\pm0,01$  mg/L pre vápnik,  $2,12\pm0,26$  mg/L pre draslík,  $0,56\pm0,01$  mg/L pre horčík. Tieto nízke hodnoty mediánov koncentrácií makroprvkov poukazujú na potrebu zavádzania vhodnej remineralizačnej techniky v prípade, že by takto recyklovaná voda mala byť využívaná na polnohospodárske účely, resp. ako pitná voda pre obyvateľstvo.



Obr. 5. Graf koncentrácií Na, Ca, K a Mg

### Stopové prvky

Koncentrácie všetkých sledovaných parametrov po druhom technologickom stupni nepresahujú medzné ani najvyššie medzné hodnoty dané Vyhláškou 70/2018 Sb. [7] ale priam naopak, koncentrácie sa nachádzajú hlboko pod týmito limitmi. Takmer všetky sledované stopové prvky dosahovali celkovú účinnosť separácie nad 90 %, resp. 99 %.

Jediný prvek, ktorý sa neseparoval s vysokou účinnosťou bol bór. Avšak i literatúra [8] uvádza pomerne nízku hodnotu retenčného faktoru pre bór u RO membrán v rozmedzí 30–50 %.

Zaujímavý je taktiež relatívne vysoký nárast koncentrácie mangánu a kobaltu, ktorý pri bližšom pohľade na absolútne čísla nie je tak markantný a je pravdepodobne len zapríčinený sekundárной kontamináciou použitím kyslého železitého koagulantu.

Okrem prvkov uvedených v tab. 4 bola sledovaná i ortut', ktorá sa nachádzala ako na vstupe tak i po jednotlivých technologických stupňoch pod LOQ 0,02 µg/L.

**Tab. 4. Prehľad nameraných hodnôt koncentrácií stopových prvkov**

Parameter		Max	Min	Medián	MAD	Účinnosť	p, $\alpha < 0,05$
<b>B [µg/L]</b>	<b>Vstup</b>	133	69	113	9		
	<b>1.stupeň</b>	134	72	113	8	<b>nonsig. *</b>	0,99
	<b>2.stupeň</b>	115	73	87	5,3	<b>23 %</b>	$8,02 \cdot 10^{-5}$
				<b>Celková účinnosť'</b>		<b>23,0 %</b>	$9,13 \cdot 10^{-5}$
<b>Al [µg/L]</b>	<b>Vstup</b>	48,2	2	5,3	3,3		
	<b>1.stupeň</b>	2,1	0,4	1	0,4	<b>81 %</b>	$1,71 \cdot 10^{-9}$
	<b>2.stupeň</b>	0,4	0,4	0,4	0	<b>60 %</b>	$8,57 \cdot 10^{-10}$
				<b>Celková účinnosť'</b>		<b>92,5 %</b>	$5,73 \cdot 10^{-10}$
<b>V [µg/L]</b>	<b>Vstup</b>	0,98	0,30	0,56	0,16		
	<b>1.stupeň</b>	0,06	0,02	0,03	0,01	<b>94 %</b>	$4,41 \cdot 10^{-10}$
	<b>2.stupeň</b>	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	0	<b>98 %</b>	$4,41 \cdot 10^{-10}$
				<b>Celková účinnosť'</b>		<b>99,9 %</b>	$9,96 \cdot 10^{-11}$
<b>Cr [µg/L]</b>	<b>Vstup</b>	0,95	0,43	0,58	0,08		
	<b>1.stupeň</b>	0,74	0,22	0,31	0,03	<b>47 %</b>	$1,20 \cdot 10^{-5}$
	<b>2.stupeň</b>	0,02	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0	<b>98 %</b>	$8,57 \cdot 10^{-10}$
				<b>Celková účinnosť'</b>		<b>99,1 %</b>	$6,02 \cdot 10^{-10}$
<b>Mn [µg/L]</b>	<b>Vstup</b>	120	34,6	87,95	16,85		
	<b>1.stupeň</b>	213	50,2	126	28,2	<b>-43 %</b>	$2,00 \cdot 10^{-3}$
	<b>2.stupeň</b>	0,76	0,07	0,33	0,17	<b>100 %</b>	$4,41 \cdot 10^{-10}$
				<b>Celková účinnosť'</b>		<b>99,6 %</b>	$4,14 \cdot 10^{-9}$
<b>Fe [µg/L]</b>	<b>Vstup</b>	50,5	16,6	32,3	6,05		
	<b>1.stupeň</b>	74	8,7	28	9,3	<b>nonsig.*</b>	0,42
	<b>2.stupeň</b>	0,6	0,2	0,2	0	<b>99 %</b>	$1,71 \cdot 10^{-9}$
				<b>Celková účinnosť'</b>		<b>99,4 %</b>	$3,19 \cdot 10^{-8}$
<b>Co [µg/L]</b>	<b>Vstup</b>	2,41	0,53	1,67	0,55		
	<b>1.stupeň</b>	4,82	0,54	2,89	0,69	<b>-74 %</b>	$1,02 \cdot 10^{-3}$
	<b>2.stupeň</b>	0,02	$2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	0	<b>99 %</b>	$4,41 \cdot 10^{-10}$
				<b>Celková účinnosť'</b>		<b>99,1 %</b>	$2,90 \cdot 10^{-9}$
<b>Ni [µg/L]</b>	<b>Vstup</b>	17,8	2,93	5,33	1,14		
	<b>1.stupeň</b>	14,5	3,68	6,03	1,36	<b>nonsig.*</b>	0,23
	<b>2.stupeň</b>	0,22	0,02	0,05	0	<b>99 %</b>	$4,41 \cdot 10^{-10}$
				<b>Celková účinnosť'</b>		<b>99,1 %</b>	$2,17 \cdot 10^{-8}$

\*nonsig. – nebola preukázaná štatistická významnosť ( $p>0,05$ )

## ZÁVERY

Bola vyhodnotená 10 mesačná prevádzka pilotnej poloprevádzkovej jednotky určenej pre recykláciu mestských odpadových vôd na základe 35 sledovaných fyzikálne-chemických parametrov.

Tie boli sledované ako vstupnej vode, tak i po prvom a druhom technologickom stupni. Štatistická analýza získaných dát ukázala, že v danom období pri danom nastavení jednotky má prvý technologický stupeň (koagulácia železitým koagulantom s následnou UF) signifikantný vplyv na zákal,  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{BSK}_5$ ,  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , Al, V, Cr.

Zvyšné parametre boli spoľahlivo separované až v druhom technologickom stupni, resp. nebolo možné hodnoverne určiť význam prvého stupňa kvôli kontaminácii pridávaným koagulantom.

Väčšina parametrov vykazovala vysokú separačnú účinnosť nad úrovňou 90 % alebo nad 70 % v prípade dusíkatých spécií. Jedine bór vykazoval pomerne nízku účinnosť separácie na úrovni 23 %.

Prípadnej aplikácií jednotky do praxe pre produkciu závlahovej alebo i pitnej vody z pohľadu fyzikálno-chemického zloženia produkowanej vody bráni jedine nízka mineralizácia a relatívne nízke pH, čo je možné vyriešiť doplnením vhodnej remineralizačnej techniky. Pred takýmto prípadnou aplikáciou je však potrebné vyhodnotiť i zvyšné sledované parametre dané Vyhláškou 70/2018 Sb. [7], akými je mikrobiálne oživenie a koncentrácie organických mikropolutantov. V neposlednom rade bráni použitiu takejto jednotky ekonomická náročnosť takéhoto procesu a nepripravenosť legislatívneho prostredia Českej republiky v oblasti recyklácie vód.

## POĎAKOVANIE

Táto štúdia bola vykonaná v spolupráci s firmou ASIO TECH spol. s.r.o. a podporená projektom CZ.01.1.02/0.0/0.0/19\_262/0020109 Polygon recyklace vod Ministerstva priemyslu a obchodu Českej republiky.

