75 LET
vodní hospodářství®
www.vodnihospodarstvi.cz
ročník 75
10
2025

Konference Nové trendy v čistírenství 2025:

ODBORNÍCI SE SETKALI POPRVÉ NA LIPNĚ!

enviSpur

26.–27. 2. 2026 Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod.
Konference. Křtiny. Info: foller@adchem.cz
Připravujeme přehled vodohospodářských akcí v roce 2026. Prosím organizátory, aby o nich informovali na stransky@vodnihospodarstvi.cz.
Základní informace uveřejníme zdarma.

PŘÍLOHA
KRAJINNÝ INŽENÝR

pumpa®

SPOLEHLIVÝ PROVOZ
TLAKOVÉ KANALIZACE

S vřetenovými čerpadly
PUMPA INOX MORAVA

Čerpadla **PUMPA INOX MORAVA** jsou určena k instalaci do přečerpávací jímky. Jsou ideální pro rodinné domy, chaty nebo provozy, kde je potřeba čerpat odpadní vody do tlakové kanalizace. Po naplnění jímky systém automaticky odčerpá obsah pomocí výkonného vřetenového čerpadla s řezacím zařízením. Díky vysoké spolehlivosti a jednoduché údržbě představují čerpadla **PUMPA INOX MORAVA** ideální řešení pro tlakové kanalizace.

ČESKÝ VÝROBEK

PROČ ČERPADLA **PUMPA?**

SPOLEHLIVOST A DLOUHÁ ŽIVOTNOST

Celonerezové provedení a kvalitní zpracování zaručují bezproblémový provoz.

ŘEŠENÍ PRO NÁROČNÉ INSTALACE

Optimální volba pro komplikované aplikace – provedení HD s unikátním řezacím zařízením

VYROBENO V ČR

S důrazem na každý detail a použití nejkvalitnějších materiálů.

SERVISNÍ A TECHNICKÁ PODPORA

Zajistíme rychlý a pravidelný servis, technickou podporu a dostupnost náhradních dílů.

IDEÁLNÍ NÁHRADA

Náhrada za čerpadla Sigma EFRU, Noria LUCA a Presskan.

Poradíme vám s vaším projektem

Ing. Jan Zedníček
Ředitel divize Čistá a špinavá voda
PUMPA, a.s.

e-mail: **zednicek@pumpa.cz**
tel.: **+420 725 170 302**

www.pumpa.cz

75 let časopisu Vodní hospodářství: slavnostní poselství

Vážené kolegyně, vážení kolegové, vážení čtenáři,

s radostí a hrdostí si připomínáme, že časopis Vodní hospodářství slaví 75 let od svého založení. Toto významné výročí jsme společně s redakční radou uctili při zasedání dne 10. září 2025 v inspirativním prostředí Lávka na Novotného lávce.

Sedm a půl desetiletí není jen číslo – je to svědectví o vytrvalosti a práci mnoha generací odborníků, editorů, autorů i čtenářů. Od poválečných let, kdy se rodila myšlenka systematického rozvoje našeho oboru, až po dnešek, kdy čelíme výzvám sucha, povodní a změny klimatu, byl náš časopis věrným průvodcem české vodohospodářské vědy a praxe.

Vodní hospodářství se za tu dobu stalo platformou pro sdílení poznatků a mostem mezi teorií a praxí, mezi univerzitami, výzkumem, podniky i státní správou. Každé číslo je dokladem toho, že česká vodohospodářská komunita dokáže diskutovat a hledat řešení.

Dnes je naší povinností poděkovat všem, kdo stáli u jeho zrodu, pečovali o jeho vydávání a vtiskli mu moderní podobu. Bez jejich práce a nadšení bychom zde dnes nebyli.

Dovolte nám vyslovit přání:

- aby časopis Vodní hospodářství i nadále inspiroval nové generace odborníků,
- aby byl zdrojem poznatků i hrdosti na naše povolání,
- a aby si zachoval to nejcennější – odbornou kvalitu, otevřenost a důvěryhodnost.

Sedmdesát pět let je úctyhodná tradice, která však není závěrem, ale pevným základem pro budoucnost. Věříme, že časopis bude i nadále svědectvím o tom, že voda – tento nenahraditelný dar – si zaslouží naši nejvyšší péči.

Děkujeme vám za vaši přízeň a přejeme časopisu mnoho dalších úspěšných let!

Za redakční radu:

prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.
předseda redakční rady

Ing. Václav Stránský
šéfredaktor časopisu

vodní hospodářství 10/2025

OBSAH

- **Antibakteriální úprava nylonových filtrů pomocí tenkých kovových vrstev nanesených magnetronovým naprašováním (Svobodová, L.; Krafka, M.; Krobotová, A.; Mrózek, M.; Kejzlar, P.)** **1**
- **Řešení kuriózního případu: výskyt aktivního chloru v podzemní surové a povrchové vodě (Kotal, F.; Jeligová, H.; Kožíšek, F.)** **5**
- **Vliv tvrdosti vody na lidské zdraví (Bartoň J.; Beňová, N.; Cvečková, V.; Čermák P.; Rapant, S.)** **7**
- **Měření rychlosti vodního proudu přenosnými ultrazvukovými měřidly v profilech s volnou hladinou. 1. část (Žoužela; M.; Zubík; P.; Šulc, J.; Khainová, R.; Orság, P.; Vachta, V.)** **11**
- **Různé**
- Česká technologie pro Ukrajinu: Dodávky kontejnerových úpraven vody od společnosti EKOSYSTEM, spol. s r. o (Keclík, F.) 16
- Poslední třetina. Co mě napadalo nad starými čísly Vodního hospodářství? (Stránský, V.) 22
- Nové trendy… (Stránský, V.) 23
- **Firemní prezentace**
- Technické plyny pro zlepšení kvality pitné vody (Bek, D.) 17
- Ultračistá voda pro analýzu PFAS: řešení pro vodní hospodářství (Janouch, M.) 19
- Sekací čerpadla Vaughan – spolehlivé řešení malých cirkulací vyhnívacích nádrží (Bujárek, R.) 20
- Účinná redukce fosforu v terciárním stupni ČOV pomocí lamelového separátoru a kontinuální pískové filtrace (Ježek, S.) 21

Krajinný inženýr
- **Rybníky 2025 (David, V.)** **28**
- **Nová základní škola Pod Beckovem: střešní kořenová čistírna odpadních vod (Perlinger, O.)** **31**

CONTENTS

- **Antibacterial modification of nylon filters using thin metal layers deposited by magnetron sputtering (Svobodová, L.; Krafka, M.; Krobotová, A.; Mrózek, M.; Kejzlar, P.)** **1**
- **Solving a curious case: the occurrence of active chlorine in raw groundwater and surface water (Kotal, F.; Jeligová, H.; Kožíšek, F.)** **5**
- **The impact of water hardness on human health (Bartoň J.; Beňová, N.; Cvečková, V.; Čermák P.; Rapant, S.)** **7**
- **Water velocity measurements with portable ultrasonic instruments in open channel profiles, 1st part (Žoužela; M.; Zubík; P.; Šulc, J.; Khainová, R.; Orság, P.; Vachta, V.)** **11**
- **Miscellaneous** **16, 21, 23**
- **Company section** **17, 19, 20, 21**

Landscape engineer
- **Miscellaneous** **28, 31**

Uveřejněné články jsou otevřeny k diskusi do 31. prosince 2025. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky laskavě zasílejte na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

SOKOFLOK
„ČISTÁ VODA NÁŠ CÍL"
JIŽ VÍCE NEŽ 30 LET NA TRHU v České a Slovenské republice
Společnost SOKOFLOK
tuzemský dodavatel vysoce účinných organických flokulantů, koagulantů a dalších speciálních chemikálií pro úpravu a čištění vod (SOKOFLOK®, FLOERGER®)
adresa: Tovární 1362, 356 01 Sokolov, Česká republika
telefon: (+420)35235071-715, fax: (+420)352623178
e-mail: sokoflok@sokoflok.cz web: www.sokoflok.cz

TECHNOAQUA
Výhradní zastoupení pro ČR a SR
TD ISCO, AQUALABO GROUPE,
EUREKA WATER PROBES, IJINUS
- měření průtoku na odlehčení
- automatické vzorkovače
- průtokoměry
- monitorovací stanice
- měřící přístroje, sondy
- pronájem, monitoring
- servis, školení

č. p. 332, 252 41 Libeř
e-mail: mail@technoaqua.cz, www.technoaqua.cz

MBBR
Moving Bed Biofilm Reactor
www.pro-aqua.cz

VODOMĚRNÁ ŠACHTA
TERMOIZOLAČNÍ
SVODA
... ani kapka nazmar
- **Půdorys** 650 x 450 mm
- **Výška** 1000 nebo 1200 mm
- **Pro vodoměry** DN 15 – 32
- **Kvalitní** sedlové ventily nebo kulové kohouty
- **Plastové** a **litinové** poklopy
- **Velká variabilita sestav**

www.svoda.cz

Antibakteriální úprava nylonových filtrů pomocí tenkých kovových vrstev nanesených magnetronovým naprašováním

Lucie Svobodová, Michal Krafka, Anna Krobotová, Magdalena Mrózek, Pavel Kejzlar

Abstrakt

Zajištění hygienické bezpečnosti při filtraci vody bez použití chemických dezinfekčních látek představuje klíčovou výzvu vodního hospodářství. Tato studie představuje moderní přístup funkční úpravy povrchu běžných filtračních materiálů (vybrán nylonový filtr) pomocí tenkých kovových vrstev nanesených DC magnetronovým naprašováním, což umožňuje dosáhnout výrazné antibakteriální účinnosti bez omezení filtračních schopností. Na filtrační substráty byly aplikovány vrstvy CuAg, Cu, Ti nebo Zr a byla analyzována změna jejich struktury, tloušťky, smáčivosti a vliv na filtrační rychlost. Výsledky ukazují, že zejména vrstvy typu CuAg výrazně redukují životaschopnost testovaných bakterií *Escherichia coli* a *Micrococcus luteus*, a to s účinností 99 % a 100 %, na povrchu filtru i ve filtrátu. Současně bylo prokázáno, že povrchová úprava nemá negativní vliv na pórovitost ani na průtokové vlastnosti filtru. Výzkum poukazuje na to, že tenké kovové vrstvy nanesené metodou PVD jsou ekologicky příznivý přístup s potenciálem pro budoucí generaci filtračních systémů.

Klíčová slova

filtrace – tenká kovová vrstva – magnetronové naprašování – nylonový filtr – antibakteriální účinnost

1. Úvod

Zajištění mikrobiologicky bezpečné vody je jedním z nejdůležitějších úkolů současného vodního hospodářství. Tradiční metody dezinfekce, jako jsou chlorace, ozonizace nebo použití UV záření, sice vykazují vysokou účinnost, ale zároveň nesou určitá rizika. Vedlejší produkty chlorace mohou být toxické či karcinogenní, ozon je reaktivní plyn s krátkou dobou účinku a UV systémy vyžadují stabilní provozní podmínky. Vzhledem k rostoucímu tlaku na udržitelnost, environmentální šetrnost a snížení spotřeby chemikálií roste zájem o alternativní metody zabezpečující mikrobiální kvalitu vody, které by byly efektivní, dlouhodobě stabilní a zároveň technologicky kompatibilní s existujícími systémy úpravy vody.

Jedním z nadějných řešení je fyzikálně-chemická modifikace filtračních materiálů, například polymerních membrán, které se používají k zachycení mechanických i biologických kontaminantů v různých průmyslových aplikacích. Nylonové filtry (polyamid 6.6) patří k běžně dostupným a široce využívaným typům, a to zejména díky své jemné porozitě, vysoké mechanické pevnosti, chemické odolnosti a příznivé ceně. Nicméně jejich pasivní povrchová aktivita vůči mikroorganismům může vést k mikrobiálnímu osídlení a v čase k tvorbě biofilmu, což snižuje účinnost a zkracuje životnost zařízení. Zlepšení těchto vlastností je zásadní pro aplikace vyžadující vysokou úroveň čistoty a spolehlivosti, jako jsou farmaceutický průmysl, zpracování potravin aj. [1–3]

V tomto kontextu se ukazuje jako velmi slibné využití tenkých vrstev kovů s inherentními antibakteriálními vlastnostmi. Kovy jako měď, stříbro, titan nebo zirkonium, případně jejich slitiny či oxidy, vykazují dobře známou schopnost inhibovat růst bakterií a jiných mikroorganismů, a to ve formě (nano)částic i ve formě tenkých vrstev. [4, 5] Jedním ze způsobů, jak tyto vlastnosti využít při zachování funkčnosti membrán, je jejich aplikace pomocí DC magnetronového naprašování. Jedná se o metodu fyzikální depozice z plynné fáze (PVD), která umožňuje vytvoření ultratenkých, kompaktních a dobře adhezních vrstev bez poškození polymerního substrátu (teploty jsou blízké pokojové teplotě) [3–5]. Metoda nevyžaduje použití žádných chemických činidel ani rozpouštědel, což z ní činí ekologicky šetrnou a technologicky čistou metodu funkční úpravy povrchů, výhodou je také precizní řízení tloušťky, složení i morfologie nanášené vrstvy, což zajišťuje opakovatelné výsledky a stabilní povrchové vlastnosti. Magnetronové naprašování je navíc kompatibilní s průmyslovým měřítkem a nabízí vysokou prostorovou homogenitu vrstev i možnost úpravy složitých geometrických tvarů. Tato metoda se v současné době hojně využívá k vytváření antibakteriálních povrchů pro potravinářský průmysl, textilní povrchy, lékařské přístroje (protézy, zdravotnické vybavení) a další [6]. Rovněž se zkoumají trendy a inovace PVD v oblasti filtrační technologie (separace částic, čištění vzduchu a vody) s možností aplikace na různé typy filtrů (netkané textilie, vlákna, polymery, sklo atd.) [7, 8].

Cílem této studie je ověřit technickou proveditelnost funkční modifikace běžně dostupných nylonových filtrů metodou DC magnetronového naprašování za účelem zavést antibakteriální účinnost jejich povrchu prostřednictvím tenkých vrstev kovů CuAg, Cu, Ti nebo Zr. Výsledky studie prokazují, že fyzikální depozice kovových vrstev představuje slibný a technologicky realizovatelný přístup k vývoji nové generace pasivně antibakteriálních filtračních systémů, které propojují principy materiálového inženýrství s aktuálními požadavky moderních technologií úpravy vody.

2. Materiály a metody

Pro ověření funkční úpravy povrchu byly zvoleny běžně dostupné nylonové membránové filtry (PA, Fisherbrand™ 0464A00023) s porozitou 0,45 μm, průměrem filtru 47 mm a tloušťkou 150–187 μm, vyrobené z polyamidu 6.6. Tyto filtry se standardně využívají v obecné laboratorní filtraci i v lékařských aplikacích.

Modifikace povrchu byla provedena metodou DC magnetronového naprašování v povlakovacím zařízení NP 70 (KWS CZ s.r.o.) za použití targetů z materiálů: slitina mědi se stříbrem (CuAg, s poměrem prvků Cu 42 at.% a Ag 58 at.%), čistá měď (99,9 at.% Cu), titan (99,5 at.% Ti), zirkonium (99,5 at.% Zr). Jako pracovní plyn byl využit argon; pracovní tlak byl 0,13 Pa; čas depozice 2,5 minuty; výkon byl 0,9 kW nebo 0,4 kW, a to s cílem depozice dvou různých tlouštěk vrstev na filtr. Tloušťka vrstev byla sledována v průběhu depozice pomocí krystalového mikrováhového senzoru (QCM, Quartz Crystal Microbalance) umístěného v depoziční komoře. Vzorky byly označeny podle použitého materiálu a výkonu naprašování, například CuAg.9 označuje vrstvu CuAg nanesenou při výkonu 0,9 kW.

Charakterizace povrchu vzorků a analýza chemického složení nanesených vrstev byly provedeny pomocí skenovací elektronové mikroskopie (SEM) na přístroji Carl Zeiss ULTRA Plus vybaveném energiově disperzní spektrometrií (EDS). Pro minimalizaci vlivu substrátu na výsledky EDS analýzy byly vrstvy deponovány na křemíkový wafer s přesně definovaným chemickým složením. Průměr pórů filtru byl vyhodnocen ze SEM snímků pomocí obrazové analýzy ve výpočetním prostředí Matlab (The MathWorks, Inc.). U každého vzorku bylo analyzováno pět různých oblastí a vždy byly hodnoceny všechny póry v obraze.

Povrchová topografie byla analyzována pomocí konfokálního 3D optického mikroskopu S Neox (SENSOFAR). Výškové parametry drsnosti byly hodnoceny v souladu s normou ISO 25178, přičemž pozornost byla zaměřena na parametr maximální výšky profilu (*Sz*) a parametr špičatosti rozdělení výšek (*Sku*), který poskytuje informaci o tvaru povrchových nerovností. Na každém vzorku bylo provedeno pět měření v různých oblastech.

Smáčivost povrchu byla hodnocena měřením statického kontaktního úhlu na zařízení Surface Energy Evaluation System. Jako testovací kapalina byla použita destilovaná voda o objemu 3 μl aplikovaná kapkovou metodou. U každého vzorku bylo provedeno deset opakovaných měření v různých oblastech povrchu, aby byla zohledněna případná povrchová heterogenita.

Rychlost filtrace a antibakteriální účinnost filtrů byly stanoveny za použití laboratorní filtrační soupravy PSF NALGENE (P-LAB a.s.) připojené k membránovému čerpadlu (Laboport KNF N86) nastavenému na podtlak 160 mbar. Testy byly prováděny s objemem 20 ml bakteriálního roztoku, připraveného smísením 400 ml sterilního fyziologického roztoku a 4 ml bakteriální suspenze o koncentraci 0,5 McFarlanda (ověřeno denzitometrem).

Jako testovací organismy byly použity kmeny *Escherichia coli* (CCM 3954, dále označeno jako EC) a *Micrococcus luteus* (CCM 144, dále

označeno jako ML), získané z České sbírky mikroorganismů. Vzorky filtrátu i filtrační membrány byly aplikovány na selektivní agarová média (Mueller-Hinton pro ML a MacConkey agar pro EC) a inkubovány při teplotě 37 °C po dobu 24 hodin (EC) a 48 hodin (ML). Test zahrnoval jak měření doby potřebné k přefiltrování roztoku, tak i následné vyhodnocení antibakteriální účinnosti: ve filtrátu (na základě hodnocení počtu kolonií tvořících jednotek, CFU) a na povrchu filtru (pomocí obrazové analýzy pokrytí povrchu filtru bakteriemi, provedené v prostředí Matlab, The MathWorks, Inc.). Antibakteriální účinnost byla vyjádřena jako procentuální redukce životaschopnosti bakterií ve srovnání s neupraveným referenčním filtrem (označeno jako Reference nebo Ref.), který nevykazuje žádnou inhibiční aktivitu (tj. 0 %).

Počet měření pro jednotlivé vzorky je uveden u každé použité metody (viz výše). Výsledky byly graficky vyhodnoceny pomocí box-plotů, které slouží k přehledné vizualizaci rozptylu a rozložení dat. Vodorovná čára uvnitř boxu představuje medián (střední hodnotu datového souboru). Symbol kříže označuje aritmetický průměr. Osamocené body mimo hlavní box odpovídají odlehlým hodnotám, které výrazně vybočují od většiny měření. Boxy představují mezi-kvartilové rozpětí (Q1–Q3), ve kterém se nachází 50 % naměřených hodnot. Svislé tzv. „vousy“ ukazují minimální a maximální hodnoty bez odlehlých bodů. Rozdíl mezi mediánem a průměrem může signalizovat, že data neodpovídají normálnímu rozložení, což je důležité při volbě statistického hodnocení.

3. Výsledky a diskuse

3.1. Tloušťka vrstev

Tab. 1 uvádí tloušťky tenkých vrstev stanovené metodou QCM. Naměřené hodnoty jednoznačně potvrzují závislost tloušťky na výkonu naprašování – při vyšším výkonu 0,9 kW bylo dosaženo silnějších vrstev než při výkonu 0,4 kW, což je plně v souladu s pracemi, např. [9]. Největší tloušťka byla naměřena u vzorku CuAg.9 (40 nm), zatímco nejtenčí vrstvy (2–4 nm) byly zaznamenány u titanu a zirkonia. Tento rozdíl je dán především vyšší rychlostí odprašování slitiny CuAg ve srovnání s čistými kovy, což odpovídá fyzikálním vlastnostem targetového materiálu a potvrzují to i další zdroje [10–12].

Na **obr. 1** jsou zachyceny filtry před/po povrchové úpravě, přičemž každý snímek představuje polovinu jednotlivého filtru. Barevné odstíny a optický vzhled povrchu odrážejí použitý kovový materiál a tloušťku nanesené vrstvy. Referenční vzorek (Ref.) bez úpravy má čistě bílý vzhled a slouží jako vizuální kontrola. Vzorky ve druhé až čtvrté pozici vykazují výrazně tmavší, kovově šedý odstín typický pro vrstvy obsahující slitinu CuAg nebo čistou měď. Poslední čtyři vzorky (vpravo) jsou vizuálně téměř nerozeznatelné od referenčního filtru, což odpovídá přítomnosti velmi tenkých vrstev titanu a zirkonia. Tyto materiály mají nízkou optickou denzitu a při nanesení v rozsahu několika nanometrů jsou pro oko prakticky neviditelné. Cílem této dokumentace bylo poskytnout vizuální důkaz o rovnoměrnosti a homogenitě pokrytí povrchu filtračních membrán.

3.2. Rastrovací elektronová mikroskopie s EDS analýzou

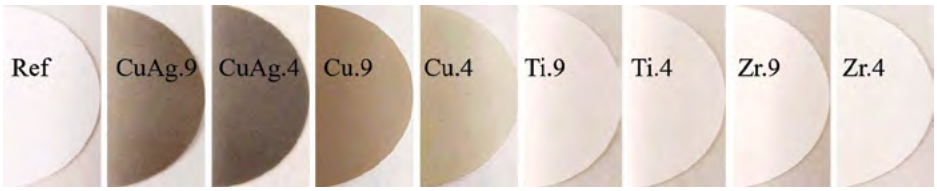
U vzorků s vrstvami CuAg byla prostřednictvím EDS analýzy stanovena průměrná atomová koncentrace mědi a stříbra (Cu:Ag = 41:59 pro CuAg.9 a 42:58 pro CuAg.4), což odpovídá složení výchozí slitiny a potvrzuje homogenní distribuci prvků ve vrstvě. Analýza povrchu pomocí SEM byla zaměřena na hodnocení mikrostruktury filtračních membrán a případných změn pórovité struktury (**obr. 2**). SEM snímky ukazují, že u všech vzorků zůstává základní morfologie substrátu zachována a nedochází k viditelnému uzavírání pórů ani k jejich deformaci či k degradaci struktury membrány.

Kvantitativní vyhodnocení velikosti pórů bylo provedeno analýzou obrazu ze SEM snímků. Box-plot na **obr. 3a** znázorňuje distribuci velikosti pórů napříč všemi vzorky. Hodnoty referenčního vzorku odpovídají deklarované porozitě filtru (vyhodnoceno 453 nm), rozptyl vyhodnocen v intervalu 260–581 nm; maximální hodnota 1611 nm. U většiny vzorků s nanesenou kovovou vrstvou nebylo zjištěno statisticky významné snížení průměrné velikosti pórů oproti referenčnímu vzorku. Průměrné hodnoty většiny modifikovaných vzorků (označeno symbolem kříže v grafu) leží v pásmu vymezeném zelenou a červenou čárou, které reprezentují ±20% odchylku od průměru referenčního filtru.

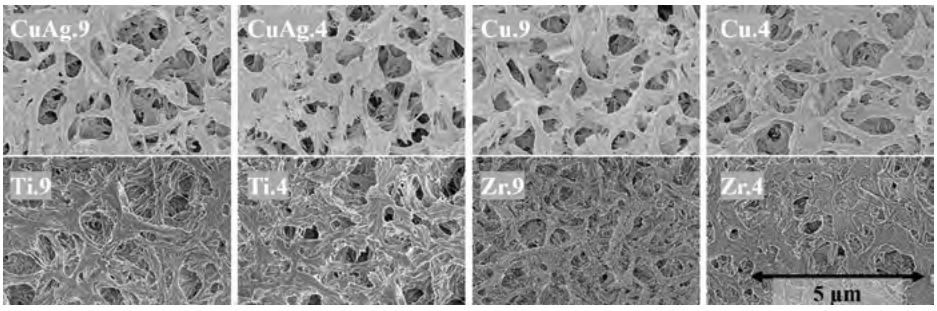
Nejvyšší průměrná hodnota byla zjištěna u vzorku CuAg.4 (483 nm), který vykazoval i největší rozptyl dat, což může souviset s heterogenitou morfologie vrstev CuAg při nižším výkonu naprašování (nižší depoziční rychlost). Snížení velikosti póru bylo pozorováno u vzorků Ti.4, Zr.9, Zr.4 (s průměrem velikosti póru 341, 300 a 336 nm a rozptylem hodnot cca 167–433 nm), přičemž stále ještě nedošlo k úplnému uzavření pórů nebo ztrátě funkčnosti filtru (hodnoceno níže). Redukce velikosti pórů nemusí být nutně nežádoucí, pokud zůstane zachována dostatečná rychlost filtrace nebo tím dojde k za-

Tab. 1. Tloušťka tenkých vrstev stanovena dle metody QCM

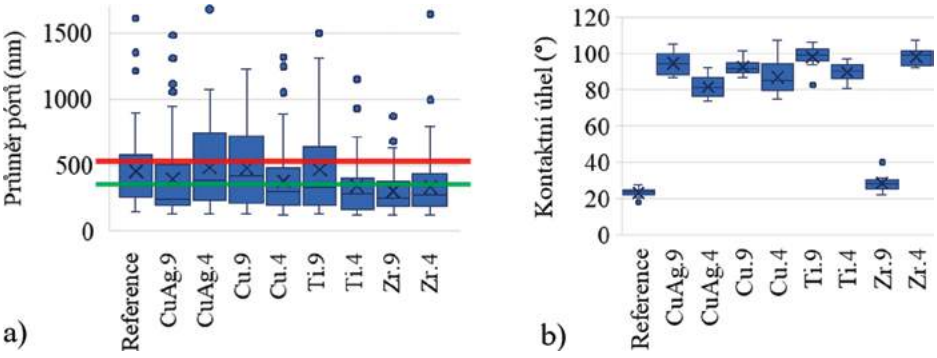
Tenká vrstva	Ref.	CuAg.9	CuAg.4	Cu.9	Cu.4	Ti.9	Ti.4	Zr.9	Zr.4
Tloušťka (nm)	0	40	13	20	8	4	2	4	3



Obr. 1. Fotodokumentace povrchu filtrů, uvedeno postupně dle tabulky 1 (nasnímána polovina filtru, rozměr filtru 47 mm)



Obr. 2. SEM snímky povrchu filtrů při zvětšení 10 000× (měřítko 5 μm). Snímky dokumentují zachování pórovité struktury membrány po depozici vrstev. Změna kontrastu a ostrosti snímků je v důsledku rozdílných interakcí elektronového svazku s povrchem vrstvy o různém složení



Obr. 3. (a) Box-plot velikosti pórů dle analýzy obrazu ze SEM snímků; červená vodorovná čára znázorňuje hodnotu o 20 % vyšší než deklarovaná porozita filtru (0,45 μm), zelená čára odpovídá hodnotě o 20 % nižší. (b) Box-plot kontaktních úhlů, charakterizujících smáčivost povrchu filtrů

vedení nové funkcionality. Snížení velikosti pórů po nanesení tenké vrstvy bylo popsáno i v literatuře [7], kde autoři uvádějí jen minimální zmenšení efektivní velikosti pórů při tloušťkách vrstvy do 50 nm.