## ZOZNAM LITERATÚRY

1. M. Mozny, M. Trnka, V. Vlach, A. Vizina, V. Potopova, P. Zahradnicek, P. Stepanek, L. Hajkova, L. Staponites, Z. Zalud, Past (1971–2018) and future (2021–2100) pan evaporation rates in the Czech Republic, *Journal of Hydrology*, 2020, 590, 5, 125390, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125390
2. M. Sgroi, F. G.A. Vagliasindi, P. Roccato, Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse, *Curr. Opin. Environ. Sci. Health*, 2018, 2, 20-25
3. C. Y. Tang, Z. Yang, H. Guo, J. J. Wen, L. D. Nghiem, E. Cornelissen, Potable Water Reuse through Advanced Membrane Technology, *Environ. Sci. Technol.* 2018, 52, 18, 10215–10223
4. D. Pokorný, E. Fousová, P. Hubalová, *Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2019*, Prague, Czechia, 2020, str. 56. ISBN 978-80-7434-626-2
5. J. Lahnsteiner, P. van Rensburg, J. Esterhuizen, Direct potable reuse – a feasible water management option, *Journal of Water Reuse and Desalination*, 2018; 8, 1, 14–28.
6. ČSN EN 15040 Chemické výrobky používané pro úpravu vody určené k lidské spotrebě – Protiinkrustační přípravky pro membrány – Fosfonové kyseliny a jejich soli. Praha: Český normalizační institut, 2014. 1–24 s.
7. ČESKO VYHLÁŠKA č. 70/2018 ze dne 20. dubna 2018, 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. In *Sbírka zákonů České republiky* [online]. 2018. [cit. 2021-02-05] s. 946–972. Dostupné na internete: <<https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=38421>>.
8. FRENKEL, V.S. Planning and design of membrane systems for water treatment. In *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment: Materials, Processes and Applications* [online]. [cit. 2021-02-05]. San Francisco, CA, USA: Elsevier Ltd, 2015. s. 329–347. ISBN 9781782421269 Dostupné na internete: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-121-4.00010-1>>.

# ÚPRAVA PODZEMNÍ VODY TECHNOLOGIÍ MEMBRÁNOVÉ FILTRACE

Ing. Petra HRUŠKOVÁ<sup>1)</sup>, Mgr. Tomáš BRABENEC<sup>1,2)</sup>, Ing. Kryštof HNOJNA<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> ENVI-PUR, s.r.o., Na Vlčovce 13/4, 160 00 Praha 6 – Dejvice

<sup>2)</sup> SLUŽBY MĚSTA JIHLAVY, s.r.o., Havlíčkova 64, 586 01 Jihlava

E-mail: [hruskova@envi-pur.cz](mailto:hruskova@envi-pur.cz), [brabenec@smj.cz](mailto:brabenec@smj.cz), [hnojna@envi-pur.cz](mailto:hnojna@envi-pur.cz)

## ÚVOD

Podzemní vody se vyznačují řadou typických příměsí, které je nutné odstraňovat, jedná se především o zvýšené koncentrace železa a mangantu, ale rovněž se setkáváme s dalšími látkami, které jsou zde nežádoucí [1]. Úprava takovýchto vod zahrnuje aktuálně především konvenční sedimentaci a pískovou filtrace. Z důvodu značných provozních nákladů zastaralých technologií jsou tyto technologie postupně nahrazovány moderními separačními procesy, které zaručují stabilní dodávku kvalitní pitné vody a nízké provozní náklady. Mezi takovéto technologie řadíme i membránové technologie (ultrafiltrace/mikrofiltrace).

V letech 2019-2021 společnost ENVI-PUR s.r.o. řešila projekt podporovaný Technickou agenturou České republiky (TAČR) - *TH04030402 – Odstraňování arsenu, hliníku, mangantu a železa pomocí membránové filtrace z povrchových či podzemních zdrojů pro účely úpravy na vodu pitnou*. Cílem projektu bylo zhodnotit účinnost separace železa, mangantu a dalších polutantů prostřednictvím membránového filtrace. Výstup projektu je v souladu s vládní strategií RIS3 a neustále akcentovanými tzv. key enabling technologies (KETs). V těchto oblastech zaujímají pokročilé technologie důležité postavení.

V průběhu řešení projektu bylo membránové zařízení testováno na několika lokalitách, přičemž v tomto článku představujeme výsledky ze tří nejzajímavějších lokalit.

## MATERIÁL A METODIKA

V prvním roce projektu (2019) proběhla optimalizace chemismu v laboratorních podmínkách a v druhém roce (2020) byla zkonstruována poloprovozní jednotka, díky které lze ověřovat účinnost technologie v praxi. V roce 2021 již proběhlo testování na několika lokalitách, které disponují zdroji podzemní vody.

Díky poloprovozní jednotce je tedy možné, v rámci předprojektové přípravy, provádět testování na daných lokalitách. Výstupem z testování tedy může být návrh vhodné technologie, jejích hydraulických parametrů a predikce spotřeby vody na praní, elektrické energie a spotřeby chemikálií. Takto je zajištěn optimální chod technologie v rámci realizace nové úpravny vody, rekonstrukce či optimalizace stávajících úpraven vod. Součástí poloprovozní jednotky je keramická membránová filtrace AMAYA, která je umístěna v kontejneru (obr.1). V kombinaci s injektory vzduchu [2] a dávkováním potřebných chemikálií (hydroxid sodný a manganistan draselný) představuje účinnou separační technologii.



Obr. 1. Poloprovozní zařízení umístěné v kontejneru

V této filtrační jednotce jsou umístěny dva keramické membránové elementy s povrchem membrány dohromady  $30\text{ m}^2$ , nominální velikostí póru  $0,1\text{ }\mu\text{m}$ , průměrem kanálku  $2,5\text{ mm}$  a s počtem kanálků 2000. Celý systém pracuje na principu přímé filtrace (dead-end filtration, in-out) [3,4].

Pro vyhodnocení účinnosti procesu separace byly odebrány bodové vzorky vody před membránou a za membránovou filtrační jednotkou (surová i upravená voda). Odebrané vzorky byly bezprostředně analyzovány pomocí mobilních analytických přístrojů na místě měření. Zásadními ukazateli pro sledování byly: koncentrace železa (Fe) a manganu (Mn), případně arsenu (As); důležité bylo rovněž sledování koncentrace rozpuštěného kyslíku, pH, teploty, alkality (KNK4,5) a acidity (ZNK8,3). V rámci poloprovozních testů byly na jednotce automaticky zaznamenávány provozní parametry, které monitorují účinnost čištění, ale také spotřebu elektrické energie, spotřebu upravené vody na praní membrány a spotřebu chemikalií.