3.3. Smáčivost povrchu

Graf na **obr. 3** zobrazuje hodnoty kontaktního úhlu jako míru smáčivosti povrchu filtrů před a po modifikaci tenkými kovovými vrstvami. Referenční filtr má výrazně hydrofilní charakter s průměrným kontaktním úhlem cca 23°, což je typické pro čistý nylonový povrch (polyamid 6.6). Po úpravě pomocí DC magnetronového naprašování se kontaktní úhel u všech vzorků s výjimkou Zr.9 zvýšil nad 90°, což odpovídá přechodu k hydrofobnímu chování. Zr.9 si zachoval hydrofilní charakter (cca 28°), což může souviset s velmi tenkou nebo nesouvislou vrstvou zirkonia na povrchu filtru, nebo došlo k chybě měření. Vyšší výkon (vzorky označené „.9“) dosahují vyšších kontaktních úhlů. Tento trend je konzistentní s výsledky popsanými v literatuře [12].

3.4. Parametry drsnosti povrchu

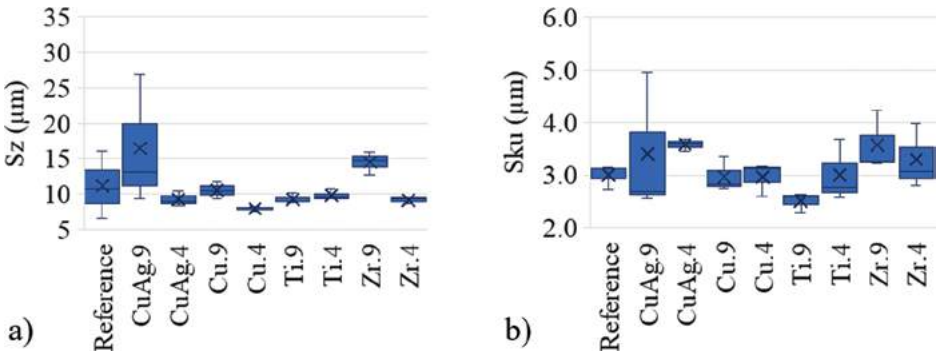
Výsledky analýzy topografie povrchu filtrů jsou prezentovány ve formě box-plotů parametrů *Sz* (maximální výška povrchu) a *Sku* (špičatost, tzv. kurtóza rozdělení výšek) na **obr. 4**.

Po modifikaci povrchu došlo u *většiny* vzorků ke snížení *Sz* (na ~ 9–11 μm), což může svědčit o částečném „vyhlazení“ povrchu vlivem nanesené vrstvy. Výjimkou je vzorek CuAg.9, kde je dosažena výrazně vyšší hodnota *Sz* i široké rozpětí hodnot (11–20 μm), což odráží morfologickou nerovnoměrnost při depozici silnější vrstvy.

Hodnoty špičatosti *Sku* většiny vzorků jsou blízké hodnotě 3, což dokazuje, že tyto vrstvy mají na povrchu obdobné rozložení špičatosti s normálním rozdělením výšek. Rozdíly mezi jednotlivými vzorky nejsou statisticky významné. Největší hodnota *Sku* byla zaznamenán u vzorku CuAg.4, což může souviset s heterogenitou morfologie slitiny CuAg při nižším výkonu naprašování. Při nižším výkonu (nižší depoziční rychlosti) může docházet k neúplné nebo nesouvislé formaci vrstvy, případně k tvorbě ostrůvkovitých struktur, což se následně odráží v lokální změně geometrie povrchu (ostrý a pórovitý). Obdobný trend je popsán v článku [11].

3.5. Filtrační rychlost vzorků

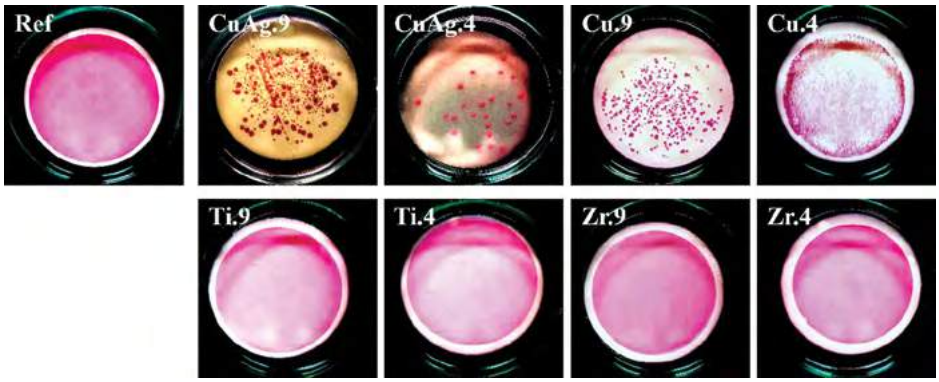
Z výsledků uvedených v **tab. 2** je patrné, že modifikace filtrů tenkými vrstvami kovů ovlivnila rychlost filtrace v závislosti na typu naneseného materiálu, tloušťce vrstvy (dané použitým výkonem) a použitém bakteriálním kmeni (EC ~ 2–3 μm; ML ~ 0,5–2,5 μm). Referenční filtr vykazoval dobu filtrace v rozmezí 6,8–6,9 s. V průběhu filtrace s kmenem EC byl zaznamenán delší čas filtrace (až o 90 % oproti referenci), zatímco pro ML byl nárůst maximálně do 50 %. Nejvýraznější prodloužení filtrace bylo pozorováno u vzorků s vrstvami obsahujícími měď, a to v přímé souvislosti se zvyšující se tloušťkou vrstvy (resp. použitým výkonem). Vzorky modifikované titanem a zirkoniem si udržely dobu filtrace velmi blízkou hodnotám referenčního vzorku (cca 6,3–8,6 s), což naznačuje, že tyto vrstvy neovlivnily propustnost ani průtokovou charakteristiku filtrů za uvedených testovaných podmínek.



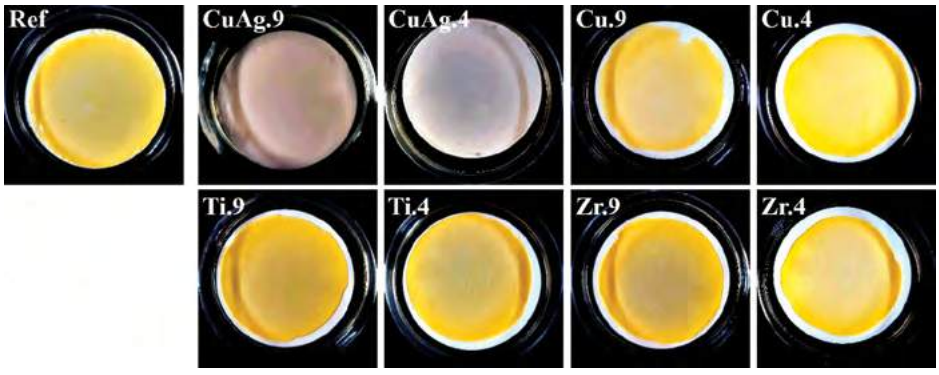
Obr. 4. (a) Maximální výška povrchu (Sz); (b) Špičatost povrchu (Sku) – hodnocení pomocí konfokální mikroskopie

Tab. 2. Hodnocení času filtrace roztoku a výsledky antibakteriální účinnosti

Typ filtru	Čas filtrace (s)		Antibakteriální účinnost filtru, stanoveno na filtru (%)		Antibakteriální účinnost filtru, stanoveno ve filtrátu (%)	
	EC	*ML*	*EC*	*ML*	*EC*	*ML*
Reference (substrát)	6,9	6,8	0	0	0	0
CuAg.9	13,2	7,6	90	100	82	100
CuAg.4	7,6	7,3	99	100	100	100
Cu.9	11,9	10,1	91	5	79	50
Cu.4	12,2	7,0	71	13	68	100
Ti.9	7,8	6,4	2	5	89	100
Ti.4	7,6	6,3	3	1	96	100
Zr.9	8,0	7,2	3	10	96	100
Zr.4	8,6	6,9	1	18	96	50



Obr. 5. Fotodokumentace povrchu filtrů po provedení filtrace a inkubace pro EC



Obr. 6. Fotodokumentace povrchu filtrů po provedení filtrace a inkubace pro ML

3.6. Hodnocení antibakteriálních účinnosti filtrů

Z hlediska antibakteriální účinnosti (**tab. 2**) vykazovaly nejvyšší hodnoty vzorky s obsahem CuAg, a to s účinností jak na povrchu filtru, tak ve filtrátu. Zejména vzorek CuAg.4 dosáhl 99–100 % redukce životaschopnosti EC i ML, při zachování přijatelné doby filtrace (**obr. 5, 6**).

Vzorek CuAg.9 vykazoval delší dobu průtoku (až o 90 %), ale rovněž potvrdil vysokou antibakteriální účinnost (> 80 %) u obou kmenů. Filtry upravené pouze mědí (Cu.9 a Cu.4) dosáhly nižší a nerovnoměrné účinnosti: účinnost vůči EC dosahovala 68–91 %, účinnost vůči ML byla výrazně nižší, zejména na povrchu filtru (pouze 5–13 %, **obr. 6**).

Zajímavé výsledky přinesly vzorky modifikované titanem a zirkoniem. Tyto materiály sice neprokázaly téměř žádnou antibakteriální aktivitu na samotném povrchu filtru (účinnost 1–18 %), nicméně ve filtrátu vykazovaly velmi vysoké hodnoty účinnosti až 100 %. Tento jev může naznačovat, že během filtrace dochází k uvolňování iontů do roztoku, které inhibují životaschopnost bakterií, nebo že došlo k snížení velikosti pórů.

Celkově výsledky ukazují, že antibakteriální účinnost je výrazně ovlivněna nejen chemických složením, ale také tloušťkou vrstvy. Vyšší tloušťka vrstvy však neměla vždy vyšší antibakteriální účinek – například vzorek CuAg.4 s tenčí vrstvou byl účinnější než silnější vrstva CuAg.9, což poukazuje na komplexní vztah mezi morfologií povrchu, uvolňováním iontů a interakcí s mikroorganismy. Závěry této studie jsou v souladu s předchozími pracemi [3–5], které také zaznamenaly vysokou antibakteriální účinnost tenkých vrstev stříbra, mědi a jejich kombinace, a zároveň popsaly dobrou přilnavost těchto vrstev k vláknitým substrátům. Měď lze z hlediska zdravotní nezávadnosti považovat za vhodnější alternativu ke stříbru díky nižší ceně a lepší biologické toleranci (přebytek je efektivně organismem vylučován) [1–3], nicméně přítomnost stříbra ve vrstvě se ukazuje jako klíčová pro dosažení účinného antibakteriálního efektu.

4. Závěr

Tato studie potvrdila technickou proveditelnost funkční úpravy povrchu nylonových filtrů pomocí DC magnetronového naprašování s cílem dosažení antibakteriální účinnosti bez zásadního narušení filtrační funkce. Nejvyšší antibakteriální účinnosti (99–100 % vůči *E. coli* i *M. luteus*) bylo dosaženo u vrstev slitiny CuAg, a to jak na povrchu filtru, tak ve filtrátu, přičemž nebyly významně ovlivněny filtrační parametry ani velikost pórů. Bylo prokázáno, že typ materiálu a tloušťka vrstvy ovlivňují fyzikální vlastnosti povrchu (zejména smáčivost, výškové parametry a průtok filtrační membránou), ale antibakteriální efekt ne vždy roste s tloušťkou vrstvy. Pokračování v tomto výzkumu bude obnášet hodnocení cytotoxicity povrchu i výluhu, hodnocení stálosti vrstvy v environmentálním prostředí (vliv salinity, pH) a hodnocení mechanických vlastností filtru. Z hlediska depozičních parametrů bude dalším cílem optimalizace poměru Cu:Ag tak, aby byl dosažen nejvyšší antibakteriální účinek při zachování ekonomické dostupnosti výsledného produktu. Současně bude hledána optimální tloušťka vrstvy, která zajistí dobré užitné vlastnosti filtru s minimálním dopadem na jeho filtrační vlastnosti.

Zjištění v naší studii již nyní potvrzují, že správně zvolená kombinace materiálu a depozičních parametrů umožňuje vytvořit účinný antibakteriální povrch bez zásadního narušení filtrační funkce membrány.

Poděkování: *Tato publikace byla podpořena Studentskou grantovou soutěží Technické univerzity v Liberci v rámci projektu SGS-2024-5432. Tato publikace byla napsána na TUL s podporou Institucionálního fondu pro dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumných ústavů, poskytnutého Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky 2025.*

Literatura/References

[1] Wang, L.; Hu, Ch.; Shao, L. The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future. *International Journal of Nanomedicine* [online]. 2017, Volume 12, 1227–1249. ISSN 1178-2013. Dostupné z: doi:10.2147/IJN.S121956

[2] Etiemble, A.; C. Der Loughian, M.; Apreutesei, C.; Langlois, S.; Cardinal, J.M.; Pelletier, J.-F.; Pierson; Steyer, P. Innovative Zr-Cu-Ag thin film metallic glass deposed by magnetron PVD sputtering for antibacterial applications. *Journal of Alloys and Compounds* [online]. 2017, **707**, 155–161. ISSN 09258388. Dostupné z: doi:10.1016/j.jallcom.2016.12.259

[3] Mihut, D. M.; Afshar, A.; Lackey; L. A.; Khang N. L E. Antibacterial effectiveness of metallic nanoparticles deposited on water filter paper by magnetron sputtering. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2019, **368**, 59–66. ISSN 0257-8972. Dostupné z: doi:10.1016/j.surfcoat.2019.04.039

[4] Ballo, M. K. S.; Rtimi, S.; Mancini, S.; Kiwi, J.; Pulgarin, C.; Entenza; J. M.; Bizzini, A. Bactericidal activity and mechanism of action of copper-sputtered flexible surfaces against multidrug-resistant pathogens. *Applied Microbiology and Biotechnology* [online]. 2016, **100**(13), 5945–5953. ISSN 1432-0614. Dostupné z: doi:10.1007/s00253-016-7450-7

[5] Rtimi, S.; Dionysiou, D. D.; Pillai; S. C.; Kiwi, J. Advances in catalytic/photocatalytic bacterial inactivation by nano Ag and Cu coated surfaces and medical devices. *Applied Catalysis B: Environmental* [online]. 2019, **240**, 291–318. ISSN 0926-3373. Dostupné z: doi:10.1016/j.apcatb.2018.07.025

[6] Akhidime, I. D.; Saubade, F.; Benson, P. S.; Butler, J. A.; Olivier, S.; Kelly, P.; Verran, J.; Whitehead, K. A. The antimicrobial effect of metal substrates on food pathogens. *Food and Bioproducts Processing* [online]. 2019, **113**, Fouling and Cleaning in Food Processing, 68–76. ISSN 0960-3085. Dostupné z: doi:10.1016/j.fbp.2018.09.003

[7] Coelho, L. L.; Grao, M.; Pomone, T.; Ratova, M.; Kelly, P.; Wilhelm, M; Moreira, R. de F. P. M. Photocatalytic microfiltration membranes produced by magnetron sputtering with self-cleaning capabilities. *Thin Solid Films* [online]. 2022, **747**, 139143. ISSN 0040-6090. Dostupné z: doi:10.1016/j.tsf.2022.139143

[8] Huang, X.; Hu, Q.; Li, J.; Yao, W.; Wang, Ch.; Feng, Y.; Song, W. Sputtering--Deposited Ultra-Thin Ag–Cu Films on Non-Woven Fabrics for Face Masks with Antimicrobial Function and Breath NOx Response. *Materials* [online]. 2024, **17**, 1574. Dostupné z: doi:10.3390/ma17071574

[9] Nguyen, T. A. K., Huang, Y. Dang, N.; M. Lin, Ch-W. Chen, W.-Ch. Wang, Z. Y.; Lin, M. T. Effect of sputtering power and thickness ratios on the materials properties of Cu–W and Cu–Cr bilayer thin films using high power impulse magnetron and DC magnetron sputtering. *Journal of Vacuum Science & Technology A* [online]. 2024, **42**(5), 053410. ISSN 0734-2101. Dostupné z: doi:10.1116/6.0003795

[10] Mahne, N., Čekada, M.; Panjan, M. Total and Differential Sputtering Yields Explored by SRIM Simulations. *Coatings* [online]. 2022, **12**, 1541. Dostupné z: doi:10.3390/coatings12101541

[11] Zhuravleva, I.; Surovtseva, M.; Vaver, E.; Suprun, E.; Kim, I.; Bondarenko, N.; Kuzmin, O.; Mayorov A.; Poveshchenko, O.. Effect of the Nanorough Surface of TiO2 Thin Films on the Compatibility with Endothelial Cells. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 2023, **24**, 6699. Dostupné z: doi:10.3390/ijms24076699

[12] Changliu, Ch.; Hu, X.; Yan H.; Sun, Y. Surface functionalization of nanostructured Cu/Ag-deposited polypropylene fiber by magnetron sputtering. *e-Polymers* [online]. 2021, **21**, 140–150. Dostupné z: doi:10.1515/epoly-2021-0020

Ing. Lucie Svobodová Ph.D. (autorka pro korespondenci)
Ing. Michal Krafka
Ing. Anna Krobotová
Ing. Magdalena Mrózek
Ing. Pavel Kejzlar, Ph.D.

Katedra materiálu, Fakulta strojní
Technická univerzita v Liberci
Studentská 2
461 17 Liberec 1
lucie.svobodova@tul.cz

Antibacterial modification of nylon filters using thin metal layers deposited by magnetron sputtering (Svobodová, L.; Krafka, M.; Krobotová, A.; Mrózek, M.; Kejzlar, P.)

Abstract

Ensuring hygienic safety during water filtration without the use of chemical disinfectants represents a key challenge in modern water management. This study presents an advanced approach to functional surface modification of common filtration materials (nylon filters were selected) using thin metal layers deposited by DC magnetron sputtering. This technique enables significant antibacterial effectiveness without compromising filtration performance. Thin layers of CuAg, Cu, Ti, or Zr were applied to the filter substrates surface, and changes in structure, thickness, wettability, and filtration rate were analyzed. The results demonstrate that especially CuAg-based coatings significantly reduce the viability of tested bacteria Escherichia coli and Micrococcus luteus achieving 99% and 100% effectiveness both on the filter surface and in the filtrate. At the same time, it was confirmed that the surface modification does not adversely affect the porosity or flow properties of the filter. The research highlights that PVD-deposited thin metal layers represent an environmentally friendly approach with strong potential for next-generation filtration systems.

Key words
filtration – thin film – magnetron sputtering – nylon filter – antibacterial efficacy

Řešení kuriózního případu: výskyt aktivního chloru v podzemní surové a povrchové vodě

Filip Kotal, Hana Jeligová, František Kožíšek

Abstrakt

Článek popisuje výsledek šetření u provozovatele vodovodu v menší obci, který byl na základě vlastního měření i měření akreditované laboratoře přesvědčen, že se mu v surové podzemní vodě i okolních vodotečích vyskytuje volný a vázaný chlor, přizpůsobil tomu i svou technologii úpravy vody a marně hledal jeho původ. Šetření Státního zdravotního ústavu odhalilo, že se jedná o falešně pozitivní stanovení chloru zapříčiněné přítomností manganu v místních vodách, který způsoboval falešně pozitivní barevnou reakci při kolorimetrickém měření chloru pomocí činidla DPD. Článek podává návod, jak by měla laboratoř v podobných případech postupovat, aby byly její výsledky správné a nemátly zákazníky.

Klíčová slova

voda – volný chlor – DPD – mangan – falešně pozitivní reakce

Úvod

Člověk se občas v praxi setkává se zvláštními případy, které na první pohled vypadají nepravděpodobně až neuvěřitelně. Někdy se dalším šetřením zjistí, že vlastně o nic mimořádného nejde, jen to bylo zprvu mylně pochopeno a interpretováno. Ale jindy se opravdu potvrdí, že jde o zvláštní, byť kuriózní situaci, se kterou se člověk setká jen výjimečně. Vzpomínáme si např. na jeden případ, kdy se nám ozvala majitelka studně, že má najednou ve studni horkou vodu. Zdálo se nám to nemožné, ale pak se ukázalo, že v blízkosti studny vede parovod nebo teplovod, který praskl a do studny se dostávala pára či horká voda, která vodu ohřívala na více než 50 °C. Naprosto mimořádná situace, ale dnes už víme, že k ní může dojít. Podobné zvláštní případy proto přitahují naši pozornost, neboť vyžadují vynaložení důvtipu ke zjištění příčiny a umožňují získat novou zkušenost. O jednu takovou se chceme tímto podělit, protože nemusí být tak kuriózní, jak by se mohlo na první pohled zdát.

Počátkem tohoto roku se na nás obrátil provozovatel menšího vodovodu (obec) s tím, že řeší problém, se kterým si neví rady, a nikdo mu není schopen poradit a pomoci.

Popis problému

V polovině roku 2023 zaznamenal provozovatel neobvyklý (intenzivnější) pach chloru v upravené vodě, následně zde naměřil i zvýšený obsah volného chloru (stanovení volného i celkového chloru si provádí sám pomocí přenosného kolorimetru na principu reakce s DPD). Vodovod, který zásobuje necelých 150 obyvatel, využívá tři zdroje podzemní vody situované na protilehlých stranách obce poblíž malého potoka, které se na úpravně vody upravují následujícím způsobem: dávkování NaOH a $KMnO_4$, písková filtrace (odmanganování a odželezňování), iontoměnič (anex na odstranění dusičnanů), UV-záření, iontoměnič (katex na změkčení vody), dávkování chlornanu sodného (dezinfekce). Protože provozovatel neshledal závadu na dávkovači chlornanu, změřil obsah chloru i v surové (podzemní) vodě, kde zjistil koncentrace až několik desetin mg/l. Při snaze odhalit zdroj chloru pak změřil i jeho obsah ve vodě v potoce a v rybníce výše po toku, jakož i z nedaleké výusti z meliorace do potoka – všude byly nálezy nad mezí stanovitelnosti. Tento monitoring několikrát opakoval, výsledky sice kolísaly, ale nálezy nad mezí stanovitelnosti byly téměř pravidlem. Provozovateli se zdálo, že tato situace nastává po vydatnějších srážkách.

Proto se obrátil na známou a renomovanou firmu, která působí v oblasti ochrany životního prostředí, zejména pak v oblasti vodního hospodářství od počátku 90. let (pod jiným názvem i déle), aby situaci zmonitorovala a odborně posoudila, a hlavně zjistila zdroj tohoto znečištění. Firma provedla sérii odběrů místních povrchových i podzemních vod a vzorky nechala na volný a vázaný chlor a vybrané jiné ukazatele analyzovat v akreditované laboratoři. Ve všech případech byly ve vodách (vždy se jednalo o neupravenou vodu, tedy bez dezinfekce) nalezeny jak volný chlor (obvykle v množství 0,13–0,19 mg/l), tak vázaný chlor (obvykle 0,15–0,30 mg/l). Stanovení bylo provedeno stejnou metodou, jakou používá provozovatel, s použitím kolorimetru. Firma ve svém posudku sice v úvodu uvádí, že výskyt volného chloru v povrchových vodách je teoreticky vyloučen (mj. kvůli rychlému rozkladu), ale v závěru výslovně uvádí, že na posuzované lokalitě byla potvrzena kontaminace povrchových i podzemních vod volným chlorem, a diskutuje možné zdroje znečištění. Z nich vzhledem k charakteru území (obec je obklopena zemědělskými pozemky, není zde žádná průmyslová výroba nebo skládka) se jako nejpravděpodobnější jeví zemědělská činnost, konkrétně zapravování odpadních vod z živočišné výroby s rezidui dezinfekčních prostředků do půdy nebo používání pesticidů a herbicidů s obsahem chloru, ze kterých se pak vlivem podmínek prostředí volný chlor uvolňuje, a doporučuje obci, aby se obrátila na vodoprávní úřad, ČIŽP a ÚKZÚZ s žádostí o zjištění zdroje znečištění.

Obec toto udělala a obrátila se na odbor životního prostředí městského úřadu okresního města. Ten požádal Českou inspekci životního prostředí a Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, aby zde provedly šetření za účelem zjištění původu kontaminace. Obě instituce zde místní šetření provedly, aniž by se jim podařilo něco (zdroj znečištění) zjistit, resp. nezjistily žádná porušení předpisů nakládání s pesticidními látkami či hnojivy. A tak závěrem městský úřad, nevěda si více rady, odkázal na krajskou hygienickou stanici a doporučil „případně zadat úkol nalezení zdroje volného chlóru odborné organizaci, jež se zabývá výzkumnou činností v oboru kvality povrchových a podzemních vod“.

Provozovatel vodovodu v reakci na tato zjištění zařadil do technologické linky nový stupeň, filtr s aktivním uhlím, na konec linky před dávkování chlornanu sodného. Účelem mělo být odstranění volného a vázaného chloru (popř. dalších doprovodných organických látek) ze surové vody. Provozovatel se nedomníval, že by zdrojem kontaminace mohla být drůbežárna, která vyváží oplachové vody z chovných prostor na okolní pole, protože ta zde stejným způsobem funguje prý už roky. Měl podezření na zemědělskou společnost, která na okolní pozemky začala vyvážet kejdu z velkovýkrmny prasat v nedaleké obci.

Šetření Státního zdravotního ústavu

SZÚ provedl na místě na jaře 2025 dvojí šetření spojené s odběrem vzorků a stanovením volného a vázaného chloru (kolorimetricky), manganu, pachu a chuti (jen u upravené vody). Zatímco při suchém, slunečném počasí nebyly (na úpravně vody, ve zdrojích či v rybníku) ani v jednom případě zjištěny hodnoty volného/celkového chloru nad mezí stanovitelnosti, po dešti se situace změnila: ve vzorcích vody ze zdroje a z blízkého potoka došlo při měření k barevné reakci jak v případě měření volného, tak zejména celkového chloru. Pach po chloru jsme však v žádném ze vzorků nezaznamenali.

Mangan jsme nechali stanovit proto, že jsme od počátku měli podezření na nesprávné měření, resp. na jeho nesprávnou interpretaci. Na možnost interference díky přítomnosti manganu ve vodě upozorňuje v metodice pro stanovení chloru i výrobce kolorimetru [1]. Mangan jsme při odběrech po dešti prokázali ve všech vyšetřených vzorcích, přičemž jeho koncentrace byla nejvyšší v povrchové vodě (potok u jednoho ze zdrojů obsahoval 0,236 mg/l) a postupně klesala (druhý ze zdrojů obsahoval 0,0856 mg/l; surová voda na začátku technologické linky 0,0084 mg/l). Důvodem poklesu je nejspíš skutečnost, že pokud dochází k infiltraci vody z potoka do studní, část manganu se zachytí v podloží a ve studni dojde k jeho vysrážení na povrchu studny a čerpadla. Právě při naší druhé návštěvě jsme byli svědky čištění čerpadla na jednom ze zdrojů a přívodního potrubí na úpravnu (**obr. 1**), kde byly okem viditelné výrazné nárosty železo-manganových usazenin. V tomto zdroji, aniž by zde byl přítomen nějaký chlor, došlo při měření k barevné reakci, kterou – kdybychom nebrali v úvahu přítomnost manganu – by jinak bylo možné interpretovat jako obsah volného chloru 0,03 mg/l a obsah celkového chloru 0,54 mg/l. Ukázalo se tedy, že příčinou údajně naměřených zvýšených hodnot chloru byl opravdu mangan přítomný v surové vodě, který způsoboval falešně pozitivní barevnou reakci při kolorimetrickém měření chloru.