## VÝSLEDKY

### Kvalitativní parametry

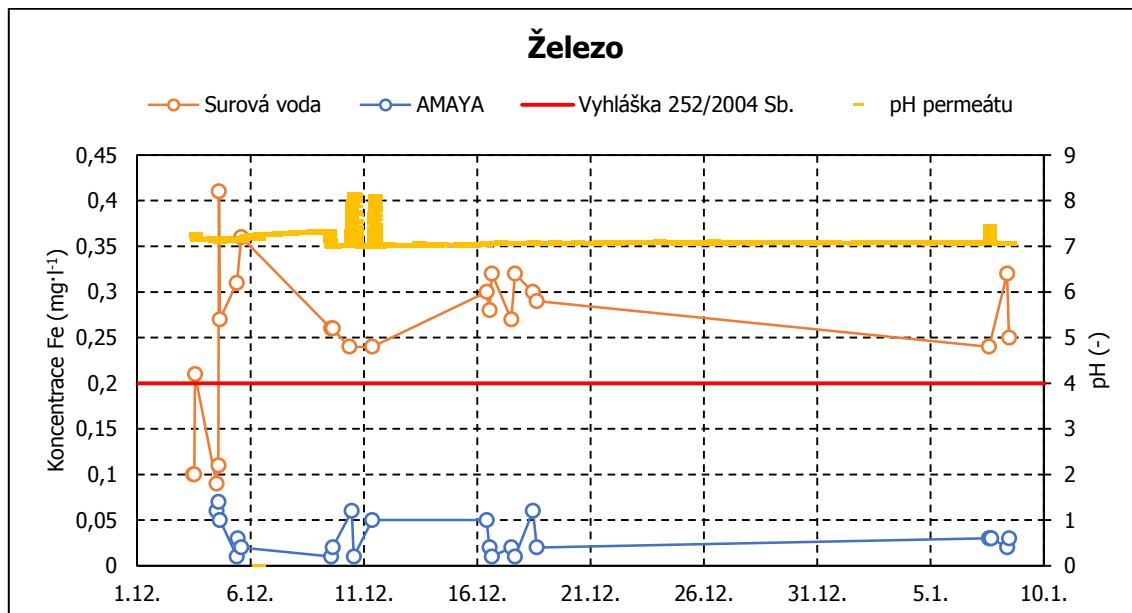
#### *Lokalita č. 1*

Základní kvalitativní charakteristikou podzemní vody na první lokalitě jsou mírně zvýšené koncentrace železa a manganu, nízká koncentrace rozpuštěného kyslíku a vyšší tvrdost vody, způsobená vysokým obsahem vápníku a hořčíku.

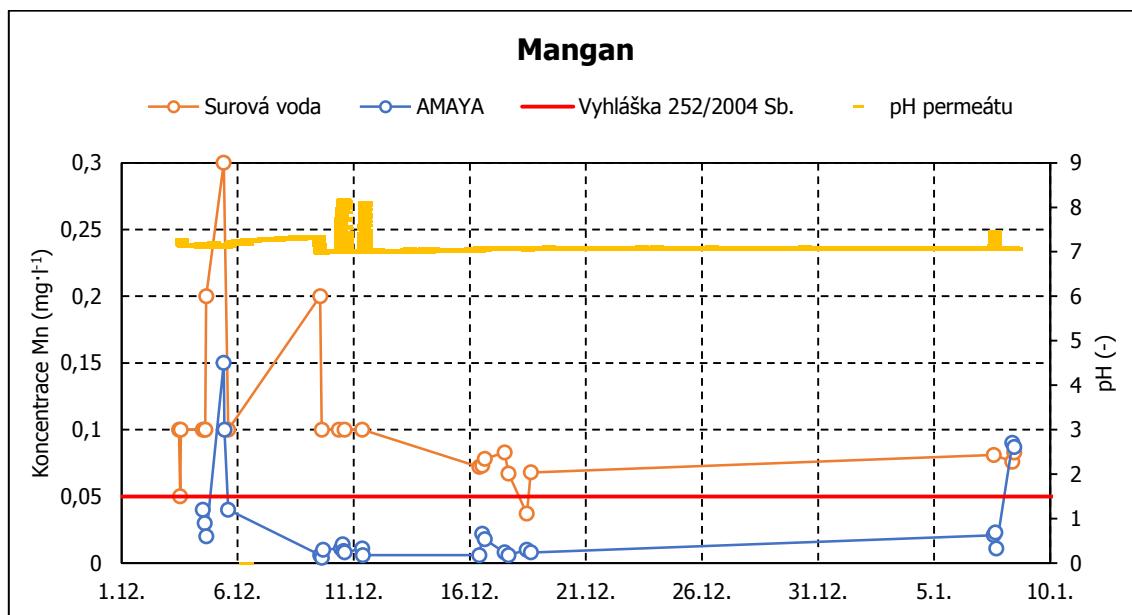
Na obr. 2 je zobrazen vývoj hodnot koncentrací železa v surové a upravené vodě v průběhu zkoušek. Koncentrace železa se v surové vodě pohybovala od  $0,25$  do  $0,4\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Již samotné provzdušnění surové vody injektory dokázalo železo částečně oxidovat, a to se následně dobře separovalo v rámci keramické membrány. První vzorky byly analyticky stanovovány bez dávkování manganistanu draselného ( $\text{KMnO}_4$ ) při úpravě surové vody, který se však později muselo začít dávkovat z důvodu přítomnosti manganu v surové vodě. V upravené vodě byly koncentrace železa bezpečně pod limit stanovený legislativou, konkrétně v rozmezí  $0,01\text{--}0,06\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , účinnost odstranění železa se tedy pohybovala okolo 90 %.

U manganu, ve srovnání se železem, bývá separace obtížnější. Na obr. 3 je uveden vývoj hodnot koncentrací manganu v surové a upravené vodě v průběhu zkoušek. Obdobně jako u železa i v případě manganu byly jeho koncentrace v surové vodě mírně vyšší, než je limit stanovený vyhláškou č. 252/2004 Sb. [5] Vrt vykazoval hodnoty koncentrace manganu

v rozmezí  $0,03\text{--}0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Vzhledem ke snížené účinnosti odstraňování manganu, která je na obr. 3 patrná, bylo nutné přistoupit k dávkování manganistanu draselného – byla stanovena optimální koncentrace dávkování  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . V případě dávkování manganistanu již docházelo k účinnému odstraňování manganu, aniž by bylo nutné zvyšovat pH upravené vody dávkováním hydroxidu sodného. Koncentrace manganu v upravené vodě byla bezpečně pod limit stanovený legislativou, konkrétně v rozmezí  $0,004\text{--}0,02 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , účinnost odstranění manganu se tedy pohybovala okolo 90–95 %. Ke konci poloprovozního testování bylo rovněž odzkoušeno dávkování jiného oxidačního činidla – chlornanu sodného ( $\text{NaClO}$ ). Účinnost oxidace a následně separace manganu však byla minimální a na obr. 3 je vidět, že se mangan z vody téměř neodstraňoval.



Obr. 1. Koncentrace železa v surové a upravené vodě



Obr. 2. Koncentrace manganu v surové a upravené vodě

### Lokalita č. 2

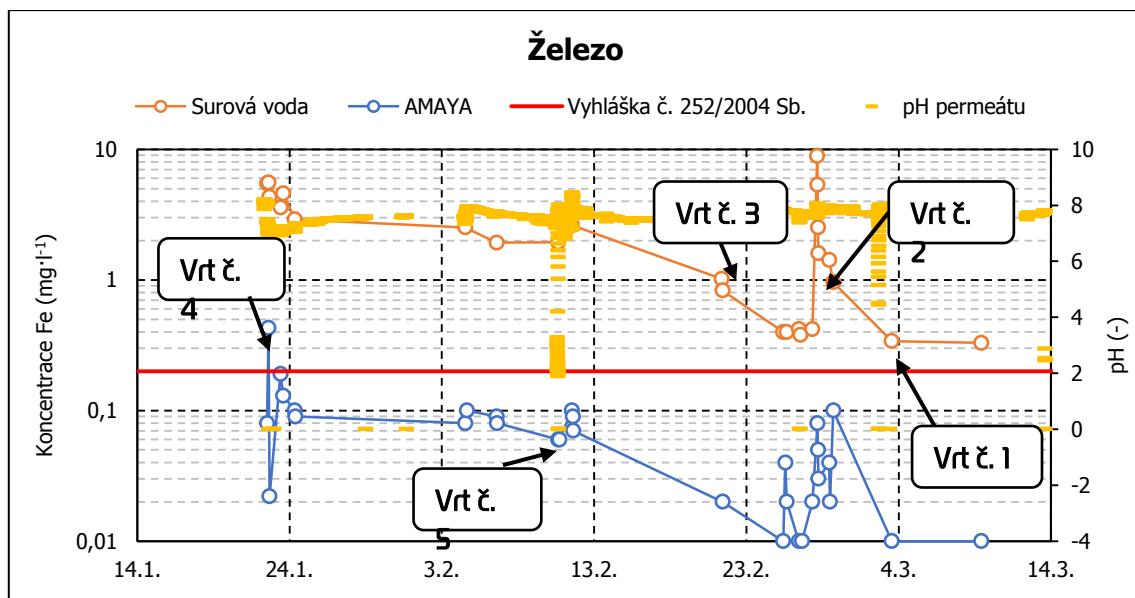
Na obr. 4 je zobrazen vývoj hodnot koncentrací železa v surové a upravené vodě v průběhu zkoušek na druhé lokalitě. Během poloprovozního testování došlo k odzkoušení pěti vrtů, přičemž provoz a zkoušení jednotlivých vrtů je rovněž zaznamenán na obr. 4. Koncentrace železa jsou pro lepší přehlednost zobrazeny v logaritmickém měřítku. Nejvyšší koncentrace železa byly zaznamenány ve vrtu č. 4 a ve vrtu č. 2. Jelikož všechny vrty nebyly před samotným testováním několik let v provozu, projevoval se tento fakt v počátku čerpání jednotlivých vrtů výrazně horší kvalitou, která se však během několika dnů provozu stabilizovala. Ve vrtu č. 4 se koncentrace železa pohybovaly v rozmezí  $4\text{--}6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Po optimalizaci a stabilizaci provozu se však koncentrace železa v permeátu pohybovaly do  $0,1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , což je bezpečně pod limitem stanoveným Vyhláškou č. 252/2004 Sb.

U některých vrtů muselo dojít k provozní stabilizaci a jejich postupnému vyčištění, na počátku vrty vykazovaly poměrně vysoké koncentrace znečišťujících příměsí. Z obr. 4 je patrné, že tomu tak bylo především u vrtu č. 2, kdy koncentrace železa dosahovaly až  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . S postupem čerpání se koncentrace železa v tomto vrtu ustálila na hodnotě okolo  $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Ale i při takových velkých koncentračních fluktuacích byla separace železa velmi účinná, a to především díky pečlivé optimalizaci dávkování oxidačního čnidla – manganistanu draselného ( $\text{KMnO}_4$ ) a rovněž díky provozní/kapacitní flexibilitě membránového systému.

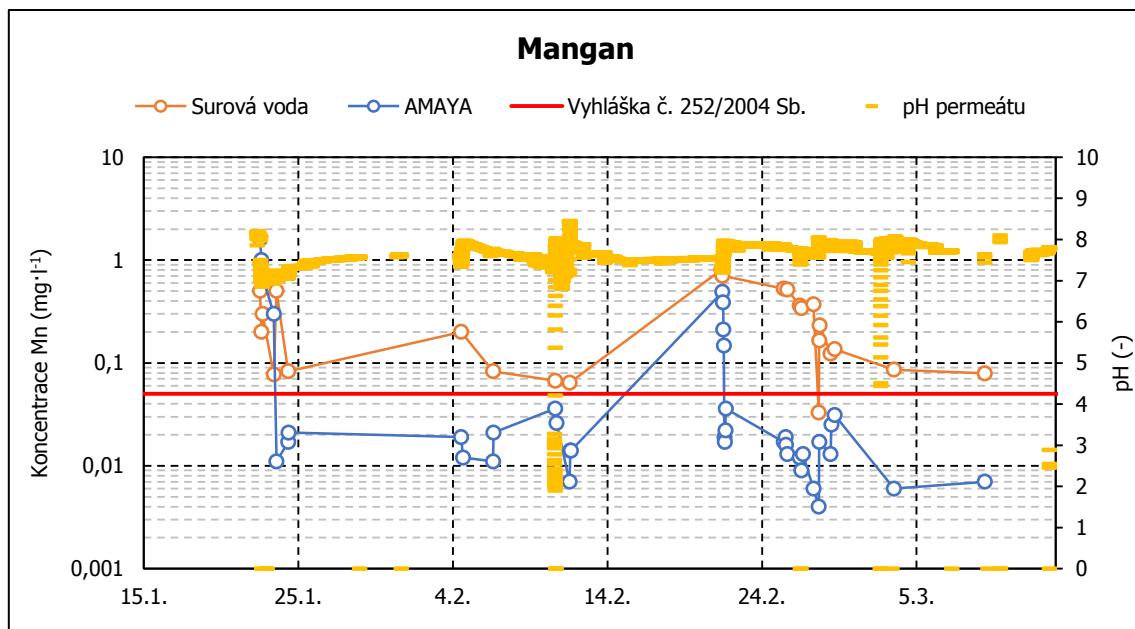
Na obr. 4 je rovněž zobrazen vývoj hodnot pH (v závislosti na aktuálním využití příslušného vrty), které muselo být upravováno dávkováním 25% hydroxidu sodného ( $\text{NaOH}$ ) z důvodu nedostatečné oxidace mangantu při nižším pH.

Na obr. 5 je uveden vývoj hodnot koncentrací mangantu v surové a upravené vodě v průběhu zkoušek, rovněž v logaritmickém měřítku. Obdobně jako u železa i v případě mangantu byly jeho koncentrace v surové vodě výrazně vyšší, než je limit stanovený vyhláškou č. 252/2004 Sb. I v tomto případě je separace mangantu, ve srovnání se separací železa, obtížnější. V některých případech se koncentrace mangantu v surové vodě blížily až k  $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , avšak po provozní stabilizaci čerpání z jednotlivých vrtů a jejich postupném vyčištění se hodnoty koncentrací mangantu nejčastěji pohybovaly v rozmezí  $0,08\text{--}0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . V jednotlivých vrtech se koncentrace mangantu značně lišila, proto tomu bylo nutné přizpůsobovat a průběžně optimalizovat koncentrace/množství dávkovaného oxidačního čnidla manganistanu draselného.

Např. v případě zapojení vrtu č. 3 se koncentrace mangantu skokově zvýšily z hodnoty okolo  $0,08 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  až téměř k  $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Z tohoto důvodu bylo nutné zareagovat a výrazně zvýšit dávku manganistanu draselného a současně zvýšit hodnotu pH ze 7,5 až k hodnotě kolem 8. Nicméně po pečlivé optimalizaci byla koncentrace mangantu v permeátu snížena až na úroveň do  $0,02 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Koncentrace manganistanu draselného po optimalizaci byla v rozmezí  $1\text{--}2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$   $\text{KMnO}_4$ .



Obr. 3. Koncentrace železa v surové a upravené vodě

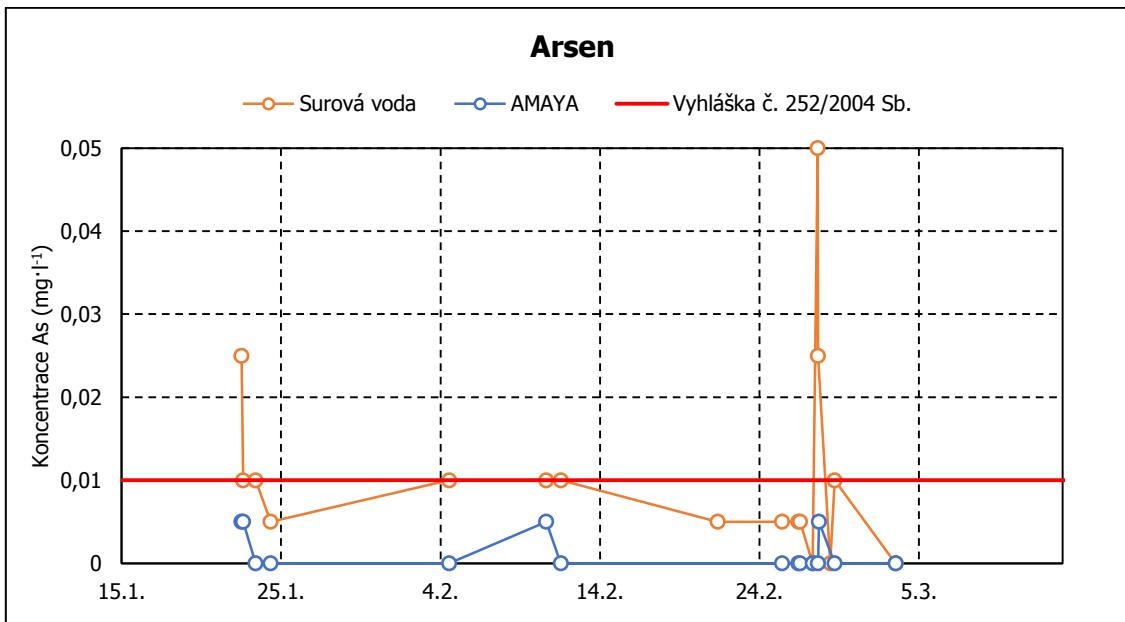


Obr. 4. Koncentrace mangantu v surové a upravené vodě

V minulosti byly v podzemní surové vodě na lokalitě č. 2 analyticky prokázány mírně nadlimitní koncentrace arsenu. Z tohoto důvodu byl arsen v průběhu zkoušek sledován. Na obr. 6 je zobrazen vývoj koncentrací arsenu v surové a upravené vodě.