Mechanismus falešně pozitivního stanovení chloru a jak se mu vyhnout

Naše zjištění o důvodu falešně pozitivních nálezů chloru metodou DPD není nijak objevné (**obr. 2**), v odborné literatuře je dobře popsáno [2].

Principem metody DPD je redoxní reakce s indikátorem DPD s použitím činidla N,N-diethyl-p-fenylendiaminu (DPD). Metoda patří v současnosti k nejběžnějšímu postupu pro měření zbytkového volného chloru. Při reakci s oxidačními činidly, jako je volný chlor nebo oxidovaný mangan, se bezbarvý DPD okamžitě oxiduje za vzniku růžově zbarveného meziproduktu oxidace, nazývaného Würsterovo barvivo, které se odečítá kolorimetrem nebo spektrofotometrem. Množství vytvořeného Würsterova barviva je přímo úměrné množství volného chloru přítomného ve vzorku vody.

Přítomnost oxidovaného manganu může ovlivnit přesné stanovení zbytkového volného chloru. Intenzita rušení závisí na koncentraci manganu, oxidačním stavu manganu (Mn (III), (IV) nebo (VII)) a formě (rozpuštěná, částicová, koloidní) manganu přítomného ve vzorku. Čím vyšší je oxidační stav manganu, tím silnější je jeho oxidační schopnost a tím větší je pravděpodobnost rušení. Sloučeniny obsahující Mn(II) DPD neoxidují, zatímco formy manganu ve vyšších oxidačních stavech, ať už v suspendované nebo rozpuštěné formě, mohou oxidovat DPD za vzniku růžového Würsterova barviva podobného reakci DPD s volným chlorem. Z tohoto důvodu oxidované formy manganu pozitivně interferují s kolorimetrickým měřením volného chloru.

Pokud surová a upravená voda ze systému nikdy nebyla analyzována na mangan nebo úpravna vody nezohlednila koncentraci manganu ve zdrojích, provozovatel si nemusí být vědom toho, že by mangan mohl narušovat přesné stanovení zbytkového volného chloru. Jak již bylo řečeno, kolorimetrie DPD je citlivá i na další oxidační látky běžně přítomné v pitné vodě, včetně manganu. Pokud je tedy přítomen mangan, může způsobit chybná měření zbytkového volného chloru.

Jak postupovat, když vzorek obsahuje mangan a je čirý? K zohlednění neúmyslné tvorby Würsterova barviva můžete využít následující postup:

1. Odeberte 500 ml vzorku vody do čisté polyethylentereftalátové lahvičky.
2. Proveďte DPD analýzu volného chloru.
3. Dekantujte 100 ml vzorku a upravte pH na 6–7.
4. Přidejte tři kapky arsenitanu sodného (5 g/l) a promíchejte.
5. Opakujte zkušební postup pro měření koncentrace vzorku ošetřeného arsenitanem sodným.
6. Odečtěte druhý výsledek od prvního výsledku, abyste získali korigovanou koncentraci volného chloru.

Pokud vzorek obsahuje mangan a černé částice nebo je zakalený, pak ho přefiltrujte přes papírový filtr.

Pokud váš vzorek obsahuje kromě manganu i jiné rušivé složky (např. vázaný chlor), může být vhodnější alternativou použití indofenolové metody pro měření zbytkového volného chloru. Metoda s indofenolem je založena na přidání roztoku amoniaku o pH 8,3 k vzorku obsahujícímu volný chlor, čímž se rychle tvoří monochloramin. Monochloramin iniciuje reakci se substituovaným fenolem v přítomnosti katalyzátoru za tvorby zelené indofenolové sloučeniny, kterou lze detekovat kolorimetrem při vlnové délce 610 nebo 655 nm.

Závěr

Naším šetřením jsme zjistili, že se v této obci a jejím okolí žádná senzace o výjimečné kontaminaci povrchových a podzemních vod chlorem nekoná. Příčinou naměřených zvýšených hodnot chloru byl mangan přítomný v povrchové a podzemní vodě, který způsoboval falešně pozitivní barevnou reakci při kolorimetrickém měření chloru.

Že na takovou „banalitu“ nepřijde vodárenský a laboratorní laik, v tomto případě pracovník obce mající na starosti provoz vodovodu, asi nikoho nepřekvapuje. Ale že akreditovaná laboratoř vydá akreditovaný protokol s falešnými výsledky, přičemž pro laboratoř nešlo o anonymní vzorky, protože vzorky na místě odebíral a pravděpodobně i měřil vysokoškolsky vzdělaný pracovník laboratoře, je už na povážení. Za nejvíc alarmující však považujeme, že se pod to svým odborným posudkem „podepíše“ firma, která poskytuje široké spektrum služeb v oblasti vodního hospodářství a podle svého webu „patří dnes na trhu mezi významné a renomované dodavatele environmentálních služeb s komplexní nabídkou“. A namísto kritického zhodnocení situace je uvedena v omyl nejen obec, ale i úřady, které zase zburcují do akce různé inspekční orgány, aby mohly závěrem všichni konstatovat, že vlastně nic nevědí. A obec nepřímo donutí k pořízení dalšího technologického stupně úpravy vody, který není právě levný a který vlastně nepotřebuje.

Domníváme se, že v oblasti povrchových vod a zdrojů podzemní vody oné obce se v posledních letech nic zásadního nezměnilo. Pach po chloru byl pravděpodobně způsoben nějakým drobným výkyvem v dávkování chloru, ale přiměl obec k akci, která šla nad rámec běžné rutiny a obci přinesla víc problémů než užitku.

Obr. 1. Čerpadlo z jedné ze studní (vrtů) s nánosy manganu

Obr. 2. Ilustrační pokus ukazující podobnou barevnou reakci DPD s různými součástmi vody. Vlevo: testovací voda bez přídavku chloru či manganu. Uprostřed: testovací voda s přídavkem volného chloru (chlornanu sodného) po reakci s DPD. Vpravo: testovací voda s přídavkem manganu (manganistanu draselného) po reakci s DPD

Pokud se něco v okolí obce změnilo a vede to k většímu vyplavování manganu do povrchových a podzemních vod, může to být buď klimatická změna (i pracovníci KHS si v souvislosti se suššími roky povšimli zvýšeného výskytu manganu v podzemních zdrojích), nebo je skutečně možné, že při deštích je mangan z půdy a podloží více vyplavován, možná zde určitou roli hraje i působení stop dezinfekce vyvážené společně s exkrementy z živočišné výroby na blízká pole nebo pravděpodobněji samotný kyselý charakter exkrementů. S tím se již v praxi setkáváme a/nebo budeme setkávat, ale měli bychom být schopni problém správně pojmenovat.

Budiž toto sdělení mementem hlavně pro laboratoře, které provádějí rozbory vody včetně stanovení volného a celkového chloru, protože mangan bývá v našich vodách běžně přítomen a při stanovení chloru je nutné na jeho interferenci pamatovat a dodržet postup, který jsme popsali výše a který zajistí správné stanovení chloru.

Poděkování: *Vznik příspěvku byl podpořen v rámci MZ ČR – RVO (Státní zdravotní ústav – SZÚ, IČ75010330).*

Literatura/References

[1] Hach Lange s.r.o. Chlor, volný (US EPA DPD Metoda 8021). 8 stran. Praha 2015.

[2] Brandhuber, P.; Alexander, M. T.; Arora, H.; Meteer, L.; Malkov, V.; Pei, Y. Free Chlorine Residual Measurement and Manganese Interference: Is the DPD Method a Fair Judge? Opflow, November 2022, 26-30; https://doi.org/10.1002/opfl.1748.

Ing. Filip Kotal, Ph.D (autor pro korespondenci)
MUDr. Hana Jeligová
MUDr. František Kožíšek, CSc.

Státní zdravotní ústav
Šrobárova 48
100 00 Praha 10
filip.kotal@szu.gov.cz

Solving a curious case: the occurrence of active chlorine in raw groundwater and surface water (Kotal, F.; Jeligová, H.; Kožíšek, F.)

Abstract
The article describes the result of an investigation of a water supply operator in a small municipality who, based on his own measurements and those of an accredited laboratory, was convinced that free and bound chlorine was present in his raw groundwater and in the surrounding watercourses, adapted his water treatment technology accordingly and searched in vain for its origin. An investigation by the National Institute of Public Health revealed that it was a false positive chlorine determination caused by the presence of manganese in the local waters, which caused a false positive colour reaction when chlorine was measured colorimetrically using the DPD reagent. The article provides guidance on how a laboratory should proceed in similar cases to ensure that its results are correct and do not confuse customers.

Key words
water – free chlorine – DPD – manganese – false positive reaction

Vliv tvrdosti vody na lidské zdraví

Jan Bartoň, Nina Beňová, Veronika Cvečková, Patrik Čermák, Stanislav Rapant

Abstrakt
V rámci projektů LIFE, které byly podporovány finančním nástrojem EU LIFE a MŽP SR, byl sledován zdravotní stav obyvatel v souvislosti s tzv. tvrdostí vody. Různými metodami (hlavně měřením pružnosti cév – tedy arteriálního věku) byla zjištěna významná statistická závislost mezi zdravotním stavem obyvatelstva a deficitem tvrdosti pitné vody. Ve tvrdostně deficitních oblastech byla potvrzena zvýšená úmrtnost na kardiovaskulární a onkologické onemocnění a diabetes. Dále byly v oblastech s měkkou vodou zjištěny neobvykle vysoké počty onemocnění Downovým syndromem, dětskou mozkovou obrnou a epilepsií [1]. Na základě těchto zjištění bylo přistoupeno k pokusům se ztvrzováním vody ve tvrdostně deficitních oblastech Slovenska (proces rekarbonizace). Následně pokračovalo sledování zdravotního stavu obyvatel po rekarbonizaci, po němž bylo zjištěno, že dochází k významnému navyšování arteriálního věku jakožto jednoho z indikátorů kvality života, resp. délky dožití a výskytu závažných onemocnění.

Klíčová slova
tvrdost vody – rekarbonizace – deficit tvrdosti – zdraví obyvatel

Tvrdost vody v legislativních předpisech

Tvrdost vody se odvíjí od geologické skladby horniny, kterou voda prosakuje. Z tohoto důvodu se obsah minerálů ve vodě v jednotlivých oblastech může výrazně lišit. Tvrdost vody je primárně dána koncentracemi iontů vápníku a hořčíku. Jedná se o jediné ukazatele, kde vyhláška 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, uvádí jejich minimální koncentrace (v případě ostatních ukazatelů se jedná o maximální koncentrace).

Tvrdost vody může být trvalá a přechodná. Trvalá tvrdost zahrnuje rozpuštěné chlority, sulfidy, nitráty a silikáty. Přechodná obsahuje rozpuštěný $Ca(HCO_3)_2$ (hydrogenuhličitan vápenatý). Po jeho vysrážení vzniká $CaCO_3$ (uhličitan vápenatý), známý také jako vodní kámen. Přechodnou tvrdost vody lze, na rozdíl od tvrdosti trvalé, odstranit varem. Hodnoty tvrdosti vody se obvykle udávají v mmol/l, přičemž pro celkovou tvrdost se ze zdravotního hlediska doporučuje molární koncentrace 2–3,5 mmol/l.

Vápník i hořčík jsou běžnou přirozenou součástí všech vod a jsou hlavní součástí tzv. tvrdosti vody, čili čím je jejich obsah vyšší, tím je voda tvrdší. Obsah vápníku se obvykle pohybuje od desítek do stovek mg/l, obsah hořčíku je nižší, zpravidla jednotky až desítky mg/l. V § 3, odst. 1 vyhl. 252/2004 Sb. je uvedeno, že „Pitná voda musí mít takové fyzikálně-chemické vlastnosti, které nepředstavují ohrožení veřejného zdraví." A zároveň že „U surových nebo pitných vod, u kterých je při úpravě uměle snižován obsah vápníku nebo hořčíku, nesmí být po úpravě obsah hořčíku nižší než 10 mg/l a obsah vápníku nižší než 30 mg/l." Doporučené hodnoty podle § 3 odst. 1 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, jsou v případě hořčíku 20–30 mg/l a v případě vápníku 40–80 mg/l.

Vliv tvrdosti vody na zdraví obyvatel

Zdravotní přínos určitého obsahu Ca a Mg v pitné vodě byl znám hygienikům i vodohospodářům již od konce 60. let, a to především díky populárnímu sloganu jednoho z prvních průkopníků výzkumu v této oblasti H. A. Schroedera: „Čím tvrdší voda, tím měkčí arterie". Aktuálnost tohoto zjištění stoupá úměrně s rozmachem technologických metod úpravy vody, které obsah vápníku a hořčíku buď významně snižují, nebo se snaží jejich účinek eliminovat. Na řadě studií v USA (kde koncem 80. let používalo domácí změkčovače vody 20 až 40 % domácností) bylo prokázáno, že u lidí používajících změkčovače vody pracující v sodíkovém cyklu je vyšší výskyt hypertenze, a to i u dětí, což je spolu se souvisejícím nižším příjmem hořčíku vážný rizikový faktor kardiovaskulárních onemocnění [5, upraveno dle 11].

Právě H. A. Schroeder prokázal vztah mezi úmrtností na kardiovaskulární onemocnění u mužů ve věku 45–64 let a tvrdostí vody v 163 největších městech USA [27]. Tvrdé cévy jsou totiž málo elastické, neschopné odolávat doprovodným stresovým faktorům kardiovaskulárních onemocnění. Měkká voda tedy způsobuje kornatění cév, což má za následek zvýšenou pravděpodobnost kardiovaskulárních onemocnění, negativní účinky na ledviny, endokrinní (poruchy funkce štítné žlázy) a muskuloskeletární systém (osteoporóza, křeče), neurologické a vývojové účinky (nízká váha novorozenců) či rakovina prsu.

Epidemiologické studie, provedené v 70. a především v 80. letech 20. století, potvrzovaly hypotézu, že hlavní protektivní účinek má obsah hořčíku ve vodě, zatímco vápník působí proti vzniku kardiovaskulárních onemocnění jen podpůrně [11].

Jak je uvedeno v Hygienickém minimu pro pracovníky ve vodárenství [13], určitý obsah vápníku a hořčíku ve vodě snižuje riziko úmrtnosti na srdečně-cévní choroby, jako jsou infarkt myokardu, ischemická choroba srdeční apod. Jak ukazují epidemiologické studie provedené v posledních 15 letech, tvrdá voda je ochranným faktorem, resp. měkká voda rizikovým faktorem, nejen vůči kardiovaskulárním nemocem, ale i některým jiným chorobám. Nízký obsah vápníku ve vodě byl spojen s vyšším výskytem některých neurologických poruch ve stáří, vysokého krevního tlaku a zlomenin kostí u dětí. Nízký obsah hořčíku v pitné vodě znamenal zvýšené riziko těhotenských komplikací (tzv. preeklampsií), poruch motorických nervů a rovněž vysokého krevního tlaku. Řada studií z Taiwanu naznačuje, že voda o optimální tvrdosti může být důležitým ochranným faktorem proti vzniku některých druhů nádorů.

Vztah mezi tvrdostí vody a četností výskytu cévních onemocnění poprvé v literatuře popsal japonský chemik J. Kobayashi v roce 1957 [10], když na základě epidemiologického rozboru ukázal, že úmrtnost na mozkově cévní choroby (mozkové krvácení – apoplexie) je vyšší v okolí japonských řek, které mají kyselejší (měkčí) vodu, v porovnání s řekami zásaditějšími (tvrdšími), odkud byla voda využívána pro pitné účely [11].

Crawford [3] sledoval změny vývoje úmrtnosti na kardiovaskulární onemocnění v závislosti na tvrdosti vody v 11 britských městech v období 1950–1960. Tvrdost se zvýšila v pěti, naopak snížila v šesti městech. V tomto období se úmrtnost na kardiovaskulární onemocnění v Británii zvýšila průměrně o 10 %, avšak ve městech, kde došlo k poklesu tvrdosti vody, vzrostla o 20 %, zatímco ve městech, ve kterých došlo v uvedeném období k nárůstu tvrdosti vody (změnou zdroje), vzrostla jen o 8,5 %. Nízký příjem Ca a Mg pitnou vodu se

zdá být jedním z rizikových faktorů vzniku amyotrofické laterální sklerózy [31], vyšší obsah těchto prvků ve vodě může protektivně působit proti vzniku zubního kazu a onemocnění parodontu i tam, kde je obsah fluoridů nízký [28].

F. Kožíšek [11] dále uvádí: Studie ze španělské Mallorky zjistila, že u dětí žijících v oblastech s pitnou vodou s vyšším obsahem vápníku byl statisticky nižší výskyt zlomenin než u dětí žijících v oblasti zásobované vodou chudší na vápník, při zohlednění obsahu fluoridů ve vodě a socioekonomických podmínek [29]. Zatímco u mužů žádná studie neprokázala, že by obsah vápníku ve vodě ovlivňoval riziko úmrtí na infarkt myokardu, u žen se nízký obsah vápníku ve vodě ukázal být v tomto ohledu jedním z rizikových faktorů [24]. Reálnost tohoto vztahu podporuje existence důkazů o tom, že nedostatek vápníku může způsobit vysoký arteriální tlak (hypertenzi). V druhé polovině 90. let byla publikována četná řada epidemiologických studií z Taiwanu, které sledovaly vztah mezi tvrdostí pitné vody a úmrtností na různé choroby, které vykazují významné geografické rozdíly [30]. Studie zjistily protektivní účinek hořčíku vůči mozkově-cévním chorobám a hypertenzi, tvrdosti vody vůči kardiovaskulárním onemocněním, rakovině jícnu, slinivky, rekta, prsu, tlustého střeva a žaludku.

Bylo též dokázáno, že vařením v měkké vodě dochází ke značným ztrátám prvků (včetně Mg a Ca) z potravin, především ze zeleniny, ale i z masa a obilovin [6, 9, 17]. U hořčíku i vápníku až o 60 %. Naopak vařením ve tvrdé vodě se ztráty minimalizují, u vápníku může dojít dokonce i k obohacení vařené potraviny. Kožíšek [11, 12] tímto zjištěním vysvětluje skutečnost, jak relativně malý příspěvek vody na celkovém denním příjmu hořčíku (obvykle méně než 10 %) může být příčinou až 30% snížení úmrtnosti na kardiovaskulární onemocnění [15, 16].

Zdravotní stav lidí závisí na více faktorech, mezi které patří:
- životní styl (cca 50 %)
- úroveň/dostupnost zdravotnictví (10–20 %)
- genetické faktory (10–20 %)
- životní prostředí (cca 20 %)

Za předpokladu, že jsou první tři faktory přibližně stejné, má životní prostředí, hlavně charakter geologického prostředí (chemické složení půd, a zejména chemické složení podzemních/pitných vod), větší než 20% podíl na zdravotním stavu obyvatelstva [19].

Nejpříznivějším geologickým prostředím z hlediska lidského zdraví jsou karbonáty, nejméně příznivé silikáty (deficit Ca+Mg – granitoidy, krystalické břidlice, vulkanické horniny). Geologické prostředí lze na základě vlivu na zdraví řadit následovně (řazeno od nejpříznivějšího prostředí pro život k nejnepříznivějšímu):
- Flyšový paleogén – starší třetihory – 23–66 mil. let (např. Chřiby)
- Druhohorní horniny – 66–252 mil. let (např. Pálava, Česká křídová pánev)
- Neogenní horniny – 3–23 mil. let (např. Vídeňská pánev)
- Kvartérní sedimenty – 0–3 mil. let
- Paleozoikum (prvohory) – 252–541 mil. let
- Krystalinikum (hlavně žula – např. Vysočina)
- Neovulkanity (sopky, např. čediče, trachyty)

Informace o projektech LIFE

Vztah mezi koncentrací Ca a Mg v pitné vodě a jejich vlivem na lidské zdraví byl v SR za posledních 12 let sledován ve třech evropských projektech financovaných v rámci programu LIFE:
- LIFE 10 ENV/CS/000086 (GEOHEALTH)
- LIFE 12 ENV/CS/000094 (LIFE FOR KRUPINA)
- LIFE 17 ENV/CS/000036 (LIFE – WATER and HEALTH)

Projekt GEOHEALTH potvrdil, že koncentrace Ca a Mg v pitné vodě představují nejdůležitější prvky pro lidské zdraví a jejich vliv je více než stokrát vyšší než koncentrace potenciálně toxických prvků nebo dusičnanů [18].

V projektu LIFE FOR KRUPINA bylo potvrzeno, že nízká koncentrace Ca a Mg v pitné vodě má negativní vliv na kardiovaskulární systém obyvatel. Tento vliv byl potvrzen měřením pružnosti cév a následným stanovením arteriálního věku, který byl výrazně vyšší (nepříznivější) u obyvatel zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou, tedy vodou s nízkým obsahem Ca a Mg [20].

Sledování zdravotního stavu obyvatel bylo prováděno v 79 okresech a 2 833 obcích. Součástí bylo sledování zdravotního stavu za pomoci dotazníků a měření pružnosti cév (arteriálního věku). Měření pružnosti cév prokázalo výrazně horší stav cév u těch lidí, kteří žijí v obcích zásobovaných měkkou pitnou vodou s nízkými obsahy Ca a Mg. Arteriální věk byl v průměru vyšší než skutečný věk testovaných respondentů téměř o 5 let v porovnání s kontrolní skupinou lidí zásobovaných tvrdší pitnou vodou s vyšším obsahem Ca a Mg.

V rámci projektu byly vytvořeny dvě skupiny obcí zásobované vodou s různou tvrdostí. První skupina obcí s měkkou vodou (MV) zahrnovala 52 676 obyvatel a druhá skupina obcí s tvrdou vodou (TV) zahrnovala 53 118 obyvatel. Pro srovnání byla použita celá SR, ze které byly odstraněny obce s méně než 100 obyvateli. Celoslovenské průměrné hodnoty představují průměr z 2 762 obcí a tedy 5,39 milionu obyvatel.

Arteriální věk respondentů zásobovaných „tvrdou“ pitnou vodou byl o 2,23 roku horší než skutečný věk. Arteriální věk respondentů zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou byl o 16,49 roku horší než skutečný věk.

Největší rozdíly v počtu úmrtí byly pozorovány v případě oběhové soustavy. Skupina obcí MV 6 564 úmrtí a skupina obcí TV 3 235 úmrtí. Překvapující jsou zejména zjištěné údaje o infekčních chorobách, chorobách trávicí a dýchací soustavy. Autoři si to vysvětlují tak, že zejména Mg je důležitý pro imunitní systém. Dále se jedná zejména o ischemické choroby srdeční (1 390–2 525) a akutní infarkt myokardu (317–880). Největší rozdíl v relativní úmrtnosti (přepočet na 100 000 obyvatel) byly pozorovány v případě nemoci aortální chlopně (20,2× vyšší v případě MV), dále dětské mozkové obrny (17× vyšší v případě MV) a akutní selhání ledvin (12,5× vyšší v případě MV ve srovnání s TV).

Střední délka života v obcích, které jsou zásobovány „měkkou“ pitnou vodou, je o 4–5 let kratší než v obcích, které jsou zásobovány „tvrdou“ pitnou vodou [22].

Výsledky biomonitoringu (**tab. 1**) potvrdily nepříznivý vliv deficitních obsahů Ca (< 25 mg/l) a Mg (< 10 mg/l) v geologickém prostředí, zejména v podzemních pitných vodách, na zdravotní stav obyvatelstva. Na zhoršení zdravotního stavu se podílí zejména zvýšený výskyt kardiovaskulárních a onkologických onemocnění a onemocnění žláz s vnitřním vylučováním (zejména cukrovka). Výsledky rovněž naznačují, že deficitní obsah Ca a Mg v pitné vodě se výrazně podílí na zvýšené úmrtnosti i na zvýšeném výskytu nemocí trávicí a dýchací soustavy.

Možnosti řešení

V rámci projektu LIFE – WATER and HEALTH bylo potvrzeno, že pružnost cév a arteriální věk lidí zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou se výrazně zlepšuje, pokud je pitná voda obohacována o Ca a Mg. Arteriální věk lidí, kteří začali pít remineralizovanou pitnou vodu, se zlepšil v průměru o 10 let. Také bylo v rámci řešení tohoto projektu potvrzeno, že zdravotní stav lidí zásobovaných pitnou vodou s vyšším obsahem Ca a Mg je výrazně lepší než u obyvatel, kteří jsou zásobováni pitnou vodou s nízkým obsahem Ca a Mg. Nebyla zjištěna ani jedna z diagnóz uvedených v Mezinárodní klasifikaci nemocí, při které je úmrtnost obyvatel zásobovaných „tvrdou“ pitnou vodou vyšší než u obyvatel zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou. Naopak v případě „tvrdé“ pitné vody byla úmrtnost vždy nižší než v případě „měkké“ vody [4].

Tab. 1. Statistické parametry naměřených respondentů ve skupině obcí „měkká“ a „tvrdá“ voda

Statistické parametry	„TVRDÁ“ VODA				„MĚKKÁ“ VODA			
	Nenice, Dolné Vestenice, Trenčiana Turna [n = 100][3]				Devičie, Kokava nad Rimovicou [n = 100][3]			
	Skutečný věk	Arteriální věk	Rozdíl [1]	PWVao[2] [m.s^{-1}]	Skutečný věk	Arteriální věk	Rozdíl [1]	PWVao[2] [m.s^{-1}]
	[roky]				[roky]			
Průměr	39,77	42	+2,23	7,96	47,40	+63,82	16,49	9,69
Medián	28	41,5	+2	7,8	49	+68	16	9,75
PWVao[4]	7				35			

[1] rozdíl se vypočítá jako arteriální věk minus skutečný věk, přičemž kladné hodnoty znamenají, že arteriální věk je vyšší než skutečný věk (tj. horší stav tepen) a naopak
[2] rychlost pulzní aortální vlny
[3] počet respondentů
[4] počet respondentů s patologickým výsledkem

Na základě výsledků bylo zjištěno, že jelikož hodnoty obsahu Ca a Mg v pitné vodě velmi výrazně ovlivňují zdravotní stav lidí, měly by být limitovány ve WHO standardech pro pitnou vodu.

Návrh mezních hodnot prvků ovlivňujících lidské zdraví v pitné vodě byl zpracován na základě matematicko-statistické analýzy vztahu mezi kvalitou/chemickým složením pitných vod a zdravotním stavem obyvatelstva. Doporučené hodnoty Ca a Mg v pitných vodách pro hromadné zásobování byly stanoveny jako optimální (příznivé) pro lidské zdraví, viz **tab. 2**.

Je důležité, aby obsah Ca a Mg ve vodě byl hlavně ve formě hydrogenuhličitanů, a ne ve formě chloridů, síranů nebo dusičnanů. S těmito navrhovanými optimálními hodnotami Ca, Mg a tvrdosti vody se lidé na Slovensku a v jiných evropských zemích dožívají nejdéle a mají nejnižší incidenci/mortalitu na kardiovaskulární, onkologická a jiná onemocnění. V případě balené pitné vody (kde neexistují žádná technologická omezení, jako je tvorba vodního kamene v potrubí, ohřívačích vody, pračkách, myčkách nádobí atd.), lze doporučit, aby koncentrace Ca byla > 50 mg/l a Mg > 30 mg/l.

Ve zdrojích pitných vod se ukázalo jako účinné technologické opatření ke zvýšení obsahů Ca a Mg v pitných vodách – přidávání karbonatické horniny (dolomit, vápenec, polovypálený dolomit) do individuálních vodních zdrojů (studní) v množství cca 100 kg. Případně je možno dávkovat vápenné mléko. V rámci projektu se ukázalo jako nejvhodnější řešení použití polovypáleného dolomitu (PVD).