Koncentrace arsenu v SV dosahovala hodnot od  $0,005$  do  $0,01 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , přičemž limit stanovený vyhláškou č. 252/2004 Sb. je  $0,01 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Koncentrace v surové vodě tedy byly pod tímto limitem nebo na jeho hranici. Pouze v případě počátečního čerpání z vrtu č. 2 dosahovaly koncentrace arsenu až  $0,05 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Z obr. 6 je však patrné, že v průběhu zkoušek byla koncentrace arsenu v permeátu obvykle téměř  $0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . V podzemních vodách, které se vyznačují nedostatkem kyslíku, se arsen převážně vyskytuje rozpuštěný s oxidačním číslem III –  $\text{AsO}_2^-$ .

Arsen lze snadno oxidovat na oxidační číslo V –  $\text{AsO}_3^-$ , kdy se ochotně sorbuje na oxidech železa anebo hliníku, sráží se společně s těmito sloučeninami a lze separovat na membránové filtrace.



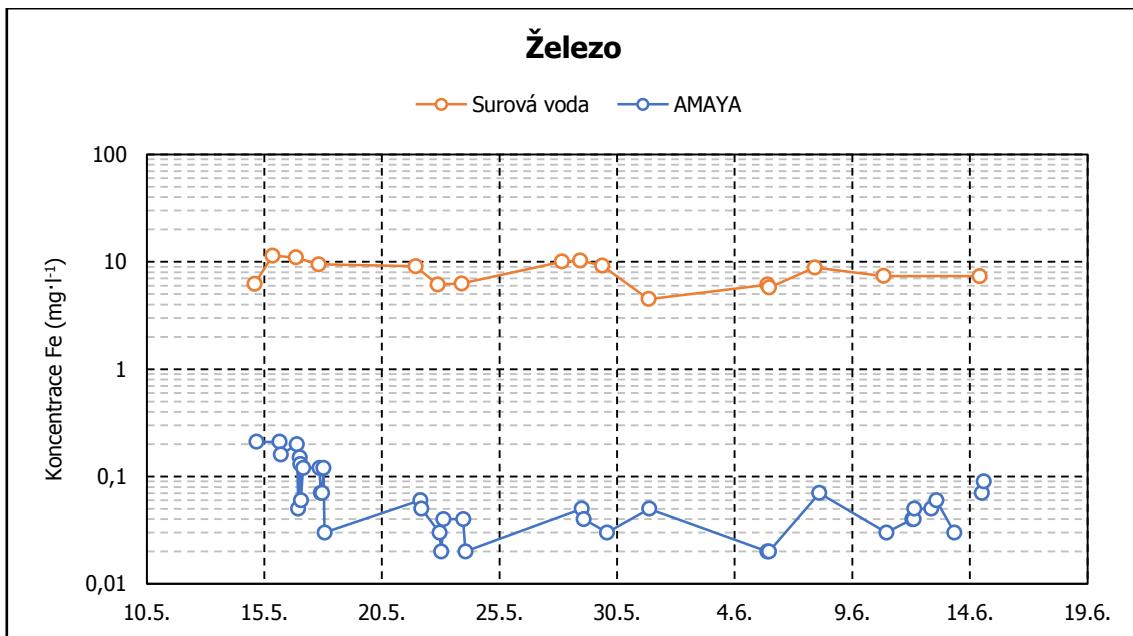
Obr. 5. Koncentrace arsenu v surové a upravené vodě

#### Lokalita č.3

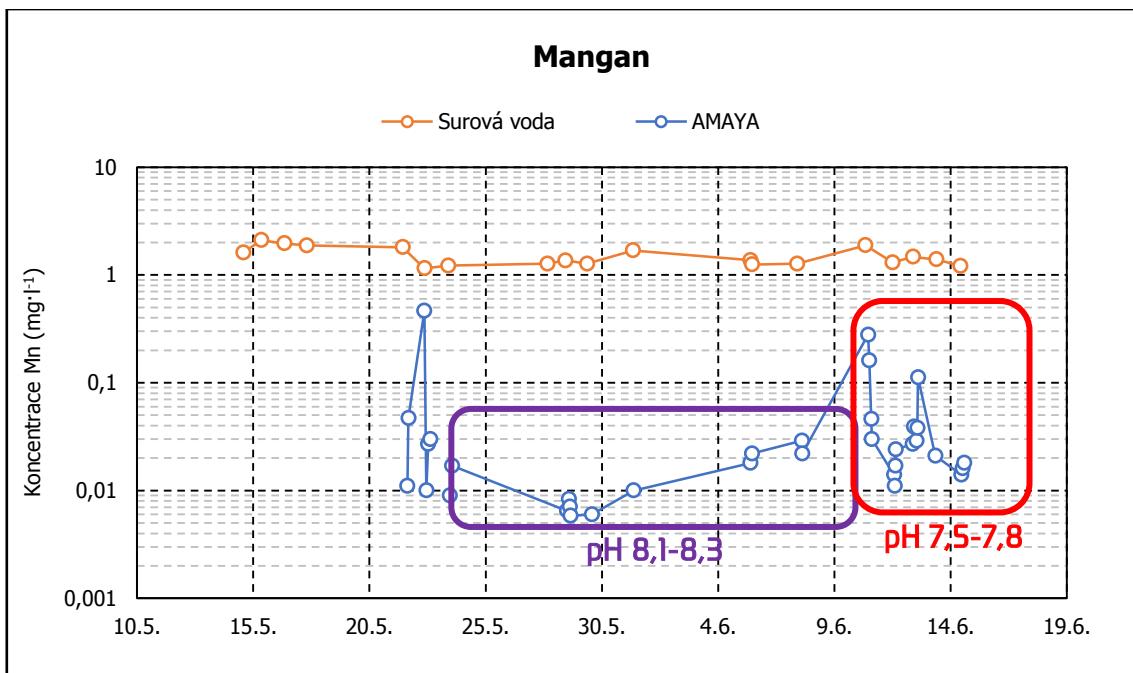
Poslední zmíněnou lokalitou je rovněž úpravna vody, jejímž zdrojem je podzemní voda s vysokými koncentracemi železa a manganu v surové vodě.

Jak je vidět z obr. 7, koncentrace železa v surové vodě dosahovaly téměř  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . V průběhu testování se kvalita surové vody téměř neměnila a upravená voda vykazovala po optimalizaci procesních podmínek stabilní kvalitu a koncentrace železa se v upravené vodě pohybovaly hluboko pod limitem z vyhlášky č. 252/2004 Sb.

Koncentrace manganu v surové vodě byly, stejně jako v případě železa, velmi vysoké. Dosahovaly hodnot okolo  $2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a ze všech testovaných lokalit se tedy jednalo o lokalitu nejproblematičtější. Pro ilustraci jsou na obr. 8 zobrazena data, která poukazují na zásadní význam hodnoty pH pro důkladnou oxidaci manganu, i v přítomnosti manganistanu draselného. Při hodnotách pH 8,1–8,3 byly koncentrace manganu v upravené vodě do  $0,03 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , zatímco při nižším pH již koncentrace stoupaly a nedostatečná oxidace byla příčinou vyšších koncentrací manganu ve vodě upravené.



Obr. 6. Koncentrace železa v surové a upravené vodě



Obr. 7. Koncentrace mangantu v surové a upravené vodě

### Kvantitativní parametry

V tab. 1 jsou uvedeny provozní parametry spotřeby vody a elektrické energie v průběhu poloprovozních zkoušek. Jsou zde patrné nízké spotřeby vody na praní i samotná spotřeba elektrické energie. Spotřeba vody na praní se pohybuje v rozmezí 0,15–0,6 % z celkového objemu upravené vody. V dnešní době je velmi často zmiňována vysoká cena elektrické energie a z toho důvodu se při volbě vhodné technologie pohlíží častěji na samotnou spotřebu – technologie keramické membránové filtrace se vyznačuje velmi nízkou spotřebou okolo 0,15 kWh na 1 m<sup>3</sup> vyrobené vody.

**Tab. 1. Kvantitativní parametry provozu poloprovozního zařízení**

Lokalita	Spotřeba vody na praní systému	Spotřeba elektrické energie na m <sup>3</sup> vyrobené vody	Kyselé praní systému	Oxidační praní systému
č.1.	0,15 %	0,14 kWh	1×/týden	1×/2 týdny
č.2.	0,52 %	0,16 kWh	2×/týden	1×/2 týdny
č.3.	0,60 %	0,15 kWh	2–3×/týden	1×/týden

## ZÁVĚRY

Ze získaných výsledků vyplývá, že technologie keramické membránové filtrace, v kombinaci s injektory vzduchu, představuje spolehlivou a flexibilní technologii pro úpravu podzemních vod s vyššími koncentracemi železa a mangantu.

Zásadním faktorem je v tomto případě patřičná oxidace, které je dosaženo optimálním provzdušněním vody a případným dávkováním pomocných oxidačních činidel a činidel na úpravu hodnoty pH.

Nízká spotřeba elektrické energie a pracích vod představuje významnou úsporu provozních nákladů ve srovnání s konvenčními technologiemi.

## PODĚKOVÁNÍ

Děkujeme TAČR – TH04030402 – Odstraňování arsenu, hliníku, mangantu a železa pomocí membránové filtrace z povrchových či podzemních zdrojů pro účely úpravy na vodu pitnou.

## SEZNAM LITERATURY

1. Pitter, Pavel: Hydrochemie. 4th ed. Praha: VŠCHT Praha, 2009. P. 0001. ISBN 978-80-7080-701-9
2. Dolejš P., Dobiáš P.: Použití injektorů pro aeraci vody, Zborník prednášok z XV. konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, Trenčianske Teplice 8. -10. října 2013, s. 97–102, VodaTím s.r.o, ISBN 978-80-971272-1-3
3. Brabenec T., Hrušková P., Drda M., Munzar T.: Dva roky provozu keramické membránové filtrace na ÚV Trnová. Sborník konference Pitná voda 2018, Tábor. ISBN 978-80-905238-3-8
4. Hrušková P., Brabenec T., Paul J., Říhová Ambrožová J., Kosina J.: Provozní výsledky z keramické membránové filtrace na ÚV Strašice a Trnová. Sborník konference Pitná voda 2017, Tábor, s. 109-116. VodaTím s.r.o. Bratislava. ISBN 978-80-971272-5-1
5. Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

# TECHNOLÓGIE ÚPRAVY MORSKEJ VODY NA PITNÚ – ŠVÉDSKO

Ing. Mikuláš KRESCANKO<sup>1)</sup>, Dr.Ing. Vít SOVA<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ProMinent Slovensko, s.r.o., <sup>2)</sup> ProMinent Dosiertechnik CS, spol. s r.o.

E-mail: [krescanko@prominent.sk](mailto:krescanko@prominent.sk), [sova.vit@prominent.com](mailto:sova.vit@prominent.com)

Ostrov Öland je druhým najväčším ostrovom patriacim Švédsku. Nachádza sa v Baltickom mori. S pevninou je spojený 6 km dlhým cestným mostom. Rozloha ostrova je 1 342 km<sup>2</sup> s počtom obyvateľov 25 180 obyvateľov (r.2014).

V letnom období je ostrov vyhľadávaným letoviskom, v dôsledku čoho sa krátkodobé osídlenie zvýši na cca 300 000 obyvateľov. Geologicky je ostrov vápencovou planinou s miestami prerušovanými morénovými usadeninami. V posledných rokoch je stav podzemných vôd na ostrove kritický, najnižší od začiatku sledovania, teda za posledných 60 rokov. Zabezpečenie pitnej vody a bezpečnosť dodávok bolo riešené automobilovou prepravou z pevniny a obmedzeniami využívania vody – len pre účely varenia a pitia. Pre extrémny nedostatok pitnej vody a prílev turistov sa regionálna vláda rozhodla riešiť problém výstavbou odsolovacej stanice pri mestečku Sandvik, v severovýchodnej časti ostrova s výkonom 3000 m<sup>3</sup>/deň pitnej vody. Výstavba technológie prebiehala v rokoch 2016–2017.

Po vzore ostrova Öland sa regionálna vláda najväčšieho Švédskeho ostrova Gotland rovnako rozhodla o výstavbe odsolovacej stanice v rokoch 2018–2019. Dimenzovaný výkon stanice je 7500 m<sup>3</sup>/deň. Ostrov Gotland, situovaný v centrálnej časti Baltického mora, má rozlohu 2960km<sup>2</sup> s počtom približne 58 595 obyvateľov (2017).

Ostrov nie je len rekreačnou oblasťou, s 300 000 až 500 000 obyvateľmi v letnom období, ale má pre Švédsko aj strategický význam vďaka svojej polohe v oblasti Baltiku. Odsolovacia stanica je situovaná na západnej časti ostrova. Zásobuje pitnou vodou južnú časť ostrova a znižuje závislosť os podzemnej vody u spotrebiteľov severne smerom k hlavnému mestu Visby.

V oboch prípadoch je zdrojom bracká voda odoberaná priamo z mora. V prípade ostrova Gotland je odber v 12 m pod hladinou vo vzdialosti 1500 m od pobrežia. Na ostrove Öland je odber bližšie pobrežiu, no vo väčšej hĺbke. Odber a čerpanie morskej vody bolo realizované lokálnymi spoločnosťami. Rovnako aj stavebná časť úpravne a akumulácia produktovej vody. Technológia odsolenia je založená výhradne na membránových procesoch ultrafiltrácie a reverznej osmózy v on-line radení, bez potreby prevádzkových zásob a dodatočného čerpania medzi technologickými stupňami.

On-line koncepcia UF/RO si vyžadovala detailné procesné a bilančné modelovanie pre kontinuálnu výrobu vody a proces automatického prania a chemického čistenia membrán ultrafiltrácie. Bilančné modely garantujú stabilnú prevádzku ultrafiltrácie v optimálnych prevádzkových parametroch (flux, dĺžka filtračného cyklu, perióda a trvanie cyklu CEB) bez výkyvov alebo pretáženia zariadenia. Pri návrhu celého procesu úpravne boli využívané podporné softvéry pre dizajn membránových technológií, ale aj 3D CAD nástroje pre projekciu. Prvýkrát sme využili nástroj virtuálnej reality k prezentácii ergonómie, rozloženia zariadení a ovládacích prvkov.

V stupni ultrafiltrácie sme zvolili vertikálne membrány INGE multibore s vyššou mechanickou odolnosťou multi-kapilárnej membrány. V prípade membrán reverznej osmózy sme vyberali

z produktov troch renovovaných výrobcov. Porovnaním výpočtových modelov sme zvolili membrány s „Nominal Salt Rejection“ 99,7 %. Membrány sú prevádzkované pri tlaku 25–30 bar v závislosti od teploty vstupnej vody. Výťažnosť systému RO (Recovery) je 60 %. Kvalita odsolenej vody je rozsahu 150–350 $\mu$ S/cm taktiež v závislosti na teplote morskej vody.