Ve dvou obcích byla obohacována pitná voda o Ca a Mg. Nárůst Mg byl o 10–14 mg/l a nárůst Ca o 8–12 mg/l. Měření pružnosti cév byla realizována přibližně v šestiměsíčních intervalech. V obou obcích došlo k výraznému zlepšení kardiovaskulárního systému lidí. Zlepšení je pozorováno i v případě rychlosti pulzní vlny a také v poklesu arteriálního věku lidí. Na základě dosažených výsledků bylo potvrzeno, že obsah Ca a Mg v pitné vodě má signifikantní vliv na pružnost cév, tedy na kardiovaskulární systém lidí. Čím je obsah těchto prvků v pitné vodě vyšší, tím je lepší i jejich kardiovaskulární systém.

Z **tab. 3** je velmi dobře patrné velmi rychlé snižování rozdílu arteriálního a skutečného věku po ztvrzování pitné vody polovypáleným dolomitem v obci Devičie, kde můžeme pozorovat snížení rozdílu o cca 12 let během roku a půl ztvrzování vody. Poprvé ve světové literatuře tak bylo potvrzeno, že pružnost cév obyvatel, kteří začali konzumovat pitnou vodu obohacenou o Ca a Mg, se zlepšuje.

Tab. 2. Návrh koncentrací Ca a Mg (limitní hodnoty) v pitné vodě

Parametr	Minimální koncentrace	Optimální (doporučené) hodnoty
Ca [mg/l]	> 30	50–100
Mg [mg/l]	> 10	25–50
Tvrdost vody /Σ Ca + Mg/ [mmol /l)	> 1,2	2,0–4,5

Tab. 3. Výsledky měření pružnosti cév respondentů v obcích Devičie a Kokava nad Rimavicou

Etapa měření	Bez náhradních respondentů				S náhradními respondenty			
	n	PWV_{ao}	AV	Rozdíl	n	PWV_{ao}	AV	Rozdíl
I. etapa (5/2021)	107	9,78	65,17	16,68	107	9,78	65,17	16,68
II. etapa (12/2021)	93	9,44	61,69	14,24	100	9,50	62,47	14,60
III. etapa (6/2022)	88	9,19	58,91	10,48	98	9,23	59,15	11,35
IV. etapa (12/2022)	100	8,85	54,75	4,89	114	8,94	55,70	5,13

n – počet respondentů
PWV_{ao} – rychlost pulzní vlny
AV – arteriální věk
Rozdíl – rozdíl arteriálního a skutečného věku

Závěry

Závěry projektu jsou ve shodě s tvrzením F. Kožíška [11]: Zatímco u většiny chemických látek, které se běžně vyskytují v pitné vodě, je zapotřebí dlouhé expozice k projevení příslušného zdravotního účinku, u vápníku a zvláště hořčíku se předpokládá, že jejich účinek odráží současnou expozici, čili že stačí několik málo měsíců k případné „adaptaci" na nový zdroj s nízkým obsahem hořčíku, popř. vápníku. Adaptací se zde však nemyslí přizpůsobení se organismu vodě nevhodného složení, ale doba, během které se nevhodné složení vody může projevit zdravotní poruchou organismu spotřebitele [25].

Zde je také vhodné upozornit na případy lidí z ČR a Slovenska z let 2000–2002, kteří začali používat k doúpravě své pitné vody přístroj na bázi reverzní osmózy a pití takto upravené (demineralizované) vody se u některých z nich projevilo již po několika týdnech expozice různými zdravotními potížemi, které nesly znaky akutní deficience hořčíku.

Významným faktorem příjmu vápníku a hořčíku je jejich biodostupnost. Ve vodě jsou prvky přítomny převážně ve volném iontovém stavu, a proto se ve většině případů vstřebávají z vody mnohem lépe než z potravy, kde jsou většinou vázány na různé jiné látky [12]. Vstřebání hořčíku z potravy ve střevu je okolo 30 %, zatímco z vody, kde je hořčík ve volné iontové formě, je využitelnost vyšší – údaje se liší a udává se od 40 do 60 % [6, 16, 26]. Pitná voda je také relativně výhodnějším zdrojem Mg a Ca než potrava, protože se stoupající dávkou klesá obecně vstřebaný podíl těchto prvků [2, 26]. Meta-analýza provedených studií publikovaných v letech 1966–1998 dokonce ukázala, že vstřebávání vápníku z minerální vody je statisticky významně vyšší než z mléčných produktů [2].

Důležitý je rovněž poměr vápníku a hořčíku v pitné vodě. Obecně je uváděn jako vhodný poměr Mg a Ca 1:2 [7, 8], což je důležité pro optimální vstřebávání hořčíku, jelikož se vzrůstajícím podílem vápníku klesá vstřebávání hořčíku.

Jak uvádí F. Kožíšek [11], neexistuje žádný určitý důkaz, že by zvýšená tvrdost pitné vody byla příčinou nepříznivých zdravotních účinků na člověka. Ze zdravotního hlediska lze odůvodnit změkčení pouze takové vody, která svým obsahem vápníku a hořčíku výrazně přesahuje doporučenou horní hranici tvrdosti (5 mmol/l), a není-li k dispozici jiný vhodný zdroj vody. Specifickým problémem se však stává tvrdost u teplé vody. Když voda obsahuje hydrogenuhličitany, dojde při zahřívání k odstranění CO_2 a změně hydrogenuhličitanu na uhličitan vápenatý, který se vysráží ve formě tuhého vodního kamene na stěnách varných nádob, trubek a bojlerů. Z těchto důvodů se vápník a hořčík z napájecí a teplé užitkové vody odstraňuje. Jiná situace však nastává, má-li být změkčena i pitná voda. V případě změkčování vody pro technologické účely v domovech (z důvodu eliminace zanášení potrubí, bojlerů či varných nádob vodním kamenem) je vhodné vést do kuchyně (nebo tam, kde se voda odebírá na pití a vaření) odbočku potrubí s vodou nezměkčenou, resp. tvrdou.

V rámci projektu LIFE – WATER and HEALTH bylo prokázáno, že zdravotní stav obyvatel, kteří začali konzumovat pitnou vodu se zvýšeným obsahem Ca a Mg, se postupně zlepšuje. Došlo k signifikantnímu zlepšení jejich kardiovaskulárního systému. Statistická analýza také potvrdila nejvyšší vliv obsahu Ca a Mg v pitné vodě na pružnost cév, který byl větší než vliv BMI, konzumace alkoholu a kouření.

Na základě pilotního testování bylo prokázáno, že je možné vyrobit poměrně jednoduché rekarbonizační zařízení pro obohacování pitné vody o Ca a Mg. Takové zařízení lze umístit i na dalších vodních zdrojích s nízkým obsahem Ca a Mg. Provozní náklady na obohacování nízkomineralizované vody se pohybují na úrovni 0,1 € na m^3 vyrobené vody.

Literatura/References

[1] Beňová, N. (2024): Detailná charakteristika zdravotného stavu obyvateľov SR v závislosti od obsahov Ca a Mg v pitnej vode, Diplomová práce, Univerzita Komenského v Bratislave – Prírodovedecká fakulta. Bratislava.

[2] Böhmer, H.; Müller, H.; Resch K. L. (2000). Calcium supplementation with calcium rich-mineral waters: a systematic review and meta-analysis of its bioavailability. Osteoporos. Int. 11: 938–943.

[3] Crawford, M. D.; Garner, M. S.; Morris, J. N. (1971). Changes in water hardness and local death rates. Lancet 2: 327. –329.

[4] Cvečková, V.; Rapant, S. (2022): Improvement of health status of population of the Slovak Republic throught drinking water re-carbonization. Monograph. Comenius University in Bratislave, 80 p., ISBN 978-80-223-5488-2. In Slovak.

[5] Das, G. (1988). You and your drinking water: health implications for the use of cation exchange water softeners. J. Clin. Pharmacol. 28: 683. –690.

[6] Durlach, J. (1988). The importance of magnesium in water. In: Durlach J. (ed). Magnesium in Clinical Practice. London, John Libbey & Co Ltd; 221. –222.

[7] Durlach, J. (1989). Recommended dietary amounts of magnesium: Mg RDA. Magnes. Res. 2: 195. –203.
[8] Durlach, J.; Bara, M.; Guiet-Bara, A. (1989). Magnesium level in drinking water: its importance in cardiovascular risk. In: Itokawa Y.; Durlach J. (eds). Magnesium in Health and Disease. London, J.Libbey & Co Ltd; 173. –182.
[9] Haring, B. S. A.; Van Delft, W. (1981). Changes in the mineral composition of food as a result of cooking in „hard" and „soft" waters. Arch. Environ. Health 36: 33. –35.
[10] Kobayashi, J. (1957). On geographical relationship between the chemical nature of river water and death rate from apoplexy. Berichte des Ohara Instituts für landwirtschaftliche Biologie Okyama University 11: 12. –21.
[11] Kožíšek, F. (2000a): Zdravotní význam „tvrdosti" pitné vody. Státní zdravotní ústav, Praha.
[12] Kožíšek, F. (2000b). Zdravotní rizika pití demineralizované vody Výzkumná zpráva. SZÚ, Praha.
[13] Kožíšek, F.; Kos J.; Pumann P. (2007): Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství. Učební pomůcka pro získání znalostí nutných k ochraně veřejného zdraví z hlediska prevence nemocí způsobených vodou. Státní zdravotní ústav, Praha.
[14] Kožíšek, F. (2020): Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 112, 104589 (https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104589).
[15] Marx, A.; Neutra, R. R. (1997). Magnesium in drinking water and ischemic heart disease. Epidemiol. Rev. 19: 258. –272.
[16] Neutra, R. R. (1999). Epidemiology vs Physiology? Drinking water magnesium and cardiac mortality. Epidemiology 10: 4. –6.
[17] Oh, C.K.; Lücker, P. W.; Wetzelsberger, N.; Kuhlmann, F. (1986). The determination of magnesium, calcium, sodium and potassium in assorted foods with special attention t o the loss of electrolytes after various forms of food preparations. Magnes. Bull. 8:297. –302.
[18] Rapant, S.; Cvečková, V.; Fajčíková, K.; Sedláková, D. a Stehlíková, B. (2017): Impact of Calcium and Magnesium in Groundwater and Drinking Water on the Health of Inhabitants of the Slovak Republic. Inter. J. of Environmental Research and Public Health,14, 278.
[19] Rapant, S. (2018): Eliminácia negatívneho vplyvu geologickej zložky životného prostredia na zdravotný stav obyvateľstva okresu Krupina. Laická správa. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra. Bratislava.
[20] Rapant, S.; Cvečková, V.; Fajčíková, K.; Hajdúk, I.; Hiller, E.; Stehlíková, B. (2019): Hard Water, More Elastic Arteries: A Case Study from Krupina District, Slovakia. Int. J. Environ. Res. Public Health, 16, 1521; doi:10.3390/ijerph16091521.
[21] Rapant, S.; Cvečková, V.; Hiller, E.; Jurkovičová, D.; Kožišek, F.; Stehlíková, 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
[22] Rapant, S.; Letkovičová, A.; Jurkovičová, D.; Kosmovský, V.; Kožíšek, F.; Jurkovič, Ľ. (2021): Differences in health status of Slovak municipalities supplied with drinking water of different hardness values. Environ Geochem Health, 43, 2665–2677 (https://doi.org/10.1007/s 10653-020-00664-6).
[23] Rapant, S.; Cvečková, V.; Čermák, P. (2022): Enrichment of drinking water with Ca and Mg by a fluidized bed recarbonization reactor: a case study of Devičie, Slovak Republic. Journal of Water and Health Vol 20 No 4, 630 doi: 10.2166/wh.2022.252.
[24] Rubenowitz, E.; Axelsson, G.; Rylander, R. (1999). Magnesium and calcium in drinking water and death from acute myocardial infarction in women. Epidemiology 10: 31. –36.
[25] Rubenowitz, E.; Molin, I.; Axelsson, Rylander, R. (2000). Magnesium in drinking water in relation to morbidity and mortality from acute myocardial infarction. Epidemiology 11: 416. –421.
[26] Sabatier, M.; Arnaud, M. J.; Kastenmayer, P.; Rytz, A.; Barclay, D. V. (2002). Meal effect on magnesium bioavailability from mineral water in healthy women. Am. J. Clin. Nutr. 75: 65. –71.
[27] Schroeder, H.A. (1960). Relation between mortality from cardiovascular disease and treated water supplies. JAMA 172: 1902. –1908.
[28] Skljar, V. E.; Kosenko, K. H.; Klimenko, V. G. (1987). Vliv různých koncentrací fluoru, vápníku a hořčíku v pitné vodě na výskyt onemocnění zubů a tkání parodontu (v ruštině). Gig. Sanit. No.8/1987: 21. –23.
[29] Verd Vallespir, S.; Domingues Sanches, J.; Gonzales Quintial, M.; Vidal Mas, M.; Mariano Soler, A. C.; de Roque Company, C.; Sevilla Marcos, J. M. (1992). Association between calcium content of drinking water and fractures in children (španělsky). An. Esp. Pediatr. 37: 461. –465.
[30] Yang, Ch. Y.; Chiu, J. F.; Chiu, H. F.; Wang, T. N.; Lee, Ch. H.; Ko, Y. Ch. (1996). Relationship between water hardness and coronary mortality in Taiwan. J. Toxicol. Environ. Health 49: 1. –9.
[31] Yasui, M.; Ota, K.; Yoshida, M. (1997). Effects of low calcium and magnesium dietary intake on the central nervous system tissues of rats and calcium-magnesium related disorders in the amyotrophic lateral sclerosis focus in the Kii Peninsula of Japan. Magnes. Res. 10: 39–50.

RNDr. Jan Bartoň[1] (autor pro korespondenci)
Mgr. Nina Beňová[2]
Mgr. Veronika Cvečková, Ph.D.[2]
Mgr. Patrik Čermák[2]
doc. RNDr. Stanislav Rapant, DrSc.[2]

[1] RNDr. Jan Bartoň
Podstránská 16
627 00 Brno
honzabarton@seznam.cz

[2] Prírodovedecká fakulta
Univerzita Komenského v Bratislave
Mlynská dolina
Ilkovičova 6
842 15 Bratislava 4

The impact of water hardness on human health (Bartoň J.; Beňová, N.; Cvečková, V.; Čermák, P.; Rapant, S.)

Abstract
As part of the LIFE projects supported by the EU LIFE financial instrument and the Ministry of the Environment of the Slovak Republic, the health status of the population was monitored in relation to water hardness. Using various methods – primarily arterial elasticity measurements (i.e., arterial age) – a significant statistical correlation was found between the population's health and a deficit in drinking water hardness. In regions with soft, hardness-deficient water, an increased mortality rate due to cardiovascular and oncological diseases, as well as diabetes, was confirmed. Additionally, unusually high rates of Down syndrome, cerebral palsy, and epilepsy were observed in these areas. Based on these findings, experimental water hardening (recarbonation) was initiated in hardness-deficient areas of Slovakia. Subsequent health monitoring after the recarbonation process revealed a significant improvement in arterial age, which is considered one of the indicators of quality of life, life expectancy, and the incidence of serious diseases.

Key words
water hardness – recarbonation – hardness deficit and public health

hydro pur
Originální patentovaná filtrační technika pro:
- úpravu pitných vod
- průmysl a chladící okruhy
- domácnosti a rodinné domy
- membránové technologie

Chráštany 140, 252 19 Rudná u Prahy
Tel.: 731 629 796, e.mail: kancelar@hydro-pur.cz
www.hydro-pur.cz

Měření rychlosti vodního proudu přenosnými ultrazvukovými měřidly v profilech s volnou hladinou – 1. část

Michal Žoužela, Pavel Zubík, Jan Šulc, Renata Khainová, Pavel Orság, Vojtěch Vachta

Abstrakt

Příspěvek shrnuje vývoj a ověřování moderních metod měření rychlosti proudění vody v otevřených profilech pomocí ultrazvukových (UZV) měřidel. Vedle tradičních zařízení, jako jsou vodoměrné vrtule a elektromagnetická indukční měřidla, se zkoumají technologie využívající odraz ultrazvuku. Tyto metody mohou zajistit rychlejší, přesnější a komfortnější měření.

V letech 2023 a 2024 byly v rámci Plánu rozvoje metrologie Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví testovány dva typy UZV měřidel: *FlowTracker2* a *NivuFlow Stick*. Cílem bylo posoudit jejich použitelnost pro úřední měření průtoku. Zkoušky zahrnovaly laboratorní i terénní testování zaměřené na metrologické parametry, jako jsou replikovatelnost a stabilita měření za nízkých rychlostí. Zařízení byla rovněž testována v nadkritickém režimu proudění a při měření odpadních vod.

Klíčová slova

ultrazvuková měřidla – FlowTracker2 – NivuFlow Stick – průtok – rychlost – nadkritické proudění – nejistota měření – úřední měření – výzkum – metrologie

1. Úvod

Měření rychlosti proudění vody při použití metody rychlostního pole představuje jeden ze základních postupů pro stanovení průtoku v profilech s volnou hladinou. S rozvojem průmyslových technologií a celkovou modernizací dochází rovněž k významnému posunu v oblasti měřicí techniky.

V současné praxi se pro měření bodové rychlosti proudu nejčastěji využívají vodoměrné vrtule s rotačním (propelerovým) prvkem. V posledních letech byla v oblasti legální metrologie České republiky povolena i možnost použití elektromagnetických indukčních měřidel (EMI). Oba tyto typy měřidel jsou dnes používány subjekty, které jsou dle § 21 zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů, autorizovány pro úřední měření průtoku s volnou hladinou.

Kromě těchto zařízení existují také měřidla založená na jiných fyzikálních principech – například využívající odraz ultrazvukových (UZV) vln od částic nebo bublinek unášených proudící kapalinou. Tato technologie rozšiřuje možnosti uživatelů při měření bodových či průměrných rychlostí v definovaném objemu, případně podél svislice. V mnoha případech umožňují tato měřidla zrychlení samotného procesu měření, zvyšují komfort obsluhy i jistotu při následném vyhodnocení výsledků. Výhodou některých z těchto zařízení je rovněž možnost jejich použití v kanalizačních profilech s odpadní vodou obsahující látky, které ulpívají na propelerech klasických vodoměrných vrtulí, a mohou tak ovlivnit přesnost měření.

Od června 2023 je v platnosti harmonizovaná norma ČSN EN ISO 748 [1], která upravuje metody měření průtoku v otevřených profilech. Tato norma nově zahrnuje obě výše zmíněné UZV metody – tedy měření bodové i svislicové rychlosti. Přestože některé měřicí skupiny, včetně autorizovaných subjektů, již tato zařízení v praxi používají, jejich využití pro úřední měření zatím není umožněno.

V návaznosti na podněty a odborné diskuse se zástupci Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), Českého metrologického institutu (ČMI), Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR (SOVAK ČR) a dalších odborných organizací byly v letech 2023 a 2024 realizovány dva úkoly Plánu rozvoje metrologie (PRM), jejichž cílem bylo posoudit použitelnost UZV měřidel pro měření rychlosti proudění. Oba na sebe navazující úkoly se zaměřily na možnosti použití přenosných UZV měřidel pro měření bodové i svislicové rychlosti k úřednímu měření průtoku.

V rámci těchto úkolů byly posuzovány dva typy měřidel. Prvním z nich byl přístroj FlowTracker2 od společnosti SonTek, typově klasifikovaný jako ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), který umožňuje měření bodové rychlosti a zároveň poskytuje výpočet celkového průtoku přes daný profil. Druhým hodnoceným měřidlem byl NivuFlow Stick od společnosti NIVUS GmbH, pracující na principu AECV (Acoustic Echo Correlation Velocimeter). Tento přístroj slouží k měření průměrné rychlosti na měrné svislici a při postupném traverzování přes šířku profilu taktéž umožňuje vyhodnocení celkového průtoku.

Závěrečné zprávy z těchto úkolů [11, 12] obsahují teoretickou a experimentální část. Teoretická část je zaměřena na detailní popis principů měření, zkušenosti s provozním nasazením vybraných zařízení a také na otázky metrologické návaznosti. Experimentální část popisuje testování metrologických charakteristik zahrnující posouzení replikovatelnosti a variability měřených rychlostí včetně zhodnocení stability vykazovaných rychlostí s velmi nízkou hodnotou. Hodnoceny jsou rovněž provozní aspekty chování měřidel, například v podmínkách nadkritického proudění, v prostředí stokových sítí protékaných odpadní vodou nebo při simulacích realistických proudových poměrů. Výsledkem těchto aktivit bylo mimo jiné stanovení nejistot bodových a svislicových rychlostí. Získali jsme taktéž řadu zkušeností v oblasti metrologické návaznosti měřidel při jejich kalibraci v akreditované kalibrační laboratoři vodoměrných přístrojů v Bratislavě.

Hlavní závěry z těchto prací jsou uvedeny v následujícím textu.

2. UZV měřidla typu ADV a AECV

Měřidla typu vodoměrná vrtule nebo EMI měřidlo byla v rámci PRM v minulých letech podrobena rozsáhlým experimentálním pracím a jsou používána při provádění úředního měření podle metrologického předpisu MP 010 [5].

Segment UZV měřidel typu ADV (FlowTracker2) a AECV (NivuFlow Stick) však těmito dlouhodobými experimentálními zkouškami neprošel. V následujících odstavcích proto budou měřidla tohoto typu blíže popsána. Zabýváme se zde pouze technickými a metrologickými aspekty při měření bodové, resp. svislicové rychlosti předmětnými měřidly. Validace postupů a způsobů volby počtu bodů na svislici, počtu svislic a výpočtu průtoku není součástí našich prací. Podrobné informace jsou součástí rozsáhlých návodů pro obsluhu [8, 9] k oběma měřidlům.

2.1. ADV měřidlo – FlowTracker2

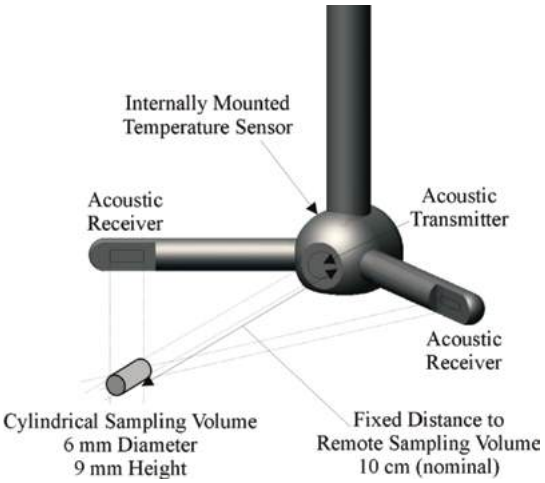
UZV měřidlo FlowTracker2 se jako většina podobných přístrojů skládá ze snímače bodové rychlosti, kabelu a vyhodnocovací jednotky, které jsou při měření upevněny na speciálním soutyčí. Snímač měřidla se dodává pro měření jednotlivých složek vektoru bodové rychlosti ve dvourozměrné nebo třírozměrné variantě (2D/3D). 3D varianta snímače společně s vyhodnocovací jednotkou je patrná z **obr. 1**.

Z metrologického hlediska je velmi zajímavá informace uvedená v technických podkladech, že měřidlo (snímač) není třeba podrobovat pravidelné opakované kalibraci, jelikož je továrně invariantně (neměnně) nastaveno. Měřidlo, resp. SW vyhodnocovací jednotky, tak pro tuto základní metrologickou činnost není vhodně uzpůsobeno.

Stanovení rychlosti měřidlem je založeno na vyhodnocení změny kmitočtu vysílaného vlnění po jeho odrazu od částic unášených proudící kapalinou. Průtokoměry na Dopplerově principu tedy měří přesněji vzato rychlosti pohybu částic, a ne vodního proudu (kapaliny). Odrazné částice (nehomogenity) ve vodě jsou tvořeny bublinami nebo pevnými odraznými částicemi [4, 8, 13].

Obr. 1. Vyhodnocovací jednotka, kabel a snímač měřidla FlowTracker2 – 3D verze

FlowTracker2 je vybaven přijímači oddělenými od vysílače UZV signálu. Vysílač generuje signál v úzkém svazku o průměru 6 mm, jehož odraz od částic je zachycen přijímači podle **obr. 2**. V případě 2D varianty jsou přijímače dva, v případě 3D varianty jsou přijí-



Obr. 2. Pozice a velikost měrného objemu u 2D varianty snímače

mače tři. Pevné a neměnné vzdálenosti vysílače a přijímačů zajišťují hardwarovou opakovatelnost měření bodové rychlosti v objemu kapaliny cca 0,3 cm^3.

Principiálně je vysílačem generován krátký puls o známé frekvenci, který je po odrazu od částic transportovaných proudem zaznamenán přijímači. Z posunu vyslané a odražené frekvence je možné usuzovat na rychlost příslušné částice. Ve všech fázích procesu se pracuje s poměrem síly signálu a okolního šumu. Výrobce udává, že správnou volbou optimalizace algoritmu zpracování signálu je možné zajistit měření v rychlostním rozsahu do ±4 $m.s^{-1}$ s tím, že velmi dobrých výsledků je možné dosáhnout i pro rychlosti pod ±0,01 $m.s^{-1}$.

V souvislosti s měřením přístroj neustále vyhodnocuje celou řadu parametrů a o výsledcích různou formou a v různých momentech měření na displeji vyhodnocovací jednotky informuje uživatele. Z hlediska měření bodové rychlosti vodního proudu je nejdůležitějším parametrem hodnota SNR (Signal to Noise Ratio). Představuje poměr odraženého UZV signálu vzhledem k okolnímu šumu. Hodnota je vyjadřována v logaritmických jednotkách v dB a za běžných podmínek by měla být vyšší než 10 dB. Nižší hodnoty SNR jsou především známkou nízkého počtu odrazných částic v proudu měřené kapaliny. V souvislosti s hlášeními je třeba uvést, že na první pohled jich je velmi mnoho a pro nezkušeného měřiče mohou představovat jistou překážku v rozhodovacím procesu zvláště při provádění měření v terénu.

2.2. AECV měřidlo – NivuFlow Stick

UZV měřidlo NivuFlow Stick se skládá z rychlostního snímače, kabelu a měřicího převodníku, jenž jsou upevněny na soutyčí tak, jak je patrné z **obr. 3**. Měřidlo není vybaveno vyhodnocovací jednotkou, tu představuje libovolný mobilní telefon, tablet nebo PC, které se k převodníku připojí bezdrátově pomoci WLAN, která je v okolí do cca 20 m převodníkem generována.

Snímač měřidla se dodává v klínovém provedení s tím, že UZV signál je emitován okolo radiály, která je vedena ve svislé rovině proti proudně směrem vzhůru od snímače pod úhlem cca 55° od vodorovné. Na této radiále jsou stanoveny rychlosti v celkem maximálně 16 po hloubce proudu rovnoměrně rozložených měřicích oknech. Z těchto měření je následně usuzováno na průměrnou rychlost na svislici. Znamená to, že rychlosti stanovené v příslušných měřicích oknech jsou vztaženy ke svislici, nikoli k šikmé radiále, na které byly určeny. Pro zajištění správnosti měření je tedy třeba měření provádět v místech rovnoměrného proudění (v prizmatickém korytě), kdy je hladina proudu prakticky rovnoběžná se dnem koryta a průměrné „bodové" rychlosti v daných oknech jsou v dostatečné délce proudu v prostoru měrného profilu „konstantní".

Stanovení průměrné rychlosti na svislici pomocí měřidla NivuFlow Stick je prováděno AECV metodou, tedy křížovou korelací mezi dvěma po sobě jdoucími odraženými signály od unášené částice proudem tak, jak je naznačeno na **obr. 4**. Vysílačem, který je současně i přijímačem UZV signálu, je vyslán UZV puls, který se odrazí od unášené částice

Obr. 3. Měřidlo NivuFlow Stick při instalaci ve zkušebním žlabu laboratoře

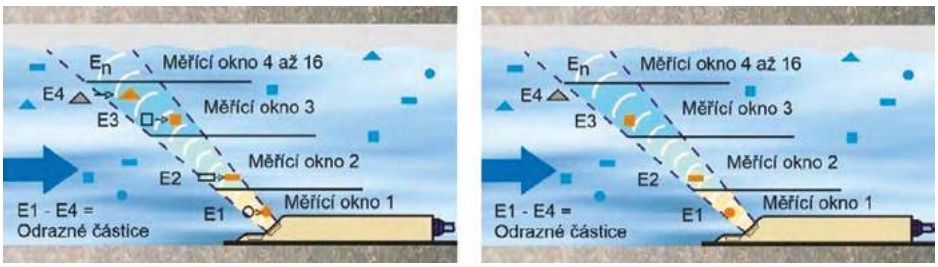
a vrací se zpět do vysílače (přijímače) signálu. Pokud je tento proces opakován znovu v určitém známém čase, obdržíme druhý časový snímek. Křížovou korelací mezi těmito dvěma snímky lze identifikovat pozici částice v daném měřicím okně. Stanovením uražené vzdálenosti částice v příslušném okně za daný čas lze stanovit příslušnou rychlost proudu. Vzhledem k tomu, že lze určit i místo odrazu od příslušných částic, je možné určit jejich výškovou polohu a přiřadit je k jednomu z 16 měřicích oken. Stanovení průměrné rychlosti na svislici je následně určeno integrací po výšce celé svislice, která je tvořena rychlostním profilem sestaveným z měřených a tzv. fiktivních rychlostí, jež byly předepsaným způsobem v blízkosti dna a hladiny (v oblastech mrtvého pásma) dopočteny [9,13].

Během měření jednotlivých svislicových rychlostí je na displeji zobrazována i kvalita zpracovávaného signálu, označovaná jako „Quality Triger min". Čím více vhodných částic je při analýze signálu k dispozici, tím větší hodnota daného parametru vyjádřená v procentech je na displeji zařízení indikována. Implicitní nastavení požadované minimální hodnoty činí 20 %. Ukazuje se, že měření je však bez problémů možné realizovat i při hodnotách 5 %.

3. Cíle experimentálních prací

Cíle experimentálních prací lze rozdělit do dvou hlavních oblastí.

Účelem prací v první oblasti bylo v relativně pravidelných intervalech po dobu 16 měsíců a v podmínkách naší speciální zkušební



Obr. 4. Ukázka měření a zpracování rychlostí (AECV) unášených částic ze dvou časových snímků v jednotlivých měřicích oknech [9, 13]

trati s kalibrovanými proudovými poměry získat vybraná data, vykazovaná předmětnými UZV měřidly, a na základě jejich zpracování se následně vyjádřit k zásadním metrologickým parametrům – mezilehlé preciznosti měření, variabilitě vykazovaných rychlostí a stabilitě vykazovaných nízkých rychlostí.

Druhá rozsáhlá oblast našeho zájmu se týkala zkoušek, které byly realizovány na našich laboratorních hydraulických tratích, ve stokových sítích in-situ nebo v kalibrační laboratoři vodoměrných přístrojů v Bratislavě. Jednalo se o následující dílčí úlohy:

- posouzení přesnosti měření (stanovení nejistoty bodové a svislicové rychlosti) v poměrech simulujících proudové podmínky reálných měrných profilů;
- posouzení vykazované rychlosti UZV měřidly v podmínkách nadkritického proudění;
- posouzení chování měřidel při použití v reálných podmínkách proudu odpadních vod;
- zajištění metrologické návaznosti měřidel v podmínkách kalibrační laboratoře.

Řešená témata experimentálních prací a z nich vyplývající skutečnosti jsou popsány v následujících kapitolách.

4. Výsledky vybraných metrologických charakteristik

V následujících odstavcích budou prezentovány zásadní výsledky získané v souvislosti s metrologickými charakteristikami předmětných měřidel. Detailní rozbor níže uvedené problematiky je uveden ve zprávách [11, 12] a v publikacích určených spíše pro metrologickou veřejnost (časopis Metrologie).

4.1. Posuzované typy UZV měřidel

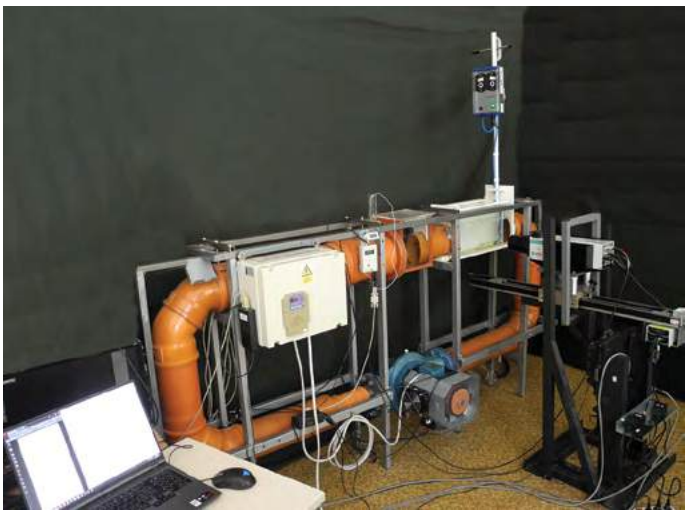
Experimentálním zkouškám byla podrobena celkem čtyři UZV měřidla rychlosti proudu. Tři z těchto UZV měřidel byla určena pro měření bodové rychlosti vodního proudu (ADV – FlowTracker2) a jedno pro měření průměrné rychlosti na měrné svislici (AECV – NivuFlow Stick).

Jedno měřidlo FlowTracker2 ve 3D variantě bylo trvale zapůjčeno společností AQUAMONITORING, s.r.o. (dále FlowTracker2 (AQ)). Další dva kusy identického měřidla ve 2D variantě byly v pravidelných intervalech zapůjčovány od brněnské pobočky Českého hydrometeorologického ústavu (dále FlowTracker2 (ČHMÚ_2) a FlowTracker2 (ČHMÚ_3)). Měřidlo NivuFlow Stick bylo zapůjčeno přímo od německého výrobce NIVUS GmbH prostřednictvím jeho zástupce pro ČR, společnosti DHI a. s.

4.2. Zkušební trať, instalace UZV měřidel a postup zkoušek

Zkušební trať, kterou naše pracoviště využívá pro různé typy měřidel rychlostí vodního proudu, byla vybudována v roce 2003 [6]. Pro potřeby výzkumných prací se dvěma UZV měřidly bylo třeba zkušební trať pro tato měřidla v roce 2023 upravit [11]. Nyní je trať vybavena dvěma měrnými prostory tak, jak je patrné z **obr. 5,** a lze ji využít pro různé typy měřidel rychlostí vodního proudu.

V obou měrných prostorech je možné s dostatečnou opakovatelností simulovat rychlosti v rozsahu od jednotek mm.s^{-1} do 1,5 m.s^{-1}.



Obr. 5. Celkový pohled na zkušební trať a uspořádání měřicího pracoviště s měřidlem NivuFlow Stick

Oba typy posuzovaných měřidel byly umístěny do druhého měrného prostoru. Ten je dimenzován tak, že umožňuje instalovat sondu měřidla FlowTracker2 pomocí pro daný účel speciálně zhotoveného držáku. Současně je umožněno do prostoru upevnit na pozici a provádět měření také s měřidlem NivuFlow Stick ve smyslu **obr. 5**.

Zkoušky s UZV měřidly byly prováděny za teplot vody okolo 23 °C. Vliv teploty na vykazované parametry předmětnými měřidly nebyl součástí experimentů. Množství odrazných částic v prostoru zkušební trati odpovídalo běžné pitné vodě nebo bylo u speciálních zkoušek zvyšováno přídavkem zinkové běloby.

Měření s oběma typy UZV měřidel bylo realizováno v roce 2023 prakticky v pravidelných třítýdenních intervalech. V roce 2024 byl tento interval prodloužen na dvojnásobek.

Celý rychlostní rozsah zkušební trati byl rozdělen do 13 úrovní. Za každé rychlostní úrovně byly 10krát odečteny příslušné metriky popisující chování měřidel a zkušební trati (otáčky čerpadla zkušební trati, rychlosti vykazované předmětnými měřidly, teploty apod). Z těchto deseti měření byly následně vyhodnoceny průměrné hodnoty a jejich variabilita. U měřidel FlowTracker2 byla shodně nastavena doba měření rychlosti na 10 s. U měřidla NivuFlow Stick, který provádí měření po celé svislici, byla doba měření nastavena na 30 s.

4.3. Mezilehlá preciznost měření

Pro dlouhodobé (rozšířené časové období) sledování výsledků měření v podmínkách opakovatelnosti (neměnné aspekty měřicího procesu) využívá metrologická praxe termínu „mezilehlá preciznost měření“. V některých pramenech [7] je užíván termín „replikovatelnost“, který je velmi výstižně popisován jako schopnost pravidelné opakovatelnosti.

Mezilehlou preciznost měření lze kvantifikovat nejistotou. Její velikost p_{Ac} je definována rozšířenou relativní hodnotou výběrové směrodatné odchylky průměrné rychlosti stanovené ze všech provedených m měření ve smyslu vztahu

$$p_{Ac} = u_c = 100.\frac{1}{\bar{v}}.k.s_{\bar{v}} = 100.\frac{1}{\bar{v}}.k\sqrt{\frac{1}{\sum_j^m{}_1 \Delta\bar{v}_j^2}}, \quad (1)$$

kde k je koeficient rozšíření uvažovaný hodnotou 2. Pro jednoznačnost uvádíme, že označení nejistoty p_{Ac} je převzato z dokumentu MP 010 [5]. Norma ČSN EN ISO 748 [1] označuje tuto nejistotu jako u_c.

V **grafu 1** je zobrazeno porovnání výsledků relativních rozšířených nejistot pro sledovaná UZV měřidla a hodnot uvedených v [1] platných pro vodoměrné vrtule. Hodnoty v [1] představují reprodukovatelnost parametrů vykazovaných vodoměrnými vrtulemi při mezilaboratorních kruhových porovnáních. Praxe ukazuje, že výsledky dosahovaných nejistot platných pro vodoměrné vrtule jsou pro daný účel (úřední měření průtoku v profilech s volnou hladinou) dostatečné.

V případě, že je k dispozici dostatek odrazných částic v proudu kapaliny, prakticky všechna UZV měřidla se chovají v oblasti nízkých rychlostí výrazně lépe, než tomu je u vodoměrných vrtulí. V této souvislosti je dobré si uvědomit, že mnohé vodoměrné vrtule prakticky neumožňují provádět korektně měření při rychlostech pod 0,05 m.s^{-1}. V tomto případě je přínos UZV měřidel jednoznačně kladný. Běžná říční nebo odpadní voda obsahuje dostatečné množství odrazných částic.

Z **grafu 1** lze vypozorovat velmi dobrou shodu ve výsledcích napříč všemi posuzovanými UZV měřidly. V porovnání se závislostmi uvedenými v ČSN EN ISO 748 pro oblast rychlostí pod 0,3 m.s^{-1} lze uvažovat s nižší hodnotou nejistoty představující replikovatelnost (reprodukovatelnost), než jsou uváděny pro vodoměrné vrtule. Při měření za nízkých rychlostí lze v dlouhodobém horizontu obecně očekávat lepší či shodné výsledky jako u vodoměrných vrtulí či EMI měřidel. V oblasti vyšších rychlostí lze deklarovat shodu s vodoměrnými vrtulemi i EMI měřidly.

V této souvislosti jsme do **grafu 1** zanesli i výsledky získané v rámci zpracování PRM z let 2018 až 2020 [10], které se věnovaly identické problematice zaměřené na EMI měřidla. Jsou zde pro nejpoužívanější typ EMI měřidla – MF Pro – vyneseny průběhy příslušné nejistoty po shodné době sledování (asi 15 měsíců) a po ukončení zkoušek po 30 měsících. Všimněme si, že za srovnatelné časové období (15 měsíců) jsou výsledky všech UZV měřidel výrazně lepší, než tomu bylo u EMI měřidla. Pokud jsme tedy u EMI měřidel přistoupili (na základě výrazně delšího pozorování) k tomu, že doporučená doba mezi po sobě jdoucími kalibracemi by neměla překročit 2 roky, je tento požadavek na UZV měřidla taktéž z hlediska spolehlivosti akceptovatelný. S velkou mírou pravděpodobnosti lze z dosažených výsledků na základě provedených měření v období 16 měsíců extrapolovat, že vývoj

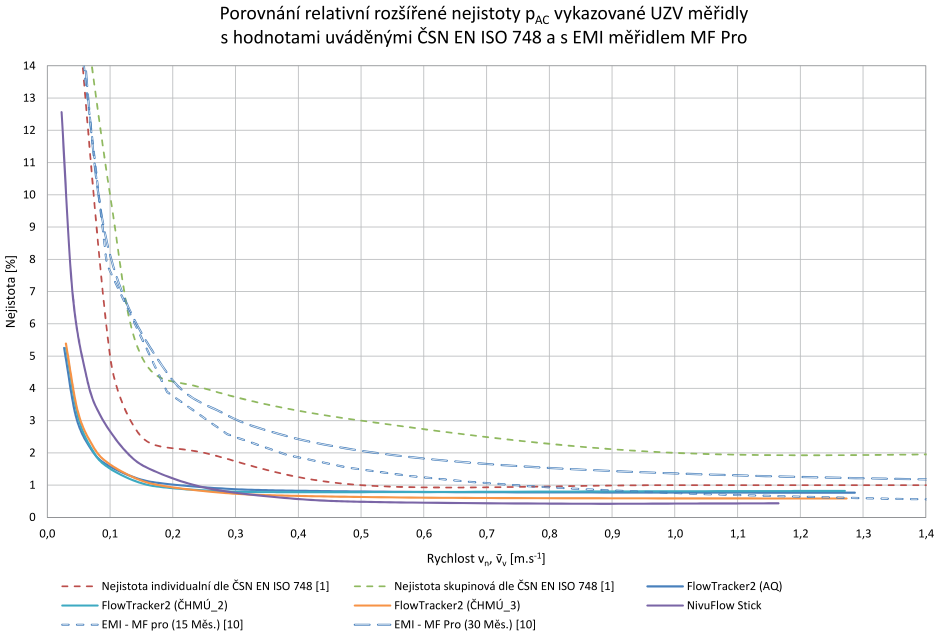
předmětné nejistoty p_{Ac} zůstane pro 24měsíční období ve vymezených mezích definovaných ČSN EN ISO 748. To platí za podmínky, že nedojde ke ztrátě měřicí schopnosti daného měřidla.

4.4. Variabilita rychlostí vykazovaných UZV-měřidly

Rozptyl hodnot měřených rychlostí vykazovaných UZV měřidly v závislosti na čase lze identifikovat tak, že se vzájemně porovnají postupně získávané hodnoty směrodatné odchylky S_v deseti po sobě jdoucích odečtů rychlostí na displeji UZV měřidla.

Lze říci, že směrodatné odchylky vystihující míru variability jsou pro oba typy měřidel v pozorovaném časovém období prakticky neměnné. Vykazované hodnoty se v závislosti na otáčkách čerpadla zkušební trati pohybují pro FlowTracker2 (AQ) v rozmezí (1–11) mm.s^{-1}, resp. (1–33) mm.s^{-1} pro NivuFlow Stick. Nejvyšší hodnoty odpovídají rychlostem v prostoru zkušební trati okolo 1,4 m.s^{-1}.

Bylo by nesprávné porovnávat absolutní hodnoty S_v vypočtené z dat získaných při měření s oběma typy posuzovaných měřidel. Zatímco u měřidla FlowTracker2 vystihují směrodatné odchylky variabilitu bodové rychlosti, u měřidla NivuFlow Stick se jedná o variabilitu stanovené průměrné rychlosti na svislici.



Graf 1. Relativní rozšířená nejistota p_{Ac} pro všechna sledovaná UZV měřidla v porovnání s vodoměrnými vrtulemi a EMI-měřidly

V rámci speciálních měření jsme do vody ve zkušební trati přidávali zinkovou bělobu, která měla zajistit vyšší odrazivost UZV signálu při měření předmětnými měřidly. Zjistili jsme, že kvalita signálu (u obou typů měřidel), ze kterého je generována hodnota rychlosti, se významně zlepšila. S narůstajícím počtem částic se preciznost měření zlepšuje, čímž variabilita měřených rychlostí vyjádřená směrodatnou odchylkou S_v klesá.

Správnost měření rychlosti před a po sycení vodního prostoru částicemi tak, jak byla popsána v předchozí kapitole, je v deklarovaných mezích zajištěna.

Lze konstatovat, že ani jedno z posuzovaných měřidel nelze doporučit pro přímé měření absolutní hodnoty fluktuace podélné složky rychlosti vodního proudu. Oběma přístroji zjištěné hodnoty variability měřené rychlosti jsou závislé na množství částic v proudu kapaliny.

4.5. Stabilita měřidel za nízkých rychlostí

V rámci zkoušek jsme se zaměřili na sledování dlouhodobé stability UZV měřidel při měření velmi nízkých rychlostí okolo 0,025 m.s^{-1}. Za 16 měsíců došlo ke změnám v řádu ±2 mm.s^{-1} s tím, že v některých případech byla tato hranice ojediněle překročena. Se zjednodušujícím přihlédnutím k tomu, že deklarovaná přesnost měřidla FlowTracker2 se pohybuje na úrovni ±2,5 mm.s^{-1}, resp. ±5,0 mm.s^{-1} pro NivuFlow Stick, jsou výsledky velmi dobré.

Stabilita vykazovaných nízkých rychlostí ve sledovaném období pro všechna měřidla byla velmi dobrá a pokud nedojde ke ztrátě jejich měřicí schopnosti, lze předpokládat, že zůstane dlouhodobě zachována.

4.5. Shrnutí výsledků vybraných metrologických parametrů

Z pohledu metrologických charakteristik shledáváme obě měřidla pracující na UZV principu jako vhodná pro měření bodové a svislicové rychlosti pro potřeby subjektů autorizovaných pro úřední měření průtoku v profilech s volnou hladinou.

Délka doporučeného rekalibračního intervalu pro UZV měřidla je navrhována 2 roky. Tato doba je shodná s dobou, jež je uvedena v MP 010 [5] při měření bodových rychlostí proudu za pomoci vodoměrných vrtulí a EMI měřidel.

5. Stanovení nejistoty měření bodové a svislicové rychlosti proudu

Ačkoli předpokládáme podmínky ustáleného proudění, je okamžitá bodová rychlost v důsledku turbulence proudu náhodným jevem. Průměrná bodová rychlost, určená z měření v určitém bodě v konečném čase, bude přiblížením ke skutečné časově střední bodové rychlosti v tomto bodě. Volba doby měření v měrném bodě závisí především na typu použitého měřidla (u vodoměrné vrtule např. průměru a stoupání propeleru), absolutní hodnotě měřené rychlosti a její intenzitě turbulence, úhlu náběhu proudu, na umístění měrného bodu v měrném profilu a na počtu měrných bodů v měrném profilu. Nejistota hodnoty měřené rychlosti obecně s rostoucí dobou měření klesá.

Pro vodoměrné vrtule, EMI a UZV měřidla dle ČSN ISO EN 748 [1] se doporučuje měření provádět po dobu minimálně 30 s. V metrologickém předpisu MP 010 [5] se podle použitého měřidla doporučuje volit interval od 15 s do 60 s. U EMI měřidel je možné měření provádět pouze 5 s, ale musí být několikrát opakováno.

Každý uživatel by měl zvážit a v lepším případě, má-li tuto možnost, korigovat hodnoty nejistoty, resp. stanovit délku doby měření v měrném bodě pro své vlastní podmínky měření. Tato korekce má být provedena na základě měření turbulence v měrném bodě a z ní vypočtené autokorelační funkce, která vyjadřuje míru vzájemných závislostí fluktuace bodové rychlosti proudu s ohledem na délku doby měření v měrném bodě.

Je zřejmé, že není při praktických měřeních in situ možné zabývat se rozborem fluktuací bodové rychlosti proudu, natož určovat průběh autokorelační funkce. Tento postup lze však s úspěchem aplikovat v laboratorních podmínkách, do kterých se „přenesou“ podmínky, jež se realizují v reálných měrných tratích. Podmínky lze vhodně popsat intenzitou turbulence bodové rychlosti (především její podélné složky), stanovenou například z měření vodoměrnou vrtulí. Intenzita turbulence je definována jako poměr mezi směrodatnou odchylkou bodových rychlostí určených s danou vzorkovací periodou v dostatečně dlouhém časovém úseku a rychlostí průměrnou. Obvykle se používá vzorkovací perioda 10 s, s tím, že celková doba měření dosahuje minimálně 1000 s. Výhodou tohoto přístupu je, že hodnotu intenzity turbulence proudu lze pomocí teorie statistiky a nejistot s využitím hodnot autokorelační funkce transformovat na příslušnou hledanou nejistotu měření bodové rychlosti proudu p_{Au}, a to v závislosti na době jejího měření v daném bodě.

Monitoring reálných proudových podmínek byl autory proveden v období let 2002 až 2006 [14]. Měření bodových rychlostí proudu a vyhodnocení jejich fluktuací bylo realizováno in situ v celkem 20 profilech v místech, ve kterých se běžně provádějí úřední měření. Ve většině případů se jednalo o pravoúhlé měrné profily prizmatických tratí. Tato měření byla prováděna jednou konkrétní vodoměrnou vrtulí OTT HydroMet s propelerem č. 1. Z výsledků vyplynulo, že se v reálných tratích prizmatických profilů vyskytují okrajové proudové podmínky popsané intenzitou turbulence přibližně v rozsahu (2–15) %.

5.1. Posuzovaná měřidla a zkušební hydraulický žlab

Zkoušky v souvislosti se stanovením nejistoty měření bodové rychlosti v měrné trati hydraulického žlabu byly realizovány s oběma typy UZV měřidel. S jedním měřidlem FlowTracker2 (AQ) a s jedním měřidlem

NivuFlow Stick. Současně s těmito měřidly byla použita i vodoměrná vrtule s propelerem č. 1, pomocí které byly nastavovány a monitorovány požadované metriky proudových parametrů (rychlosti a jejich intenzity turbulence).

Upozorněme na jednu zásadní skutečnost, která se týká měřidla pracujícího na AECV principu – NivuFlow Stick. Měřidlo uživateli primárně indikuje hodnotu průměrné rychlosti na dané svislici. Tato průměrná rychlost je stanovena z jednotlivých „bodových" rychlostí určených v příslušných měřicích oknech. Počet měřicích oken závisí na absolutní hloubce proudu a využití plného počtu oken pro stanovení svislicové rychlosti lze očekávat od hloubky cca 0,20 m. V diagnostice měřených rychlostí v nabídce SW měřidla je možné zjistit počet aktivních měřicích oken i hodnoty příslušných „bodových" rychlostí v nich. Při experimentálních pracích jsme zvolili takový přístup, že pracujeme pouze s jednou konkrétní „bodovou" rychlostí v jednom z aktivních oken na dané svislici. Zachováme tím celkový koncept výpočtu nejistoty měření, který je mimo jiné založen i na tom, že pracuje s počtem bodů rozmístěných na svislici. Uživatel bude moci v této souvislosti využívat standardního matematického modelu k výpočtu nejistoty způsobem A tak, jak je definován v MP 010 [5].

Experimentální zkoušky probíhaly ve vybraném měrném profilu hydraulického zkušebního žlabu. Pro měření byl využíván nesklopný žlab s prosklenými bočními stěnami zobrazený na **obr. 6**, jenž je dlouhý 14 m a široký 1,0 m a v něm dosažitelná maximální průtočná kapacita činí 160 $l.s^{-1}$.

Snímače, resp. soutyčí posuzovaných měřidel, byly uchyceny k upevňovacímu nosníku pomocí speciálního připojovacího členu. Teplota během měření se pohybovala okolo hodnoty 19 °C. Voda v hydraulickém okruhu laboratoře obsahovala dostatečný počet odrazných částic. Oba typy měřidel vykazovaly kvalitu signálu na velmi dobré úrovni.

Pro simulaci reálných podmínek v prostoru měrného profilu, jež byly kvantifikovány intenzitou turbulence bodové rychlosti, byl použit do proudu svisle vložený prvek (prkno), za jehož ostrými hranami docházelo při obtékání ke vzniku vírů. V závislosti na půdorysné vzdálenosti mezi měrným profilem a tímto prvkem tak bylo možné velmi citlivě měnit příslušnou hodnotu intenzity turbulence bodové rychlosti.

5.2. Postup měření

Aby bylo možné zajistit přenos proudových parametrů (rychlostí a jejich intenzit turbulence) z reálných měrných tratí do měrných tratí hydraulické laboratoře při posouzení obou typů UZV měřidel, bylo třeba měření současně provádět i za použití výše zmíněné vodoměrné vrtule s propelerem č. 1. Experimentální práce tak probíhaly postupně se třemi měřidly.

Veškerá měření v laboratorních podmínkách byla provedena po dobu 2000 s se vzorkovací periodou 10 s. Pro každé z měřidel musel být zvolen jiný specifický postup získání takto zprůměrované hodnoty rychlosti. Žádné z měřidel totiž není uzpůsobeno na takové dlouhodobé měření.

Zkoušky, tak jak je patrné z **tab. 1**, byly realizovány při čtyřech referenčních rychlostech v rozsahu (0,10–0,83) $m.s^{-1}$ a intenzitách turbulence dosahujících hodnot téměř 10 %. Hloubka proudu za všech situací činila 0,30 m. Odlehlost měrného bodu ode dna žlabu činila 0,14 m.

Po prvních provedených testech a komplexním vyhodnocení měření s vodoměrnou vrtulí bylo potvrzeno, že výsledky související s velikostí intenzity turbulence prezentované v **tab. 1** pro příslušné okrajové podmínky jsou v souladu s hodnotami, které byly odvozeny v letech 2002 až 2006 [14]. Právě z těchto hodnot jsou jejich transformací stanoveny hodnoty nejistot měření bodových rychlostí uváděných v MP 010 [5], které jsou využívány k výpočtům nejistot průtoku při aplikaci metody rychlostního pole a jsou tak obecně přijaty jako vyhovující a dostatečně validovaný standard.

Tab. 1. Parametry realizovaných měření v závislosti na kombinaci okrajových podmínek; hodnoty vztaženy k vodoměrné vrtuli s propelerem č. 1

Vykazovaná bodová rychlost u	Intenzita turbulence
$m.s^{-1}$	%
0,101	4,72
0,092	9,58
0,315	2,88
0,274	5,99
0,501	2,27
0,440	4,32
0,801	2,64
0,834	4,70

Obr. 6. Protiproudní pohled na hydraulický zkušební žlab jmenovité šířky 1,0 m

5.3. Výsledky a jejich diskuze

Vzhledem k velkému rozsahu prováděných prací není možné na tomto místě přinést komplexní popis postupného a relativně rozsáhlého vyhodnocení a zhodnocení dané problematiky.