Do návrhu technológie odsolenia silne brackických a morských vôd vstupujú špecifické faktory, s ktorými sa bežne pri úprave povrchových vôd nestretávame.

- Materiálová odolnosť zmáčaných častí technológií – napriek tomu, že Švédsko je známe ako svetová veľmoc v produkcií kvalitného nerezu, nie je tento materiál preferovaný v styku s morskou vodou. Chloridy obsiahnuté v silne brackických a morských vodách spôsobujú medzikryštalickú a jamkovú koróziu antikorových a legovaných CrNiMo ocelí. Alternatívou nerezových potrubí v časti zmáčaných morskou vodou je plast (PE-HD). Technickým a dodávateľským orieškom zostávajú časti vyšších tlakov u reverzných osmóz, čerpadlá a inštrumentácia. Náš trh štandardne neponúka široké portfólio produktov odolávajúcich morskej vode a tlakom. (Materiály odolávajúce vysokým koncentráciám chloridov, Austeniticko-feritické ocele – DUPLEX, Titán, Alloy C22.)
- Široký rozsah teplôt upravovanej morskej vody – vplyv teploty u membránových procesov hrá významnú rolu. Zmenou teploty vody dochádza k zmene jej viskozity a následne aj zmene tlakovej straty na membránach. V prípade danej aplikácie ide o rozsah 2–22°C. Na to nadvázuje potreba regulácie a vývoj riadiacich algoritmov technológie adaptujúcich sa na zmenu prevádzkových parametrov.
- Požiadavka na „ZELENÚ“ technológiu – jednou z hlavných požiadaviek zákazníka a prevádzkovateľa boli nízke prevádzkové náklady, energeticky a ekologickej úsporná prevádzka. Technológia Reverznej osmózy u morských alebo silne brackických vôd vyžaduje pomerne vysoké pracovné tlaky (20–64 bar). Energia dodaná do procesu sa stráca neškrtením toku na strane koncentrátu. Tlak na strane koncentrátu vychádzajúceho z membrán je asi o 2 bar nižší ako vstupný tlak na membránu. Jeho škrtením dochádza k strate, nevyužitiu energií. V prípade veľkých úpravní sú tieto energetické straty enormné. Riešením je rekuperácia energie koncentrátu tlakovým výmenníkom. Pri nominálnych prevádzkových podmienkach (15 °C) je kalkulovaná špecifická energetická spotreba cca 1,4 kW/m<sup>3</sup> vyrobeného permeátu bez rekuperácie alebo 0,85 kW/m<sup>3</sup> s použitím rekuperácie prostredníctvom systému ERD (Energy Recovery Device). Je to asi 40% úspora energií na stupni reverznej osmózy.
- Kvalita morskej vody – špecifiká kvality morskej vody a náročnosť úpravy nie je daná len zvýšenou vodivosťou (obsahom solí – TDS), ale aj vysokým obsahom vápnika a horčíka a tiež sezónnym výskytom morských rias a mikrobiálnym oživením, násobne vyším ako v prípadoch sladkých vôd. Obdobie rias je veľmi nepriaznivé pre proces úpravy týchto vôd. Riasy produkujú lepkavú organickú hmotu nazývanú TEP (Transparent Exopolymer Particals), ktorá blokuje prietokovosť filtračných stupňov. TEP vytvárajú organický lepkavý povlak na funkčných plochách membrán UF. Tým zvyšujú jej tlakovú stratu (TMP – Trans Membrane Pressure). Pre odstránenie povlaku má technológia integrovaný automatický chemický preplach (CEB) známy aj v prípadoch úpravy povrchových vôd s tým rozdielom, že u morských vôd je možné alkalické čistenie len do pH 9,5 (u sladkých vôd intenzívnejšie až do pH 12,3). Dôvodom je práve vysoký obsah Ca, Mg a tvorby vodného kameňa na membránach. Pri ultrafiltrácii sa pre zamedzenie organického zanášania membrán (biofouling) odporúča dávkovanie anorganického koagulantu na báze železa alebo hliníka. To však

z environmentálnych a legislatívnych dôvodov nebolo pri týchto projektov povolené. Správou vol'bu modelu chemického čistenia CEB, stanovením dávky čistiacich chemikálií, technológia odolala sezóne rias bez obmedzenia produkcie pitnej vody.

Prezentovať technológiu pre odsol'ovanie morskej vody sa zdá v našich zemepisných šírkach bezpredmetné. No vo svetle nových problémov s poklesom výdatnosti vodných zdrojov a hrozieb kontaminácie vodných zdrojov je vhodné tento pohľad prehodnotiť. Príkladom môžu byť aplikácie pre úpravu vód zaťažených pesticídmi, plastovými mikro a nanočasticami, hormónmi a inými nežiadúcimi látkami. Membránové separačné technológie na báze UF/NF/RO, v porovnaní s konvenčnými technológiami, dokážu bezpečne vyrábať pitnú vodu.

Poznatky o mikrobiálnom oživení v nadväznosti na procesy čistenia nám pomáhajú aj pri návrhu membránových technológií pri úprave sladkých povrchových vód. S podobnou problematikou sa stretávame pri vodárenských nádržiach s rizikom mikrobiálneho oživenia a tvorby rias a siníc.

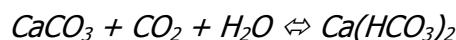
Technológia odsolenia vo vodárenstve je podmienená remineralizáciou pre získanie odporúčaných hodnôt obsahu vápnika, horčíka a alkality pre pitnú vodu a pre zníženie korozívnych vplyvov vody na distribučnú sieť.

Model remineralizácie odsolenej vody aplikovanej na ostrove Öland popisuje chemická rovnica:



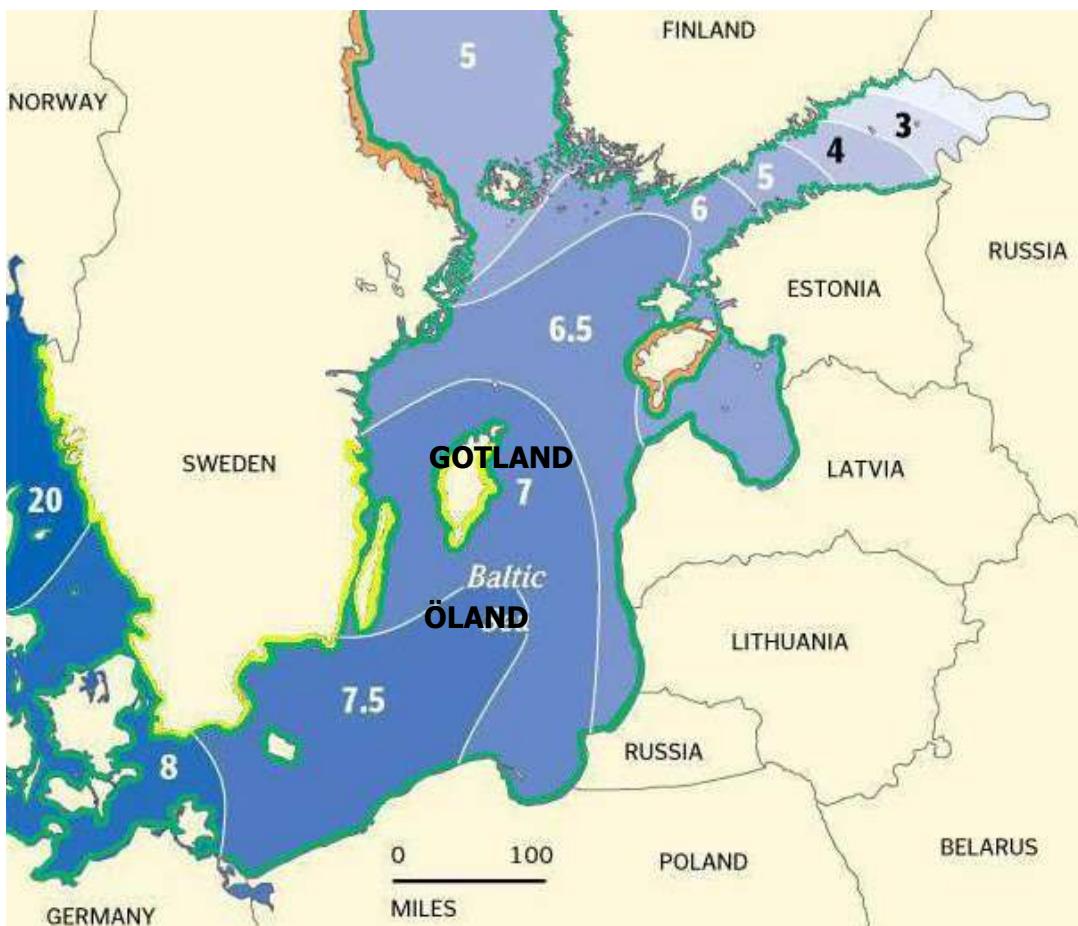
V prípade projektu Öland zákazník požadoval polovypálený dolomit (PVD) s vysokým obsahom Mg. Z dôvodu výškového osadenia technológie, voči rezervoárom vyrobenej pitnej vody, nebolo možné inštalovať jednoduché gravitačné kontaktné filtre. Pre tento projekt sme vyvinuli tlakové kontaktné remineralizačné filtre so spodným prúdením (UPFLOW) a systémom automatického dopĺňania PVD.