Výsledky stanovené jednotlivými měřidly jsou tak prezentovány pouze pro okrajové podmínky odpovídající dvěma úrovním intenzity turbulence v okolí rychlosti 0,3 $m.s^{-1}$. Za nízké turbulence proudu je dosažena velmi dobrá shoda napříč všemi výsledky. S nárůstem intenzity turbulence dochází ke zvýšení nejistoty měření u UZV měřidel v porovnání s hodnotami získanými pro vodoměrnou vrtuli. Lze obecně konstatovat, že se zvyšující se turbulencí proudu jsou UZV měřidla citlivější na změnu okamžitých rychlostí vodního proudu. I při integrační době 10 s nabízejí hodnoty variability (časové rozkolísanosti) zpravidla 1,5krát– 2krát vyšší. Podobný charakter výsledků lze pozorovat i pro obě vyšší rychlosti v okolí 0,5 $m.s^{-1}$, resp. 0,8 $m.s^{-1}$.

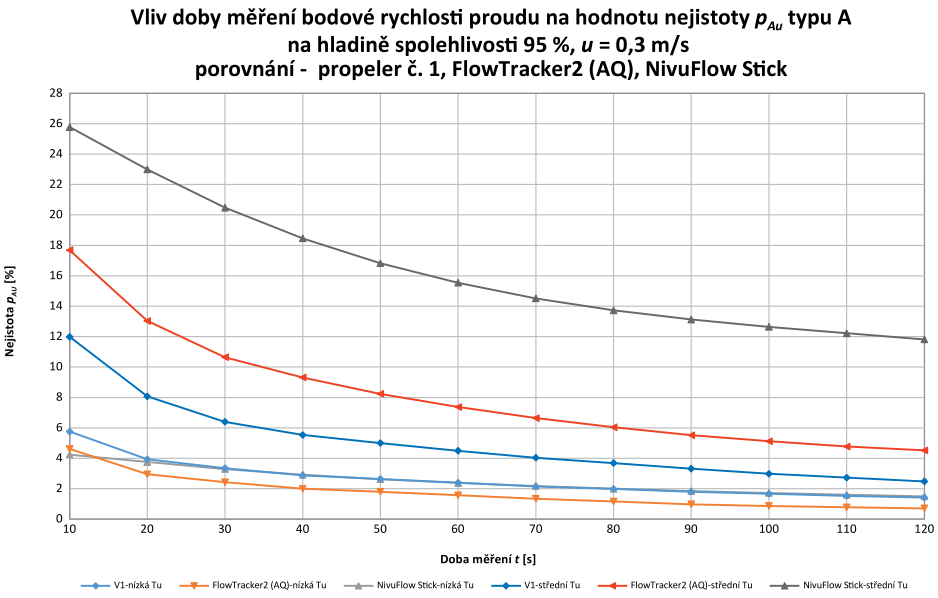
Při střední intenzitě turbulence je vždy pozorovatelná výrazně vyšší hodnota nejistoty měření pro měřidlo NivuFlow Stick. Z analýzy signálu vyplývá, že v případě střední intenzity turbulence dochází za všech rychlostí k jistému „zamrzání" hodnoty zobrazené v daném měřicím okně. Vždy na několik sekund je hodnota vykazované rychlosti konstantní, a následně dojde k její změně. Měřidlo přejde zpět na svoji vzorkovací frekvenci 1 Hz a po různě dlouhé době hodnota opět „zamrzne". Průměrné 10 s intervaly a z nich následně vypočtené metriky včetně průběhu autokorelační funkce jsou tak tímto efektem ovlivněny.

U měřidla FlowTracker2 (AQ) je nárůst oproti vodoměrné vrtuli v rozsahu posuzovaných rychlostí okolo tří až čtyř procentních bodů.

Hodnoty nejistot ve stanovení bodové rychlosti proudu p_{Au} jsou jedním ze vstupních zdrojů nejistot do celého matematického mo-

delu výpočtu celkové nejistoty stanoveného průtoku a zjednodušeně pojato je jejich vliv při klasické metodě rychlostního pole snížen o odmocninu z počtu měrných bodů v měrném profilu. Pokud tak v měrném profilu budeme mít například 12 bodů (4 měrné svislice a 3 body na každé z nich), budou hodnoty nejistot uvedené v **grafu 1** sníženy o hodnotu $12^{0,5} = 3,5$. Dostáváme se tak na úrovně nejistoty měření, která je mnohdy oproti ostatním zdrojům (vliv počtu svislic, dopad malé hloubky proudu) ne tolik významná.

Výše naznačená úvaha neplatí pro měřidlo NivuFlow Stick. U něho totiž dochází ke stanovení svislicové rychlosti nikoliv pouze např. v 3 bodech, ale při hloubkách vyšších než 0,20 m až v 16 měřicích oknech (bodech). Vliv fluktuace bodových rychlostí v jednotlivých z 16 měřicích oken na výslednou hodnotu svislicové rychlosti, resp. na nejistotu ve stanovení svislicové rychlosti, sníží o $16^{0,5} = 4$krát. V případě 4 svislic podle výše uvedeného příkladu dojde ještě o snížení uvedené hodnoty o odmocninu z jejich počtu, tedy $4^{0,5} = 2$krát. Celková hodnota nejistoty ve stanovení bodové rychlosti p_{Au} při použití AECV měřidla bude v tomto konkrétním případě 8krát nižší než hodnoty nejistot uvedené v **grafu 2**. To je hodnota více než 2krát nižší než při použití vodoměrné vrtule nebo ADV – UZV měřidla.



Graf 2. Nejistota ve stanovení bodové rychlosti pro všechna posuzovaná měřidla, u = 0,3 m.s^{-1}

Pokud bychom s úvahami zůstali pouze u stanovení rychlosti na svislici a požadovali bychom snížení nejistoty za střední intenzity turbulence tak, aby byla shodná s daty platnými pro vodoměrnou vrtuli, bylo by nutné získané hodnoty snížit zhruba na polovinu. To odpovídá požadavku na měření v minimálně 4 měřicích oknech. Odpovídající hloubka proudu tak musí dosahovat minimálně 100 mm.

Z experimentálních zkoušek současně vyplynula velmi dobrá shoda mezi absolutními rychlostmi stanovenými jednotlivými měřidly. Jednotnost a správnost měření bodové rychlosti vodního proudu za pomoci UZV měřidel byla bezpečně prokázána. Na základě provedených experimentálních zkoušek v této oblasti bylo možné doporučit převzít získané výsledky do metrologického předpisu MP 010 [5]. Při měření s oběma UZV měřidly je doporučitelné nesnižovat dobu měření v bodě, resp. na svislici, pod 30 s.

Dokončení v příštím čísle

INFORMUJEME

Česká technologie pro Ukrajinu: Dodávky kontejnerových úpraven vody od společnosti EKOSYSTEM, spol. s r. o.

Martin Guth

Pokračování pomoci v podmínkách války

Válka na Ukrajině přinesla zásadní výzvy nejen v oblasti bezpečnosti, ale i v oblasti každodenního fungování měst a obcí. Přístup k pitné vodě, který je v běžných podmínkách samozřejmostí, se stal jedním z nejpalčivějších problémů. Útoky na infrastrukturu, zničené rozvody pitné vody a přerušené dodávky elektřiny ohrožují zdraví tisíců lidí. Právě v této situaci se ukazuje význam mezinárodní spolupráce a technologických řešení, která dokážou rychle reagovat na aktuální potřeby obyvatel.

Po loňské úspěšné dodávce 13 mobilních úpraven vody do Dněpropetrovské oblasti, která zajistila pitnou vodu více než 100 000 obyvatel, společnost EKOSYSTEM, spol. s r. o., ve spolupráci se společností Colt CZ Defence Solutions s. r. o. pokračuje v tomto projektu. V nejnovější etapě zamíří na Ukrajinu dalších 25 kontejnerových jednotek. Ty budou instalovány zejména v okolí města Nikopol, těžce zasaženého válkou a destrukcí místní infrastruktury. Nově dodané technologie pokryjí potřeby zhruba 200 000 lidí, pro něž je přístup k nezávadné pitné vodě otázkou každodenního přežití.

Vylepšená technologie reagující na realitu válkou zasaženého regionu (obr. 1)

Každá kontejnerová úpravna je navržena jako modulární a plně soběstačné zařízení. Oproti první vlně dodávek byla technologie zásadně inovována tak, aby ještě lépe odpovídala místním podmínkám a kvalitě zdrojové vody. Ta je často extrémně znečištěná a v některých oblastech prakticky nevyužitelná bez složitého technologického procesu.

Celé řešení kombinuje několik základních technologických uzlů, mezi které patří mechanické a pískové filtrace, sorpce na filtrech s aktivním uhlím, hygienizační technologie, integrované zásobníky vody pro plynulé zásobování a zejména moderní jednotky reverzní osmózy, které jsou schopny odstranit i těžké kovy, soli či organické látky.

Tato víceúrovňová kombinace je výsledkem dlouholetých zkušeností v úpravárenské oblasti, s cílem skloubit robustnost a jednoduchost obsluhy s nejmodernějšími technologiemi. Důležitým faktorem je i snadná údržba a možnost rychlého zaškolení místních pracovníků, což zajišťuje dlouhodobou udržitelnost celého projektu.

Energetická soběstačnost jako klíčový faktor

Významným prvkem nového řešení je i plná nezávislost na místní energetické síti. Ta je v důsledku útoků a válečných škod často nestabilní či úplně mimo provoz. Každý kontejner proto disponuje dieselovým agregátem a zásobní nádrží na pohonné hmoty, což zajišťuje nepřetržitou produkci pitné vody i při dlouhodobých výpadcích elektřiny.

Energetická soběstačnost má zásadní význam nejen z hlediska kontinuálního provozu, ale i z hlediska bezpečnosti. Schopnost fungovat nezávisle na okolní infrastruktuře znamená, že úpravny mohou být rozmístěny přímo v místech největší potřeby – často v menších obcích nebo na okrajích měst, kde je situace nejkritičtější. Dieselové agregáty jsou navíc koncipovány tak, aby bylo možné jejich údržbu a doplňování paliva provádět lokálně a bez složité logistiky.

Přizpůsobení místnímu klimatu

Návrh kontejnerových úpraven počítá i s extrémními výkyvy teplot. Zatímco v zimě musí

Obr. 1. Pohled na technologii kontejnerové úpravny vody

Obr. 2. Příprava na protokolární předání úpraven vody

zařízení odolat mrazům, v létě se potýká s vysokými teplotami a prašným prostředím. Díky použití kvalitních materiálů, důkladné izolaci a spolehlivým řídicím systémům jsou kontejnery schopny fungovat spolehlivě po celý rok.

Všechny jednotky vybaveny komplexním zateplením, nezávislým vytápěním a protizámrzovými opatřeními. To umožňuje bezproblémový provoz zařízení i v teplotách hluboko pod bodem mrazu.

Humanitární i technická výzva

Projekt je nejen výrazným příspěvkem k humanitární pomoci, ale i technologickou výzvou. „Jsme rádi, že můžeme svým know-how pomoci obyvatelstvu v tak těžké době. Pro naši společnost je zároveň tato realizace příležitostí ukázat, že české technologie obstojí i v extrémně náročných podmínkách," uvedl zástupce společnosti EKOSYSTEM, spol. s r. o., obchodní ředitel Ing. Jakub Kubálek.

Humanitární rozměr projektu je zřejmý: každý kontejner znamená velké množství nezávadné vody pro každý den, což má přímý dopad na zdraví obyvatel. Nedostatek čisté vody je často zdrojem epidemií a nemocí, které v krizových oblastech představují stejně vážnou hrozbu jako samotný konflikt. Díky dodaným úpravnám se daří nejen předcházet zdravotním rizikům, ale i stabilizovat život místních komunit (**obr. 2**).

Výhled do budoucna

Společnost EKOSYSTEM nevnímá současnou dodávku jako ojedinělý krok, ale jako součást dlouhodobější podpory zasaženého regionu. V rámci iniciativy Aid for Trade Ukraine, kterou financuje Ministerstvo průmyslu a obchodu, byla v roce 2024 dokončena studie proveditelnosti výstavby čistírny odpadních vod pro aglomeraci města Holovanivsk.

„Naším cílem není pouze jednorázově dodat technologii, ale také podílet se na budoucí obnově vodohospodářské infrastruktury Ukrajiny. Chceme přispět k tomu, aby se po skončení konfliktu mohla země rychleji stabilizovat, a aby se české firmy mohly podílet na obnově ukrajinské vodohospodářské infrastruktury," dodává Ing. Kubálek.

Ing. František Keclík
EKOSYSTEM spol.s r. o.
www.ekosystem.cz

Technické plyny pro zlepšení kvality pitné vody

Společnost Messer Technogas s.r.o., dceřiná společnost nadnárodní skupiny Messer se sídlem v Německu, zaujímá v ČR přední místo na trhu s technickými plyny. Společnost Messer nabízí celou řadu aplikací plynů týkajících se úpravy a čištění vod. Plyny jako kyslík či oxid uhličitý se standardně používají v oblasti úpravy pitných vod nebo čištění a neutralizace odpadních vod. Tento článek prezentuje nejvýznamnější aplikace oxidu uhličitého a kyslíku při úpravě pitných vod. Schéma je patrné z obrázku níže. Tyto plyny jsou v mnoha případech nezbytné pro splnění požadavků na kvalitu vody. Jsou použity jako látky, které jsou přirozenou součástí zdravé pitné vody a nezanechávají v ní jakékoli nežádoucí vedlejší produkty nebo kontaminaci.

Oxid uhličitý

Vnosem a rozpuštěním oxidu uhličitého (CO_2) ve vodě dochází k tvorbě produktů – kyseliny uhličité, hydrogenuhličitanů a uhličitanů, které jsou přirozenou součástí pitné vody.To je jeden z více důvodů proč je využití CO_2 v procesu úpravy preferované namísto minerálních kyselin, jako je například kyselina sírová.

Nejčastěji se CO_2 v procesu úpravy vody používá pro mineralizaci (ztvrzování). Surová voda z přehradních nádrží či řek bývá velmi měkká. Tvrdost pod 0,5 mmol/l není výjimečná. Taková voda je bez dalšího zpracování velmi agresivní. K prevenci koroze potrubí a zařízení je pak nutný mineralizační krok pro dosažení potřebné tvrdosti a alkality. Dalšími důvody jsou zlepšení organoleptických vlastností a zlepšení kvality vody přídavkem zdraví prospěšného vápníku. Tvrdost vody se nejčastěji navyšuje na hodnoty od 0,7 do 1,4 mmol/l. Běžně se však vyskytují vyšší hodnoty. Nejvhodnější způsob mineralizace vody je založen na dávkování vyváženého množství vápna a CO_2, které vytvářejí rozpustný hydrogenuhličitan vápenatý.

Kromě mineralizace se CO_2 v procesu úpravy vody používá i pro úpravu (snižování) pH, a to například pro úpravu pH surové vody při procesu koagulace. V teplých povrchových vodách z přehradních nádrží nebo řek bývá v průběhu letního období zaznamenán nárůst pH i nad 9, který je způsoben zvýšeným růstem řas. Proto se před dávkováním koagulantu na bázi hliníku upravuje pH na takovou hodnotu, aby proces probíhal za optimálních podmínek a bylo zamezeno nadměrnému rozpouštění hliníku. Za tímto účelem mohou být použity i minerální kyseliny, jako jsou například kyselina sírová nebo chlorovodíková. CO_2 je však výrazně vhodnější, protože při jeho aplikaci nedochází ke zvyšování koncentrací síranů a chloridů, které jsou nevhodné z hlediska korozní chemie vody. CO_2 také umožňuje přesnější kontrolu pH, jednoduše se do vody dávkuje a je bezpečnější z hlediska skladování a manipulace. Velkou výhodou je i minimální pravděpodobnost, že by došlo k překyselení, například v důsledku poruchy zařízení pro dávkování CO_2.

Dalšími méně významnými aplikacemi CO_2 v procesu úpravy vody jsou například:

- Okyselení vody po jejím změkčování (např. dekarbonizací v reaktorech s fluidní vrstvou) na takové hodnoty pH, aby v důsledku nerovnováhy mezi pH a zbytkovou tvrdostí nedocházelo k postupnému vysrážení uhličitanů za technologií změkčení.
- Okyselení vody před nanofiltrací nebo membránovou reverzní osmózou, které zabraňuje zanášení membrán vodním kamenem.

Vzhledem k tomu, že CO_2 proniká membránami pro reverzní osmózu, upravená voda na výstupu již obsahuje většinu tohoto plynu nutného pro remineralizaci.

- Využití CO_2 pro regeneraci iontoměničů v technologii CARIX®, která umožňuje ekonomické snížení tvrdosti, obsahu síranů, chloridů a dusičnanů na požadované úrovně v jednom kroku.

Kyslík

Kyslík se při úpravě pitné vody používá pro procesy založené na oxidaci. Nejrozšířenějším je separace železa a manganu pro potlačení tvorby sraženiny a inkrustace v rozvodném potrubí. Podzemní voda obsahuje železo a mangan v jejich rozpustné formě. Po obohacení podzemní vody kyslíkem oxiduje dvojmocné železo velmi rychle na trojmocné za tvorby hydroxidu železitého, který je zachycován na filtrech. Za odpovídajících podmínek dochází také k oxidaci manganu a odfiltrování nerozpustného oxidu manganičitého. Dle stechiometrie vyžaduje tato oxidace pouze malé množství kyslíku. Z tohoto důvodu lze požadovaného obohacení kyslíkem dosáhnout pomocí vzduchu. Nicméně použití čistého kyslíku je ekonomičtější a má určité výhody:

- Použití kyslíku namísto vzduchu často vede ke zvýšení průchodnosti filtru mezi proplachovacími cykly (minimalizace ztrát vody při proplachování, snížení nákladů na zpracování či vypouštění proplachovací vody). Provzdušňování obvykle znamená i přesycení vody dusíkem, zejména pokud je použito tlakové provzdušňování. Během provozu způsobuje tlaková ztráta na filtrech přechod dusíku do plynného stavu a jeho akumulaci ve filtrační vrstvě ve formě mikrobublinek, které následně filtr blokují. Použitím čistého kyslíku namísto vzduchu je tomuto jevu zabráněno a je dosaženo delších provozních dob filtru.
- Kyslík zabraňuje tzv. „bílé vodě“ v kohoutku u koncových odběratelů pitné vody (zpětná tvorba plynného dusíku v kohoutcích či rozvodech vody).
- Lze snadno dosáhnout koncentrací rozpuštěného kyslíku ve vodě nad 20 mg/l. Toto je důležité v případě, kdy neupravená voda obsahuje také amoniak, metan a sulfan. Oxidace těchto látek vyžaduje totiž mnohem vyšší koncentrace kyslíku.

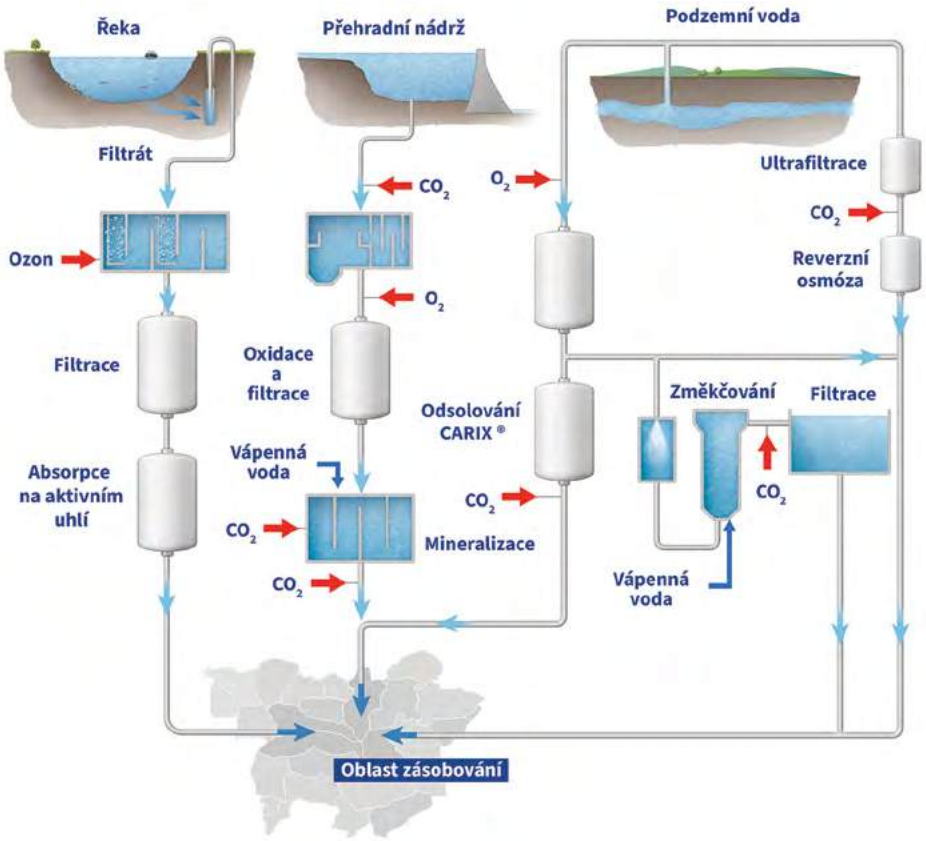
Díky uvedeným výhodám je použití čistého kyslíku ekonomičtější než tlakové provzdušňování. Nízké investice i provozní náklady a významně nižší náklady na údržbu a čištění kompresorů a ventilů hovoří jednoznačně v jeho prospěch a vedly k aplikacím čistého kyslíku na mnoha zahraničních vodárnách.

Ozon

V případě, že jsou tradiční čisticí kroky (flokulace, filtrace a/nebo chlorace) nedostatečné pro zajištění kvality a zdravotní bezpečnosti pitné vody, používá se oxidace ozonem. Ozon je zároveň přátelský k životnímu prostředí, kdy jsou výsledkem jeho působení obvykle neškodné oxidační produkty a kyslík. Díky tomu nezanechává žádné nežádoucí vedlejší produkty a nezhoršuje senzorické vlastnosti vody.

Ozonizace se uplatňuje v procesu úpravy pitné vody mnoha způsoby:

- Ozon se používá k dezinfekci, často v kombinaci s UV zářením. V porovnání se sloučeninami chloru ozon účinkuje rychleji na bakterie, cysty, spory, plísně, parazity a je mnohem účinnější proti virům. Ozon zamezuje růstu řas a zabraňuje tvorbě biologických povrchových slizů.
- Ozon se používá také pro oxidaci železa a manganu tam, kde jsou tyto kovy organicky zakomplexovány v huminových kyselinách a nelze je oxidovat čistým kyslíkem.
- Ozon se používá k oxidaci (odolných) organických látek. Dochází tak ke zlepšení senzorických vlastností – barvy, turbidity, zápachu a chuti. Často se používá v kombinaci s filtry s granulovaným aktivním uhlím (GAU) pro likvidaci pesticidů. Ozon také rozbíjí prekurzory tvorby halogenů (CHX_3). To je důležité při následném chlorování na vstupu do distribuční sítě.



Ozon je nutné vyrábět na místě spotřeby. Zejména pro střední a velké úpravny vody je použití čistého kyslíku jako zdroje pro jeho výrobu ekonomičtější než použití vzduchu, protože nevyžaduje nákladné zařízení pro odstranění vlhkosti, stopových prvků a jemných pevných nebo kapalných částic, které by mohly ovlivňovat životnost generátorů ozonu. Kyslík dále umožňuje dosáhnout mnohem vyšších koncentrací ozonu ve výstupním plynu (10–15 %). Z toho důvodu jsou ozonové generátory a zařízení pro dávkování do vody kompaktnější, méně nákladné a s výrazně nižší spotřebou energie. Výsledkem je, že všechny moderní ozonové instalace používají čistý kyslík.

Řešení vnosu plynu do vody

Technická řešení vnosu plynu do vody jsou různorodá. Plyn může být dávkován do potrubí přídavné vody, případně do odbočky z hlavního potrubí nebo ze zásobní nádrže vody, kde dojde k jeho rozpuštění, a to jak bez, tak i s pomocí statického mísiče. Plyn může být také dávkován přímo do nádrží vody nebo do hlavního potrubí vody pomocí speciálních jemnobublinných elementů. Více možností máme v případě CO_2, který se ve vodě rozpouští výrazně jednodušeji než kyslík. V případě kyslíku bývá vhodné použít tlakový reaktor, zajišťujícího jeho efektivní rozpuštění. Vše závisí na druhu plynu a řadě dalších parametrů a požadavků. Zásadní je navrhnout a realizovat vhodné a ekonomické řešení, které zajistí kompletní rozpuštění plynu.

Závěr

Oxid uhličitý, kyslík nebo ozon se používají v celém řetězci procesu úpravy vody surové na vodu pitnou. Tým kvalifikovaných vědců, inženýrů a techniků firmy Messer má rozsáhlé zkušenosti s aplikacemi zde popsaných metod a odpovídající know-how pro používání technických plynů v uvedených procesech. Poskytují konzultace a nabízejí řešení, které je tvořeno inženýrskou činností, hardwarem a dodávkami technických plynů a upraveno dle aktuálních požadavků zákazníka. Výsledkem jsou stovky referenčních instalací, kterými byly v minulých letech vybaveny úpravny vod po celé Evropě.

MESSER Gases for Life

Ing. David Bek, Ph.D.
aplikační specialista
Messer Technogas s.r.o.
Mobil: +420 602 760 022
david.bek@messergroup.com
www.messer.cz

Ultračistá voda pro analýzu PFAS: řešení pro vodní hospodářství

*Per- a polyfluorované alkylové látky (**PFAS**) představují jeden z nejkritičtějších problémů současného vodního hospodářství. Tyto „věčné chemikálie" používané od čtyřicátých let dvacátého století v nespočtu produktů – od nepřilnavého nádobí přes potravinové obaly až po hasicí pěny a průmyslové aplikace – se staly všudypřítomným znečištěním životního prostředí. ECHA eviduje více než 10 000 PFAS. Podle směrnice EU o pitné vodě 2020/2184 je stanoven limit pro celkový PFAS 0,50 µg/l. Pro součet 20 vyjmenovaných PFAS je limit 0,10 µg/l. Členské státy EU musí být v souladu se směrnicí do 12. 1. 2026.*

Výzva ultra-stopové analýzy

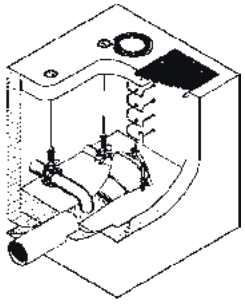
Chemická vazba mezi uhlíkem a fluorem je extrémně silná a často označována jako nejsilnější vazba v organické chemii. Zvyšování počtu atomů fluoru vázaných na uhlík dále posiluje tyto vazby. Výsledkem je mimořádná stabilita PFAS – mohou přetrvávat beze změny tisíce let. Jejich bioakumulační tendence vede k významně zvýšeným koncentracím v živých organismech. PFAS jsou v krvi téměř všech Evropanů, nejčastěji PFOS, PFOA, PFHxS a PFNA.

Dosažení požadovaných ultranízkých detekčních limitů vyžaduje absolutně čistou vodu bez jakékoli PFAS kontaminace. Konvenční měření celkového organického uhlíku (TOC) není pro monitoring PFAS dostatečně citlivé – například PFOA obsahuje pouze dvacet tři procent uhlíku, takže detekční limit TOC 0,5 µg/l fakticky odpovídá 2,2 µg/l PFOA.

Pokročilé technologie purifikace

Účinné odstranění PFAS vyžaduje sofistikovanou kombinaci několika purifikačních technologií:

- **Reverzní osmóza** poskytuje nejefektivnější odstranění organických sloučenin včetně všech typů PFAS;
- **Aktivní uhlí** zajišťuje adsorpci na povrch, přičemž syntetické uhlí významně převyšuje výkonnost tradičního kokosového uhlí;
- **UV záření** o vlnové délce 185 nanometrů poskytuje fotooxidaci dostatečně energetickou pro štěpení silných vazeb uhlík-fluor;
- **Iontová výměna** efektivně odstraňuje iontové a polární látky.


Vírový ventil v regulační šachtě *FluidCon*

PFT Prostředí a fluidní technika, s.r.o.
Nad Bezednou 201, 252 61 Dobrovíz
telefon: 233 311 389
fax: 233 311 290
www.pft-uft.cz
e-mail: pft@pft-uft.cz
Dodavatel vystrojení kanalizačních objektů
- regulace odtoku z odleh. komor
- automat. stírané česle GIWA
- monitoring OK systémem AQASYS
- pneu. ČSOV GULLIVER

Průlomové výsledky pokročilých purifikačních systémů

Systém Purelab Chorus 1 Complete TOC (**obr. 1**) dosáhl rekordních detekčních limitů pouhých 0,02 nanogramů na litr pro PFOS, PFOA i PFHxS, což představuje významný technologický průlom. Speciálně purifikovaná voda z Purelab Chorus 1 Complete TOC koncentrovaná tisícinásobně vykazovala hodnoty pod detekčním limitem při LC-MS/MS analýze s využitím pokročilých hmotnostně spektrometrických systémů. Purelab Chorus 1 Complete TOC tak prokázal svou výjimečnou schopnost produkovat ultra-čistou vodu pro nejnáročnější analytické aplikace. Tyto výsledky potvrzují, že Purelab Chorus 1 Complete TOC představuje nový standard v oblasti ultra-stopové analýzy environmentálních kontaminantů a efektivitu jeho kombinovaných purifikačních technologií.

Obr. 1. Systém Purelab Chorus 1 Complete TOC

Závěr

Systém Purelab Chorus 1 Complete TOC úspěšně kombinuje všechny klíčové purifikační technologie s pečlivě testovanými komponenty, umožňuje spolehlivou determinaci na ultrastopových úrovních kritických pro environmentální monitoring.

Ing. Michal Hanáček
Česká voda – MEMSEP, a. s.
michal.hanacek@cvmem.cz

Sekací čerpadla Vaughan – spolehlivé řešení malých cirkulací vyhnívacích nádrží

Sekací čerpadlo Vaughan za chodu neustále dezintegruje nasávaný kal a likviduje tak shluky a spleteniny v něm obsažené. Jedná se o čerpadlo robustní ložiskové konstrukce (viz **obr. 1**), vybavené dvěma sekacími místy. To hlavní je hned za sacím otvorem. Oběhové kolo je vybaveno střižnými hranami, které sekají přes řezné lišty integrované ve vstupní přírubě čerpadla všechno, co by mohlo běžné čerpadlo ucpat. Druhé sekací místo je před ucpávkou, kterou chrání před namotáním spletenin na hřídel. Všechny součásti čerpadla, které přicházejí do styku s čerpaným médiem, jsou kalené na tvrdost nejméně 60 st. Rockwella. (viz **obr. 2**)

Obr. 1. Sekací čerpadlo Vaughan horizontální

Obr. 2. Díly sekacího čerpadla

Malá cirkulace a dávkování do VN na ČOV Česká Ves u Jeseníku

V roce 2009 bylo do okruhu malé cirkulace vyhnívací nádrže (cca 1 650 m³) na zkoušku instalováno zánovní sekací čerpadlo Vaughan. Protože se osvědčilo, bylo v roce 2012 do paralelní pozice instalováno druhé. Obě čerpadla (viz **obr. 3**) střídavě protlačují kal skrz dva výměníky (viz **obr. 4**). Jsou v činnosti v závislosti na ročním období odhadem 12–16 hodin denně.

Obr. 3. Čerpadla Vaughan v okruhu malé cirkulace

Obr. 4. Výměníky

Předtím byla na jejich pozicích provozována odstředivá čerpadla se šroubovým kolem. Na těchto pozicích měla životnost tři až čtyři roky. Provozovatel (Vak – Vodovody a kanalizace Jesenicka a. s.) zhruba 4x ročně odstavoval a čistil ucpané výměníky. Zvažoval proto instalaci drtičů k čerpadlům, ale nakonec se rozhodl pro sekací čerpadla Vaughan.

Od jejich instalace provozovatel jednou ročně preventivně odstavuje výměníky, které jsou ale pořád průchozí, a čistí je od všeobecných úsad. Sekací čerpadla Vaughan v této aplikaci dokázala od podzimu 2021 do podzimu 2022 po havárii vertikálního míchadla nouzově míchat celou vyhnívací nádrž. A žádný drtič k sobě nepotřebují!

Nadto jsou sekací čerpadla Vaughan naprosto spolehlivá a mají nadprůměrnou životnost. První čerpadlo, jak bylo výše zmíněno, nebylo zcela nové, proto u něj byla v roce 2014 vyměněna ucpávka (nyní je tedy funkční už 11 let) a v roce 2015 i oběhové kolo a všechny sekací díly. Druhé čerpadlo bylo nové a od roku 2012 do současnosti pracuje bez výměny jediného dílu. K těmto informacím je ale nutné dodat, že provozovatel na čerpadlech poctivě provádí předepsané pravidelné servisní úkony. To obnáší kontrolu, případně výměnu olejových náplní ucpávky a ložiskové skříně a seřizování sekacích vůlí (provádí se zvnějšku bez nutnosti rozdělávat čerpadlo).

Ale na ČOV Česká Ves nemají jenom dva „Vaughany“! Další dvě sekací čerpadla Vaughan pracují od roku 2013 jako dávkovací (viz **obr. 5**) – doplňují vyhnívací nádrž smíšeným surovým kalem. Ten odebírají ze dna nádrže, do které míří kal primární, kal aktivovaný a tuky z lapolů v kanalizaci, případně výpalky z palíren. Kvalita kalu je přitom velmi proměnlivá. Čerpadla se v činnosti střídají, pracují maximálně hodinu denně. Jednou či dvakrát za den dávkují 30 m³ do VN, přitom překonávají cca 12,5–13 m výšky. Provozní režim těchto dvou „Vaughanů“ je tedy zcela odlišný než provozní režim „Vaughanů“ v okruhu malé cirkulace. Možná je i náročnější.

Obr. 5. Dávkovací čerpadla Vaughan

Dříve byla na pozicích těchto sekacích čerpadel provozována rovněž odstředivá čerpadla se šroubovým kolem a spolu s nimi jeden macerátor. Ten býval ovšem jednou i dvakrát týdně ucpaný.

Po instalaci sekacích čerpadel Vaughan mohl být macerátor odstraněn – a zároveň započal bezproblémový proces doplňování VN smíšeným surovým kalem. Ovšem i u těchto dvou sekacích čerpadel platí, že provozovatel na čerpadlech poctivě provádí předepsané pravidelné servisní úkony.

Všechna čtyři popsaná sekací čerpadla Vaughan mají motor s příkonem 7,5 kW.

Cena sekacího čerpadla Vaughan bude vyšší než cena běžného odstředivého čerpadla s podobnými parametry, ale určitě ne o vyšší desítky procent. A rozhodně bude výrazně nižší, než cena sestavy tvořené běžným odstředivým čerpadlem + drtičem nebo macerátorem!

Za firmu ROLIOL spol. s r. o., která je výhradním dovozcem zařízení Vaughan do ČR a na Slovensko, děkuji firmě Vak – Vodovody a kanalizace Jesenicka a. s. za laskavé svolení k publikaci tohoto článku. Vzhledem k vstřícnosti a laskavosti jejích zaměstnanců jsem přesvědčen, že jsou ochotni se o své dlouholeté skvělé zkušenosti s provozem sekacích čerpadel Vaughan případně podělit.

Ing. Roman Bujárek

Účinná redukce fosforu v terciárním stupni ČOV pomocí lamelového separátoru a kontinuální pískové filtrace

Znečištění povrchových vod nutrienty, zejména sloučeninami dusíku a fosforu, představuje závažný environmentální problém. Nadměrné koncentrace fosforu vedou k eutrofizaci vody, což způsobuje rychlý růst sinic a řas, zhoršení kvality vody a úhyn vodních organismů vlivem nedostatku kyslíku. V evropském kontextu se proto postupně zpřísňují legislativní limity pro vypouštění nutrientů z čistíren odpadních vod.

V reakci na zpřísnění legislativy pro nutrienty, zejména fosfor, je klíčové implementovat účinné metody terciárního dočištění v čistírnách odpadních vod. Cílem je maximální účinnost odstranění fosforu s minimálními náklady a energetickou náročností. Dvě perspektivní technologie s předřazeným srážením fosforu železitým koagulantem – lamelové separátory a kontinuální pískové filtry – reprezentují účinné a praxí ověřené funkční řešení terciárního stupně pro komunální ČOV.

Standardní biologické stupně ČOV neodstraňují fosfor dostatečným způsobem, proto je nutné při požadavku na vyšší účinnost procesu zařazovat terciární stupeň dočištění. Jednou z osvědčených metod je kombinace odděleného chemického srážení fosforu v biologicky vyčištěné odpadní vodě a lamelové sedimentace, která představuje technicky i ekonomicky efektivní řešení. Tato metoda umožnuje maximální odstranění fosforu, stabilizaci nitrifikace a spolehlivé dosažení požadovaných limitů.

Lamelové separátory jsou osazeny vnitřní lamelovou vestavbou, která několikanásobně zvyšuje specifickou sedimentační plochu – podle typu lamel až 15x oproti prosté sedimentační nádrži. V praxi lze chemické srážení aplikovat s nejvyšší účinností v terciárním stupni tak, že po sekundárním stupni je voda přivedena do samostatného reaktoru, kde je dávkován koagulant. Následná sedimentace probíhá v lamelovém separátoru a kal je odtahován k dalšímu zpracování.

Výsledkem je:

- kompaktní řešení vhodné i pro ČOV s omezeným prostorem,
- zvýšení účinnosti separace suspendovaných látek,
- nízká energetická náročnost a nízké provozní náklady, kdy dodávka elektrické energie spočívá prakticky jen v dávkování srážecí chemikálie,
- splnění požadovaných limitů koncentrace fosforu, výrazné snížení eutrofizačního rizika.

Lamelový usazovák je možné dodat v různém materiálovém provedení – uhlíková ocel s ochranným nátěrem, nerezová ocel nebo polypropylen – dle požadavků na konkrétní aplikaci a chemickou odolnost prostředí.

Reálná aplikace na čistírně odpadních vod:

Modelovým příkladem je realizovaný projekt na ČOV s 2 100 EO v krasové oblasti, kde je požadavek na velmi nízké odtokové koncentrace fosforu. Lamelový usazovák je zařazen za sekundárním stupněm, předchází mu koagulační reaktor s dávkováním koagulantu a míchadlem pro tvorbu koagulačních vloček. Směs vody a vloček vstupuje do uklidňovací části lamelového usazováku, kde se agregované částice usměrňují na lamelách a sedimentují do kalového prostoru.

Výsledky instalace terciálního stupně na ČOV:

- bez chemického srážení a terciárního stupně by byla účinnost odstranění fosforu pouze ~35 %,
- s lamelovým usazovákem se průměrná účinnost zvýšila nad 90 %,
- výstupní koncentrace celkového fosforu se pohybují v průměru pod 1 mg/l,
- dlouholetá stabilní funkce s téměř nulovými provozními náklady.

Účinnost odstranění celkového fosforu po procesu srážení a implementace lamelového usazováku LB10

Instalace lamelového usazováku nevyžaduje rozsáhlé stavební úpravy a díky vysoké účinnosti nahrazuje klasické usazovací nádrže.

Kombinace odděleného chemického srážení a lamelové sedimentace představuje kompaktní a vysoce účinné řešení terciárního stupně ČOV. Technologie přispívá ke snížení eutrofizace vodních toků a zároveň minimalizuje investiční i provozní náklady. Praktická aplikace potvrzuje, že lamelové usazovací nádrže ENVITES jsou dlouhodobě spolehlivým řešením nejen pro splnění legislativních požadavků, ale i pro ochranu životního prostředí.

Další možností řešení terciárního stupně ČOV je využití kontinuální pískové filtrace, která je vhodná pro vysoce efektivní a nízkonákladové čištění, zejména tam, kde je kladen důraz na minimální energetický provoz a jednoduchý servis.

Kontinuální pískové filtry představují energeticky úsporné řešení pro efektivní dočištění vody a redukci nerozpuštěných látek. Výsledkem je filtrace vysrážených vloček s obsahem fosforu s minimální spotřebou energie a snadnou údržbou. Kontinuální písková filtrace je technologie s minimální potřebou elektrické energie, tento typ filtrů nepotřebuje ani prací čerpadla, protože funkce praní je již integrována uvnitř filtru.

Technologické celky vyrobené ve společnosti ENVITES představují spolehlivé a osvědčené řešení. Díky 35 letům zkušeností v oblasti úpravy vody a kalového hospodářství ENVITES vyrábí širokou škálu technologických zařízení. Našim zákazníkům nabízíme komplexní řadu výrobků a technologických řešení pro inženýrské procesy i pro úpravu a čištění vody, včetně konzultační činnosti.

Ing. Stanislav Ježek, PhD.
ENVITES, spol. s r. o.
Vídeňská 264/120 b
619 00 Brno

Poslední třetina. Co mě napadalo nad starými čísly Vodního hospodářství?

Václav Stránský

Minule jsme při listování starými čísly Vodního hospodářství skončili na konci minulého století. Co se dělo poté?

Od ročníku 2008 jsou čísla přístupná v plném rozsahu na www.vodnihospodarstvi.cz. Stačí pár kliknutí na počítači. Přesto je pro mě požitkem listovat skutečnými čísly časopisu, cítit vůni starého papíru a u některých článků si vybavit dokonce konkrétní souvislosti a příběhy. Asi nebude moc míst, kde by byly kompletní ročníky časopisu od roku 1951. Třeba knihovna VÚV T. G. M. byla při srpnové povodni v roce 2002 vyplavena a knihy skončily v kontejnerech. Někde staré ročníky jako neaktuální skončily ve sběru, aby uvolnily místo pro nové knihy, časopisy. Někde se některá čísla během let z fondu knihoven ztratila. Dělá mi radost, že ty ročníky nejsou jen muzeální kousky, které se sice hezky vyjímají v knihovně, jež však už nikdo nikdy nepotřebuje. Několikrát do roka se mi někdo ozve, že by potřeboval pro svoji práci některé ze starých článků časopisu. Někdy poptávají i články z padesátých, šedesátých let. Naposledy třeba MUDr. Kožíšek ze SZÚ poptával článek **Škovránek V. — Čistota vod s hlediska ochrany lidského zdraví** z prosince roku 1955. Bylo mi ctí mu kopii poskytnout.

Jak jsem se zmínil, dlouhodobě jsou vždy na konci roku celá čísla umístěna na web. Proto asi by bylo nošením dříví do lesa se o konkrétních článcích zmiňovat, zájemci stačí pár kliknutí na počítači. Pokusím se proto o hodnocení toho, co se v poslední třetině vydávání časopisu dělo a co reflektovalo dění v oboru. Půjde o můj jistě subjektivní pohled. Budu proto rád za případné korekce. Podle mého jde o tyto okruhy:

- Nutrienty
- „Nová“ znečištění“
- Voda v krajině
- Klimatická změna, extrémy

Nutrienty

Velkým problémem se staly nutrienty, dusík a především fosfor. Řeší je (ale nejen je) **Rámcová směrnice o vodách** (*Water Framework Directive* – **WFD**), kterou Evropská unie stanovila principy ochrany a udržitelného využívání vod. Možná symbolicky tento dokument spatřil světlo světa v roce 2000 v předvečer nového tisíciletí. Cílem bylo, aby **do roku 2015 (s možností prodloužení do 2021 nebo 2027)** všechny **povrchové a podzemní vody** v EU dosáhly alespoň **dobrého ekologického a chemického stavu**. Rok 2015 je už v dávné minulosti a cíl nesplněn. Blíží se rok 2027 a nezdá se mi, že bychom se k cíli blížili. Nejen u nás, ale i v celé EU.

Proč tak tristní výsledek? Když lovím ve své paměti, tak před tím čtvrtstoletím se vedla ostrá diskuse o tom, zda při čištění odpadních vod se soustředit jen na dusík, nebo i na fosfor. Odstraňování fosforu bylo upozaděno. Na pomoc si odpůrci potřebného stupně odstraňování vzali BATy. Ty slouží jako standard pro hodnocení, co je technicky a ekonomicky dosažitelné při ochraně vod, a tedy od toho se odvíjí stupeň čištění. Bylo poukazováno především na ekonomickou náročnost účinných technologií a neprůkaznost ohrožení fosforem. Tento názor zastřešený tehdejšími čistotářskými autoritami převážil, byť především (tehdy) mladší odborníci soustředění zejména kolem VÚV a hydrobiology z praxe poukazovali na očekávané negativní dopady. Přitom už v roce 1971 jeden z nejvýznamnějších českých hydrobiologů docent Hrbáček varovně psal: *„Odložit však omezení používání fosfátů v detergentech, až se vše řádně pokusně prověří, by znamenalo, že počet jezer a údolních nádrží, jejichž voda bude rozvojem vodních květů znehodnocena, dále poroste a rovněž poroste i zásoba fosforu v sedimentech těchto nádrží.“*

Připomenu zde i pár myšlenek z článku profesora Pittera **Polyfosforečnany v pracích a čistících prostředcích, ano nebo ne?** Článek vyšel v dubnovém VH ročník 1993.

Při odůvodňování potřeby věnovat se fosforu autor napsal (některé pasáže jsem tučně zvýraznil): *„Zde je namístě uvést následující analogie: je známo, že halomethany sloužící jako hnací plyny v aerosolových rozprašovačích rozrušují ochrannou ozonovou vrstvu. Proto se jejich produkce na základě Montrealské dohody postupně omezuje. Jistě* ***nepřijatelný by byl argument****, že v ČR se použití freonů nebude omezovat, protože* ***náhrada v tak malém státě nepřispěje nijak podstatně ke snížení jejich koncentrace v atmosféře v celosvětovém měřítku****. Stejně tak by byl nesprávný i přístup, že vybudování odsiřovacího zařízení spalin pouze na jedné tepelné elektrárně nemá význam, protože kromě lokálního zlepšení bude celkový efekt ke snížení koncentrace oxidů síry v atmosféře severočeské oblasti velice malý. V každém případě strategie* ***omezování přísunu fosforečnanů do prostředí musí spočívat v jejich redukci ze všech zdrojů****… Z tohoto hlediska není na místě srovnávání malých a velkých zdrojů.“*

O kus dále píše: *„Vzhledem k růstu populace a rozsáhlé eutrofizace povrchových vod v ČR je a bude nutné počítat i s odstraňováním sloučenin fosforu fekálního původu odpadních vod chemickým nebo biologickým způsobem. Toto je nutné chápat jako dlouhodobou koncepci…“*

Jak by řekl Jan Werich, slova, která by se měla tesat. Jsem rád, že i ti, kteří se tehdy stavěli k odstraňování fosforu skepticky, jedno z jakých důvodů, si vzali změnu čistírenského paradigmatu za své.

Jestli mě paměť neklame, tak podle posledního hodnocení došlo spíše ke zhoršení, než zlepšení ekologického stavu vod. Celkově pořád je asi dvakrát větší počet útvarů povrchových vod v nedobrém stavu než ve stavu vyhovujícím. To vzbuzuje pochybnosti, zda se cíle v roce 2027 podaří dosáhnout. To platí nejen u nás, ale i v EU.

„Nová znečištění“

Pozornost, která se upírá na různá znečištění z léků, zemědělství, persistentními látkami byla vybuzena nejen objevy prokazujícími vliv těchto látek na člověka a životní prostředí, ale, a to možná především, ohromným zlepšením analytických metod. Za posledních 30–50 let se zlepšily když ne tisíckrát, tak stokrát. Neměříme v miligramech, ale v mikrogramech, dokonce v nanogramech, a zjišťujeme, že i takovéto koncentrace v dlouhodobém měřítku mohou mít na člověka a přírodu negativní vliv. Bez chemie nemůžeme takto luxusně existovat, tak bychom ji jistě neměli nadužívat, protože zopakuji, svoji paličskou myšlenku: „Neexistuje člověkem stvořená chemikálie, která nemá obdobu v přírodě, u níž by se dříve nebo později nenašel vedlejší negativní účinek.“ To dokumentují i plasty a z nich vznikající mikroplasty. Pamatuji se, jak někdy po roce 2010 jsem se bavil s jedním čistírníkem. Ten o mikroplastech pohrdlivě mluvil jako o něčem, co není třeba řešit, a že se dělá z komára velbloud. Nabídl jsem mu sázku, že na termínovaný účet dáme každý pět tisíc a po deseti letech připadnou tomu, kdo bude pravdě blíž. Bohužel na sázku nepřistoupil.

Voda v krajině

Nechci odsuzovat nakládání s vodou v krajině ve 20. století, především v jeho druhé polovině. Bylo ovlivněno nejen politickými tlaky a prioritami ve společnosti, ale i stupněm poznání. Je dobře, že společnost snad prohlédla. A mnohé se pomalu lepší.

Dlouho jsme se dívali na jednotlivé složky životního prostředí, tedy i na vodu, jako na objekt, který nám má sloužit a který má naplňovat naši představu o světě, co je dobré, co je potřebné, co je hezké, nikoliv jako na subjekt, který má hodnotu sám o sobě. V té souvislosti se mi vybavují dvě vzpomínky. Když se v roce 2011 slavilo 100 let od doby, kdy začalo být chráněno území **Černého a Čertova jezera,** poštěstilo se mi dostat se na exkurzi do této uzavřené oblasti. Bylo to v roce 2011, tedy čtyři roky po orkánu Kyrill. Ten zdevastoval (opravdu zdevastoval?) ohromné plochy lesů a byl i předzvěstí kůrovcové kalamity. Pamatuji si, jak jsme procházeli apokalyptickou krajinou plnou popadaných vyvrácených stromů a stromů, které začaly hynout v důsledku šíření kůrovce. Starší lesník, který jistě byl veden těmi nejlepšími úmysly, s kterými žil celý dlouhý život, bědoval: „Taková národohospodářská škoda, co to ještě způsobí? Kdo to dovolil. Hnát ho k zodpovědnosti!“ Mladší lesnický kolega se mu snažil oponovat, ale se zlou se potázal. Na vrcholu pak došlo k diskusi mezi ním a jedním hydrobiologem o důsledcích na lesní porost a na vodní režim. Zastánce toho, aby byla dána šance přirozeným procesům, k oponentovi řekl: „Za sto let a jeden den se tady sejdeme a uvidíme, kdo měl pravdu.“

Myslím, že nebylo třeba tak dlouhé doby, aby bylo zjevné, čí vize se naplnila.

Druhá vzpomínka. Byli jsme na prohlídce kanálu **Rýn–Mohan–Dunaj**. Z hlediska lidského to bylo pěkné, líbivé. Jeden z nejzarytějších propagátorů plavby se podivoval, jak někdo může zpochybňovat ekologičnost tohoto díla, vždyť je na to radost pohledět. Souhlasím, že je to pěkné, ale příroda v těchto intencích „nepřemýšlí“, její přirozenost se jeví v houští a nepořádku. Tím nechci volat po návratu zarostlé krajiny, vím, že bez lidského přičinění by nebyla to ta krásná země na pohled…

Klimatická změna, extrémy

Během mého života stoupla teplota v ČR o asi dva stupně, přitom nejvíce teplota vzrostla v prosinci a lednu a v červenci a srpnu (o 2,7 °C). Tedy už stále vzácněji budou moci děti sáňkovat a o prázdninách bude teplo pekelné. Překvapuje mě, že tento jev tolik lidí i v mém věku popírá a bagatelizuje. Jsou to často velice chytří lidé, ale zaslepila je ideologie a utilitaristické zájmy, ke kterým zneužívají většinu, protože, jak napsal v nedávno otevřeném dopise T. G. M.: „Lidé jsou rádi hloupí. Ale nedělejte jim to jednoduché. Hádejte se a hádejte se s nimi.“ Souhlasím, že i druhá strana často zneužívá hloupost druhých. Pamatuji se, jak před léty, nedlouho po roce 1989, jeden významný povoďák mi vyprávěl, že šel kolem demonstrující mládeže, která hlasem volala a transparenty psala: Pryč s Novými Mlýny. Tak prý k nim šel a naivně se ptal: „A co to jsou ty Nový Mlýny?“ Odpověď mládeže byla bezelstná: „My nevíme, ale máme proti tomu demonstrovat.“ Poněkud tristní a tento přístup zneužívání lidské naivity a hlouposti, o níž tak pěkně Masaryk psal v onom dopise, je podhoubím extremismu, kterého se nyní vyrojilo přespříliš.

Extrémy budou i v přírodě. Sucho je větší hrozbou, povodně jsou mediálně zajímavější. Proti oběma jevům je třeba jistě činit patřičné kroky. Stále více souhlasím, že bez **přehrad to nepůjde.** Byť **to nepůjde ani bez co nejpřirozenějšího zadržení vody.** Půda je odvodněná, zhutněná, v ohromných plochách neprostupná (silnice, logistická centra), snahou donedávna bylo co nejrychleji vodu odvést. Kdysi jsem ve svém úvodníku psal o tom, jak jsem s lahvinkou vína přemýšlel a odhadoval, o kolik se snížila vodní kapacita krajiny. Číslo si už nepamatuji, vím, že to bylo několik objemů Orlíku, ale volaly mi dvě uznávané osobnosti, že to jsem teda přehnal a vycucal si číslo z prstu. Zadostiučiněním mi bylo, když po nějaké době jsem četl, že vědci spočítali totéž. Jejich číslo bylo asi o pětinu větší než můj odhad.

Mnozí říkají, že takto zadrženou vodu do kohoutků nedostaneme. Ne tak docela. Takto akumulovaná voda se jednak tak rychle neodpaří a druhak pomalu odtéká do recipientů, a odtud už vodu využít pro potřeby společnosti umíme. Mnozí jako zlo považují výpar, ale ten je nutný a potřebný. Ostatně je známo, že Evropa se ohřívá dramatičtěji než zbytek světa. Mám hypotézu, že to evropské navýšení oproti světovému průměru lze přičíst právě zásadní změně hydrologie krajiny. Ono známé motto „Bez vody to nepůjde!“ bych rozšířil na **„Bez vody, vsaku a výparu to nepůjde!“**

Co říci na závěr?

Bez peněz to nepůjde. Bohužel je s nimi nakládáno trestuhodně a nehospodárně. Kdysi jsem se u piva bavil s jedním expertem na financování oboru. Ptal jsem se ho: „Kdybych si sám za své stavěl čistírnu, všechno si pohlídal, chtěl bych kvalitu, ale ne pozlacenou kvalitu, kolik bych ušetřil?“ Odpověděl: „Hádejte.“ Nesměle jsem řekl: „Třicet až čtyřicet procent?“ Odvětil: „By to podle vás stálo, nebo byste ušetřil?“ Řekl jsem: „Ušetřil…“ Usmál se: „Ne, tolik by to stálo.“ Pokračoval, že za tím nutně není zlodějna, ale lhostejnost, byrokracie a lobbing prosazující zbytečně drahá řešení, ostatně už projektant je placen procentem z ceny zakázky…

Rozhodujícím kritériem by neměla být láce. Někdy opravdu nejdražší může být správné. Nyní jsem četl životopis Josefa Zítka, stavitele Národního divadla. Tam jsem se dočetl, že jeho návrh, který zvítězil, zvítězil, přestože byl nejdražší.