V prípade inštalácie na ostrove Gotland sme volili remineralizáciu na báze prietoku CO<sub>2</sub> nasýteného permeátu cez drvený vápenec plnený v gravitačných kontaktných filtroch. Zákazník preferoval tento spôsob pre dostupnosť lokálnych zdrojov vápenca.

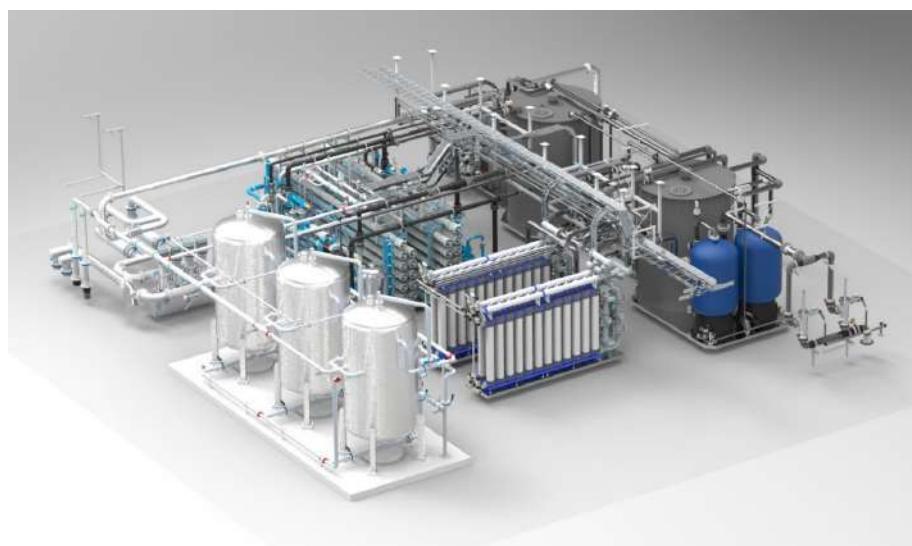


Proces remineralizácie známy ako „stvrdzovanie“ je využívaný aj v prípade našich povrchových vód s nízkou alkalinou. Remineralizácia pri sladkých vodách má rôzne formy – bud' kontaktnú (CaCO<sub>3</sub>, polovypálený dolomit) alebo riadené dávkovanie Ca(OH)<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, NaHCO<sub>3</sub>.

Pre hygienické zabezpečenie upravenej vody sú na výstupe z úpravne inštalované UV dezinfekčné lampy ProMinent Dulcodes. Tieto nízkotlakové UV lampy adaptujú svoj výkon pri zmenách prietoku pre optimálne využitie žiarenia.



Obr. 1. Baltické more – Vyjadrenie zasolenia Baltického mora v promile



Obr. 2. Vizualizácie technológie odsolenia pre ostrov Öland, Švédsko



Obr. 3. Vizualizácia technológie odsolenia pre ostrov Gotland, Švédsko



Obr. 4. Kontrola ergonómie a osadenia ovládacích prvkov technológie s použitím virtuálnej reality



Obr. 5. Pohľad na inštalovanú technológiu (Öland, Švédsko)



Obr. 6. Pohľad na inštalovanú technológiu (Gotland, Švédsko)

## ZÁVER

Projekt prezentovanej úpravne je ukážkou, že napriek absencii mora vie aj slovenská spoločnosť navrhnuť a dodať pre nás netypickú technológiu a uspokojiť požiadavku náročného zákazníka.

Dôležitosť tejto inštalácie pre švédskeho zákazníka dokazuje aj slávnostné spustenie úpravne Sandvik, Öland (6/2017) za účasti švédskeho kráľa Karola XVI. Gustáva. V jeho otváračej reči zaznelo „*Zabezpečenie prístupu k čistej vode pre všetkých je jednou z našich najväčších výziev.*“



Obr. 7. Švédsky kráľ Karol XVI. Gustáv (v strede) pri otváraní úpravne na ostrove Öland  
(Zdroj: [royalcourt.se](http://royalcourt.se))



**enviS PUR**  
hospodaříme s vodou



**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](http://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
- Mikrobublinská 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
- Čiřice EP-C, lamelová separace
- Atmosferické i tlakové filtry

  
Úprava  
vody



## OSTATNÍ SLUŽBY

- Vodní paprsek
- Laserový paprsek
- Výroba z plastu a oceli na míru
- Ohraňovací lis

  
Ostatní  
služby

## DEŠŤOVÝ PROGRAM

- Nádrže na dešťovou 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.

## RECYKLACE VODY

- Membránové technologie
- Pokročilé oxidační procesy
- Sorpce na GAU
- Poloprovozní testy
- Vodní audity





## GRUNDFOS CR 185, CR 215, CR 255

# PRO INŽENÝRY KDO MILUJE PORUŠOVÁNÍ HRANIC

*Nová generace velkých čerpadel Grundfos CR představuje tři nové velikosti až do 330 m<sup>3</sup>/h, prvotřídní účinnost a nové funkce.*

#### **Spolehlivější**

Nová generace velkých čerpadel CR se stala ještě robustnější než její předchůdci díky nejmodernější technologii v oblasti simulaci designu, materiálů, testování a výroby

#### **Cenově efektivnější**

Díky své hydraulické konstrukci – od oběžného kola a vodicích lopatek až po vstup, výtláčný otvor, manžetu a difuzor – nabízí nová generace Grundfos CR energetickou účinnost světové třídy. Vzhledem k malému půdorysu je instalace mnohem jednodušší a levnější než u jiných čerpadel.

#### **Více možností**

Nová generace vám dává ještě více možností pro nejmodulárnější program čerpadel na světě – včetně vyššího tlaku, nižší NPSH a použití standardních motorů. Nové CR jsou samozřejmě k dispozici také jako kombinovaný systém s vyhrazeným frekvenčním měničem CUE a systémem zesilovače.

# CHECKL

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

VODA  
TOPENÍ  
PLYN



## VÝROBA A VELKOOBCHOD

**16 PODOČEK:** 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



30  
let



- Dispečerský systém pro vodárenství
- Zpracování projektové dokumentace
- Kompletní dodávka řídicího systému
- Dodávka motorické elektroinstalace
- Realizace na více než 4000 objektech



ÚV Vyškov Dědice



ČOV Vodňany



ÚV Hradec Králové



**GDF spol s. r. o., Mostkov 28, 788 01 Oskava**  
**tel.: 583 301 811 ● gdf@gdf.cz ● www.gdf.cz**