Bez změny myšlení to také nepůjde. Bez změny myšlení nás všech. Věřím, že časopis této změně napomáhal, doufám, že tomu tak bude i do budoucna. Nástrojem k tomu má být publikování co nejširší palety témat, často protichůdných a kontroverzních. Celou dobu jsem se o to snažil.

Václav Stránský

...STALO SE

Nové trendy…

Václav Stránský

Společnost ENVI-PUR, která se v počátcích své existence orientovala především na čistírenství, později rozšířila své aktivity stále více i do oblasti vodárenství. Od samého začátku se nebála hledat nové cesty – někdy možná i trochu netradiční – a velmi brzy pochopila, že nestačí jen mít dobrý produkt. Je třeba umět ho vysvětlit, zasadit do kontextu, diskutovat o něm. A také poslouchat druhé.

Firma si od prvopočátku byla vědoma síly informací. Proto přišla s koncepcí každoročních konferencí nazvané Nové trendy… Ty probíhaly v podzimních měsících, kolem svatého Martina; účastníci kromě mnoha informací dostávali lahvinku svatomartinského vína. Kvůli ní se však účastnici prvoplánově určitě na konferenci nepřihlašovali. Setkání sloužilo k tomu, aby zákazníkům firma představila svoje aktivity v oboru, jaké služby a výrobky může nabídnout. Cílovou skupinou byli tedy projektanti, zástupci municipalit. Zváni byli přednášející z výzkumu, vysokých škol i z provozu.

Firma si uvědomovala, jakou roli hrají inovace podnícené novými objevy a stále přísnějšími podmínkami kladenými na parametry čištění i kvality pitné vody. Tento závěr vyplýval z nových poznatků o environmentálních dopadech čištěné odpadní vody a z platných hygienických standardů pro pitnou vodu. Svoji roli začíná hrát i tlak na recyklaci, využití kalů, energetickou soběstačnost. Proto firma věnuje stále více prostředků do aplikovaného výzkumu a vývoje. Rozvíjí spolupráci s institucemi jako jsou ČVUT, VŠCHT Praha, Technická univerzita v Liberci, VÚV TGM, Ústav nanomateriálů, Biologické centrum AV ČR.

Tento posun se odrazil i v náplni konferencí. Velká pozornost je věnována i přednáškám z oblasti vědeckého výzkumu. Prvním krokem k posunu konferencí, které ENVI-PUR učinil asi před deseti lety, byla spolupráce s doc. Petrem Dolejšem na jeho konferencích Pitná voda. Nakonec po dohodě s doc. Petrem Dolejšem pořádání vodárenských konferencí Pitná voda firma převzala. Očekávaným krokem bylo, že firma se rozhodla pořádat konference na formátu: **liché roky čistírenství, sudé vodárenství**. Sjednotila i termín na začátek června.

Letos tento koncept započal konferencí Nové trendy v čistírenství na Lipně. Není potřeba se vracet k odbornému programu, ten lze najít na webu ENVI-PURu. Skutečně cenné byly i **neformální diskuse v kuloárech**, které ukázaly, jak živé a často i názorově rozrůzněné prostředí kolem moderního čištění odpadních

vod dnes existuje. Celou konferencí rezonovala nová směrnice UWWTD. Názory odrážely profesní specializaci účastníka. Účastníci se však snažili nalézt společnou cestu k čisté vodě. Škoda, že tuto neoficiální část konference nelze zachytit. Tedy možná je to tak dobře, protože to umožnilo otevřeně hovořit i o kontroverzních tématech. Požádal jsem dva z oněch kuloárně diskutujících, kterým jsem se zájmem naslouchal, o to, aby se podělili o dojmy z konference.

RNDr. Jindřich Duras z Povodí Vltavy: „Já jsem se dlouhodobě pohyboval jako „čistotář" na opačné straně barikády než „čistírníci". A byla to opravdu barikáda s vysokou mírou vzájemné nedůvěry. Proto se také od roku 2015 nic podstatného v legislativě pro zlepšení úrovně čištění odpadních vod nepodařilo prosadit, a proto se také např. v obsahu fosforu ve vodách žádné zlepšení neprojevilo. Nemohlo. Obrat nastal v loňském roce vytvořením široce založené expertní skupiny pro implementaci UWWTD. A teď jsem na lipenské konferenci zažil, jak naprostá většina odborníků z oblasti čistíren a čistírenských technologií velmi aktivně hledá, jak věci dostat do pohybu vpřed. Nejvíce mě potěšil výrok jednoho kolegy: ‚Bude to sice těžké, ale já se na ty nové technologie těším!'

Pokud nám spolupráce a obnovovaná vzájemná důvěra vydrží, určitě nové výzvy zvládneme a naše Voda bude o kus zdravější!"

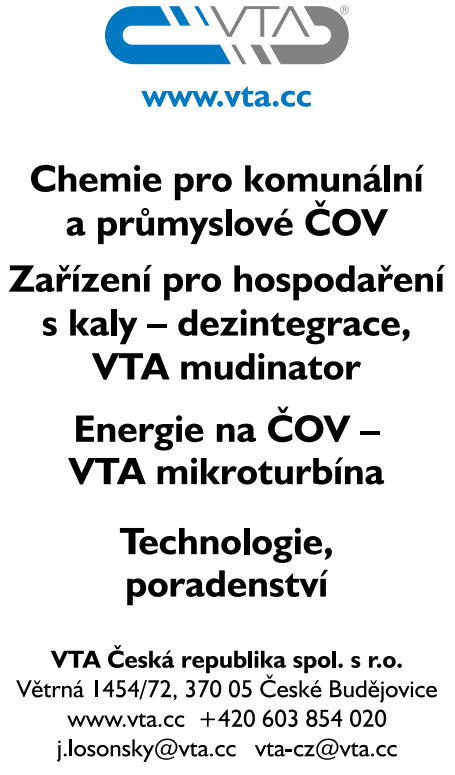
Ing. Pavel Král z Královohradecké provozní: „Konference se z velké části týkala implementace nové směrnice o čištění odpadních vod a přípravy oboru na ni. Měl jsem tu čest se zúčastnit i diskusního kulatého stolu a zároveň jsem již několik měsíců také členem expertní skupiny SOVAK + Svaz vodního hospodářství + CzWA, která – dovolím si tvrdit – našla společný hlas odborníků napříč oborem ve věci implementace této směrnice. Tím napříč oborem myslím odborníky z akademické sféry, odborníky z vlastnických a vodárenských společností, ale zejména také odborníky z podniků Povodí. Musím říci, že mám radost, a to jak z atmosféry v této expertní skupině, tak z atmosféry na výše zmíněné konferenci. Mám totiž dojem, že dříve jsme proti sobě tak trochu „bojovali". Alespoň zdánlivě. Nyní doufám, že nacházíme společnou řeč a vzájemně si uvědomujeme, že pokud se nedohodnou odborníci, dohodne se za nás někdo jiný, například politická sféra. Přeji si, aby tato atmosféra vydržela a konference na Lipně to naznačila. Ano, určitě to bude něco stát. Je to ale výzva. Výzvy jsou od toho, aby se překonávaly. Myslím, že technologie na splnění cílů máme již nyní (na konferenci jsme řadu z nich viděly a bylo o nich referováno). Zbývá jen je aplikovat a naučit se s nimi pracovat. To je přece radost, alespoň pro mě ano! Určitě budeme muset najít finančně ale i ekologicky udržitelný kompromis cílů. Zde ještě ve shodě nejsme, ale to je ta práce, která je nyní před námi. Co vidím jako nejvíce důležité? Dobře věc komunikovat a vysvětlovat, zejména představitelům měst a obcí, vlastníkům a hlavně veřejnosti. Například nutnost výrazně zvýšit odstranění fosforu totiž nevyplývá jen ze směrnice o čištění odpadních vod, ale také z jiného předpisu, který je v tomto mnohem přísnější, rámcové směrnice o vodách. Kvalitní voda v našich řekách a nádržích je tu přeci také pro nás, ne jen z důvodu příkazu evropské legislativy."

Z celé konference se vynořovalo něco, co bych si dovolil nazvat společným jmenovatelem: **ochota hledat shodu a dělat věci lépe**. K společné cestě za čistou vodu pro lidi a krajinu by se měli připojit i zemědělci a rybníkáři, protože bez nich ta voda úplně zdravá být nemůže.

Ano, čistá voda není jen výsledkem technologií, ale také výsledkem schopnosti domluvit se. I v tomto směru konference **Nové trendy v čistírenství** nastavila vysokou laťku. Nezbývá než doufat, že nadcházející ročník zaměřený na vodárenství bude minimálně stejně podnětný. Přijďte se účastnit. **Nenechte si ujít odbornou konferenci Pitná voda 2026 v Táboře!** Těšit se můžete na aktuální témata z oblasti **pitné vody,** inspirativní přednášky odborníků a možnost sdílet zkušenosti s kolegy z oboru.

Vodní hospodářství je hrdým mediálním partnerem konference.

Ing. Václav Stránský



KRAJINNÝ INŽENÝR

3/2025

Zpravodaj České společnosti krajinných inženýrů při Českém svazu stavebních inženýrů

ČSKI

Pravidelná příloha časopisu Vodní hospodářství • Odp. redaktor Ing. Václav David, Ph.D., e-mail: vaclav.david@fsv.cvut.cz

Slovo úvodem

Dámy a pánové, vážení kolegové a čtenáři,
doufám, že jste si užili léto dle svých představ. V době, kdy dostáváte do rukou toto číslo Krajinného inženýra, se pravděpodobně nacházím v Indii. Chci se tam podívat do hor a aktuální zprávy necelé dva týdny před odjezdem hovoří o tom, že v místech, do kterých mířím, jsou právě velké povodně. Nás tady v České republice naštěstí letos nějaké významné katastrofy tohoto charakteru zatím minuly a doufám, že ještě nepřijdou.

V tomto čísle najdete zprávu o konferenci Rybníky 2025, která se konala v červnu, a článek Ing. Perlingera a Ing. Dočekala s názvem *Nová základní škola Pod Beckovem: Střešní kořenová čistírna odpadních vod.* Za normálních okolností by zde byla i zpráva z konference Krajinné inženýrství, která se měla konat 11. a 12. září. Konference však byla v tomto termínu bohužel zrušena, takže zde o ní informaci nenajdete.

Závěrem bych Vám chtěl popřát příjemný podzim. Některým lidem toto období působí spíše chmurné stavy, já však rád pozoruji, jak se krajina vybarvuje a stromy shazují listí, aby na jaře mohlo narůst nové. Zkuste si tedy na podzimu také najít něco hezkého, co se Vám bude líbit, snáze se Vám pak budou překonávat dny, které budou třeba šedivé. To bych ostatně doporučil i v obecnější rovině. Přeji Vám mnoho úspěchů a radosti a těším se na setkání v únorovém čísle nebo na některé z akcí pořádaných naší společnosti.

(-vd-)

Rybníky 2025

Již druhou dekádu existence zahájila letos konference Rybníky, jednalo se totiž o již jedenáctý ročník. Konference Rybníky 2025 se konala ve dnech 19.–20. 6. na půdě Fakulty stavební ČVUT a byla pořádána naší společností (ČSKI) ve spolupráci s Fakultou stavební a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků. Osvědčený formát, kdy první den je věnován přednáškám a druhý exkurzi, byl uplatněn i letos. Z technických důvodů byla přednášková část umístěna do menší učebny než obvykle (**obr. 1**), ale naštěstí se všichni účastníci, kterých bylo opět kolem sta, vešli a mohli se věnovat přednášeným příspěvkům.

Pohled do historie letos přinesl po několikaleté přestávce Ing. Elleder z ČHMÚ s příspěvkem „Nezapomenutelné rybniční soustavy v Polabí podruhé“. Příspěvek zasadil do širšího příběhu vývoje krajiny a vodního režimu. Pozornost byla věnována především rybníkům Jílovecký a Podchotuční. V dalším příspěvku informoval RNDr. Fuksa o databázi rybníků DivLand, která je založena na údajích ze ZABAGED a zahrnuje i údaje o jakosti sedimentů. První přednáškový blok uzavřel Ing. Balvín s příspěvkem nazvaným „Řešení rybníků a malých vodních nádrží z hlediska možnosti dodržování MZP a bezpečnosti při povodních“.

Druhý blok zahájil Ing. Pelikán prakticky orientovaným příspěvkem s názvem „Tůně a mokřady jako revitalizační opatření v krajině“. Věnován byl tůním, jako specifickému typu vodních ploch v krajině, a poukázal na komplexnost realizace těchto poměrně jednoduchých staveb. Vyzdvihl mimo jiné i potřebu dobrého zadání, výběru lokality a kvalitního projektu. Ing. Žatecký pokračoval příspěvkem věnovaným dřevěným potrubím spodních výpustí. Tyto historické prvky mnohdy vydržely stovky let, ale přesto podléhají postupné degradaci, která může být urychlena nevhodnou péčí o ně. Poruchy pak mohou ohrozit stabilitu i funkci dalších objektů, zejména hrází. Posledním dopoledním přednášejícím byl Dr. Pacini, který se věnoval otázkám souvisejícím s ekosystémem jezera Naivasha v Keni, zejména pak tlakům a změnám, které na něj působí.

Poobědový blok zahájil Ing. Regenda, který prezentoval údaje o změnách produkce ryb v prvních dvou dekádách

Obr. 1. Konference se v letošním roce konala z technických důvodů v menším sále než v předchozích letech

Obr. 2. První lokalitou navštívenou v rámci exkurze byla vodní nádrž Všesoky (Nový rybník)

Obr. 3. Účastníci měli možnost se seznámit i s nedávno dokončenou revitalizací melioračních kanálů, jejímž cílem je zmírnění dopadů starších odvodňovacích zásahů v lesním porostu

Obr. 4. U nádrže Podmoky, která byla poslední zastávkou exkurze, se rozvinula bohatá diskuse nad tématy souvisejícími zejména s podporou biodiverzity

21. století. Jedním z výstupů analýz produkce ryb je ten, že produkce ryb mírně narostla ve srovnání s 90. léty 20. století. Následující příspěvek byl věnován dalšímu obyvateli vodního prostředí, a to vydře říční. Prof. Urban se zabýval mimo jiné i škodami, které tento vodní živočich způsobuje na populacích ryb na Slovensku. Blok uzavřel Ing. Potužák, který pohovořil o možnostech recyklace rybničních sedimentů aplikací na zemědělskou půdu, kam je tímto způsobem možno dodat potřebný fosfor.

Další program přinesl dva různé pohledy na jeden rybník. Rybníku Vizír, který je národní přírodní památkou, se věnoval nejprve RNDr. Kolář s příspěvkem „Rybník Vizír jako ukázka nepovedené revitalizace pro biodiverzitu vodního hmyzu“ a následně doc. Pechar, jehož přednáška měla název „Revitalizace NPP Vizír – příklad ‚oligotrofizace‘ hypertrofního rybníku“. Poslední příspěvek přednesl Ing. Lubas, který představil stavby, na něž směřovala následující den exkurze.

První den konference byl již tradičně zakončen neformálním posezením v Únětickém pivovaru. Oproti minulému roku jsme dokonce mohli opět využít stodolu, která je pro diskuse přívětivější než vnitřní prostory restaurace. Společný večer nabídl prostor pro výměnu zkušeností a diskuse na rozličnými tématy souvisejícími i nesouvisejícími s rybníky.

Druhý den patřil exkurzi do Posázaví a na Kutnohorsko s Lesy ČR. Program navázal na poslední přednášku o aktuálních vodohospodářských akcích v okolí Uhlířských Janovic. Nejprve účastníci viděli rekonstrukci vodní nádrže Všesoky (Nový rybník) dokončenou v roce 2019 (**obr. 2**), v téže lokalitě i čerstvě hotovou revitalizaci melioračních kanálů (**obr. 3**) v rámci projektu „Meliorace Černíny“ zaměřenou na zmírnění dopadů starších odvodňovacích zásahů. Exkurze byla zakončena u nádrže Podmoky (**obr. 4**), která byla dokončena teprve v loňském roce. V rámci exkurze se rozvinula široká diskuse mezi biology, hospodáři, projektanty a dalšími zúčastněnými. Bylo pozitivní pozorovat, že diskuse byla konstruktivní, což může přispět k lepší realizaci a správě malých vodních nádrží a rybníků v budoucnosti. Diskuse by zajisté pokračovala i nadále, kdyby nebylo nutné dodržet itinerář a vyrazit zpět do Prahy, aby někteří účastníci stihli rezervované spoje domů.

Závěrem lze s potěšením konstatovat, že konference naplnila svůj hlavní cíl, kterým je setkávání odborníků z různých oborů a sfér souvisejících s rybníky a výměna názorů a zkušeností mezi nimi. Nelze než doufat, že se konferenci podaří uspořádat i v příštím roce a navázat tak na diskuse zahájené letos či v předchozích letech.

(-vd-)

Svazková základní škola Pod Beckovem: Střešní kořenová čistírna odpadních vod

Úvod

K čištění odpadních vod slouží kořenové čistírny již více než 50 let jako osvědčená technologie zajišťující efektivní dosažení limitů pro nakládání s odpadními vodami. Technologie kořenových čistíren je vhodná pro čištění odpadních vod od samostatně stojících objektů přes rekreační zařízení až po menší města a obce. Zelené střechy se stále častěji objevují nejen na nově budovaných objektech kancelářských budov, bytových a rodinných domů, ale i na objektech stávajících budov. Cílem zelených střech je oživení prostředí obcí a měst, ze kterého mají užitek nejen jeho obyvatelé případně zaměstnanci, ale i rostliny a živočichové, pro které se tak vytvoří přívětivější životní prostředí.

Využití kombinace těchto prvků, tedy střešní kořenové čistírny a zelené střechy, již tak časté ale není. Proto čtenářům rád představuji právě dokončenou stavbu střešní kořenové čistírny, která je součástí záměru s názvem „Nová budova základní školy Bašť“ dle projektu sdružení kanceláří BARAAK arch, s. r. o. a Dvořák & partneři, s. r. o. Investorem celého záměru je Svazek obcí Pod Beckovem. Společnost DEKONTA se na tomto projektu podílela od přípravy až po realizaci. Nová základní škola vznikla v území ohraničeném ulicemi K Beckovu, Hlavní a Za Dvorem ve středu obce Bašť.

Základní údaje, limity a omezení

Počet EO:	205 (s možností intenzifikace na 240)
Specifická spotřeba vody:	100 l/ob./den
Balastní vody:	0 %
Typ filtru:	vertikálně skrápěný
Plocha filtru:	640 m²
Emisní standardy:	viz **tabulka 1**

Návrh a provedení střešní kořenové čistírny se potýkaly s řadou limitů, jako jsou statika budovy, koordinace s ostatními profesemi podílejícími se na realizaci střechy (hydroizolace, vzduchotechnika), celková přístupnost pro obsluhu či údržbu zeleně.

Konstrukční řešení

Celé řešení nakládání s odpadními vodami vychází z požadavků investora a místních podmínek, resp. z potřeby prostorové úspory a s přihlédnutím k vysoké hladině podzemní vody. Samotná kořenová čistírna tak tvoří část střechy nové dvoupodlažní budovy školy pro 2. stupeň umístěné ve středu celého areálu. Z vizualizace na **obr. 1** je patrné, že většina z celkové plochy střech nových budov školy je provedena pouze formou

Obr. 1. Vizualizace výsledné podoby areálu ZŠ a blízkého okolí po dokončení všech etap plánované výstavby. (zdroj: https://baraak.cz/project/zakladni-skola-bast, dostupný dne 26. 7. 2025)

extenzivní zelené střechy, které se střešní čistírnou opticky splynou.

Účelem střešní kořenové čistírny v Bašti je čištění odpadních vod z provozu školy. Výjimkou jsou vody z provozu školní kuchyně, které jsou za odlučovačem tuků odváděny do kanalizace. Dešťové vody se po hygienizaci využívají pro potřeby splachování WC.

Celý systém nakládání s odpadními vodami, který je patrný na **obr. 2**, je složen z několika dílčích částí. V prvním kroku jsou odpadní vody po svém vzniku svedeny do **anaerobního separátoru**. Z anaerobního separátoru je voda svedena do čerpací stanice odkud je dvojicí čerpadel pulzně čerpána na střechu, kde skrápí střešní kořenový filtr.

Hlavním stupněm čištění je **střešní kořenový filtr**, který byl navržen a zrealizován jako vertikálně skrápěný filtr s celkovou plochou 640 m² a mocností skladby od 0,90 m až 1,05 m v závislosti na sklonu střechy. Střešní filtr je rozdělen na tři stavebně neoddělené části. Jde o hlavní kořenové filtry **VKF 1**, **VKF 2** a **VKF 3**. VKF 1 a VKF 2 slouží k nakládání s předčištěnou vodou z anaerobního separátoru. V západní části střešní čistírny je umístěna plocha filtru VKF 3 s plochou určenou pro recirkulaci. Konstrukce střechy je uvažována jako bezodtoková s výjimkou bezpečnostních přelivů umístěných v atikách a svodného potrubí ve filtrech. Samotný vertikální filtr je umístěn na souvrství tvořeném nosnou konstrukcí střechy, spádovými klíny, hydroizolací střechy a hydroizolací s odolností proti UV záření. Obě hydroizolace jsou vodotěsně spojeny, vytaženy až nad provozní hladinu a zakončeny na atice. Tím vznikla vodotěsná vana pro vytvoření souvrství vertikálního filtru. Těsněné prostupy do kořenového filtru jsou provedeny pomocí přírub pro spodní hydroizolaci střechy a manžetami pro horní hydroizolaci. Po provedení zkoušky vodotěsnosti jak spodní, tak i vrchní izolační folie byla na vrchní vrstvu ochranné geotextilie uložena drenážní a vyrovnávací vrstva lehčeného kameniva v mocnosti dle sklonu střechy. Do této vrstvy bylo uloženo sběrné potrubí (**obr. 3**) sloužící k odvodu vyčištěné odpadní vody z celé plochy střešní kořenové čistírny. Nad drenážní vrstvu byla rozhrnuta separační vrstva z lehčeného kameniva menší frakce a na ní byla vytvořena vrstva hlavní filtrační náplně, opět z lehčeného kameniva. Celé souvrství lehčeného kameniva je přitíženo praným štěrkem pro zajištění stability celé skladby zejména s ohledem na sání větru. Na povrchu filtru je následně položeno rozvodné potrubí a perforované potrubí uložené s ohledem na souběh s ostatními profesemi a správnou funkčnost filtru. Prostor střešní kořenové čistírny je vybaven bezpečnostní přelivy v úrovni povrchu skladby filtru s přepadem na přilehlé zelené střechy a jedním bezpečnostním přepadem přímo napojeným na sběrné potrubí. Úroveň hladiny vody v souvrství filtru by tak neměla ani v případě poruchy na sběrném a odtokovém potrubí překročit maximální výšku 0,35 m. V krajním případě poruchy na odtokovém potrubí i na spodním bezpečnostním přelivu budou aktivovány horní přelivy ve výšce 0,80 m, resp. 0,95 m nad dnem hydroizolace. Zatížení celé konstrukce střechy tak nepřekročí požadované hodnoty ani v havarijním případě.

Tab. 1. Navrhované hodnoty zbytkového znečištění vypouštěného ze střešní kořenové ČOV

Ukazatel	„p“ (mg/l)	„m“ (mg/l)
BSK_5,	30,0 mg/l	50 mg/l
$CHSK_{Cr}$,	110,0 mg/l	170,0 mg/l
NL	40,0	60,0

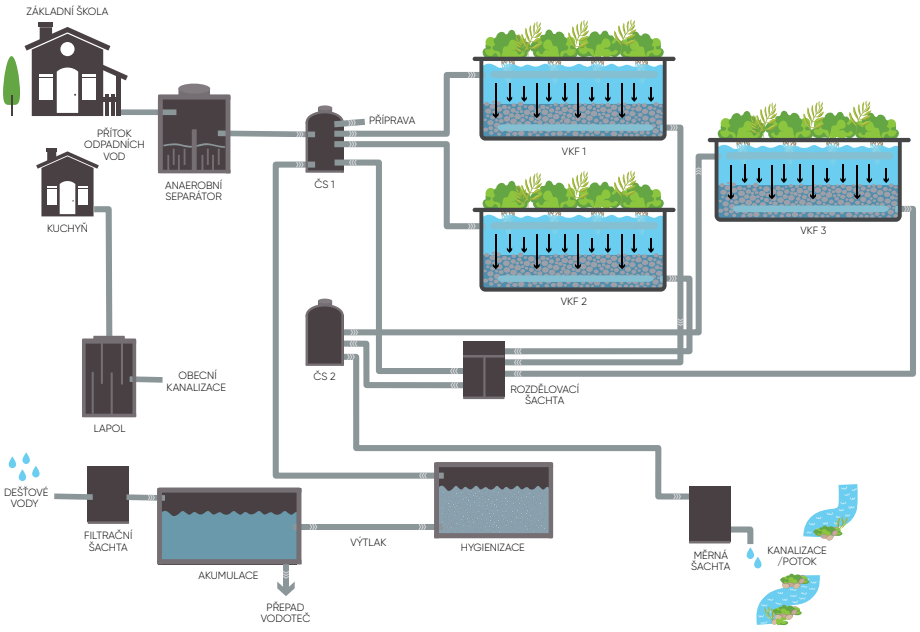
Pozn.:
„p“ – přípustná hodnota koncentrací pro rozbory směsných vzorků vypouštěných odpadních vod
„m“ – maximálně přípustná hodnota koncentrací pro rozbory směsných vzorků vypouštěných odpadních vod, maximální koncentrace „m“ jsou nepřekročitelné.

Systém dále disponuje dalšími technologiemi, které jsou propojeny skupinou čerpacích stanic. Do jedné z **čerpacích stanic** je zaústěn přítok vody z technické místnosti, ve které bude probíhat hygienizace dešťové vody pro potřeby doplnění vody ve střešní kořenové čistírně v případě výpadku přísunu vod z provozu školy nebo v době, kdy není dostatečný přísun odpadní vody a hrozilo by vysychání kořenového filtru (období volna, letní prázdniny apod.).

Do druhé **čerpací stanice** určené pro recirkulaci je gravitačně svedena voda z akumulační nádrže dešťových vod, resp. již vyčištěná voda ze střešní ČOV. Ta je následně pulzně čerpána do střešního kořenového filtru za účelem dodatečného zlepšení její kvality.

Po dokončení celého souvrství filtru je celá plocha osázena **vybranými mokřadními rostlinami**, zejména osvědčenou chrasticí rákosovitou (*Phalaris arundinacea*).

Vyčištěné odpadní vody jsou vypouštěny do kanalizace přes **měrnou šachtu** a odtud dále do vodoteče. V šachtě je instalován Parshallův žlab vybavený ultrazvukovou sondou, která moni-



Obr. 2. Schéma KČOV

Obr. 3. Sběrné potrubí před rozprostřením souvrství filtru (vlevo) a rozvodné potrubí a perforované potrubí na povrchu filtru překryté půleným profilem PVC potrubí před překrytím zatěžovací vrstvou praného štěrku (vpravo)

toruje množství odtékající vody a tyto údaje pravidelně odesílá. Měrná šachta zároveň slouží k odběru vzorků pro akreditované stanovení kvality vyčištěné vody.

Závěr

Přestože střešní kořenová čistírna tvoří pouze malou část celého záměru nové budovy základní školy v Bašti, jedná se o jeho klíčovou součást. Bez takto zvoleného systému nakládání s odpadními vodami by nebylo možné celý záměr v současných podmínkách zrealizovat.

Tento příklad zároveň dobře dokazuje, že i v případě nedostatku potřebné plochy pro vybudování umělých mokřadů, je možné realizovat i tak specifické a náročné projekty jako je právě střešní kořenová čistírna přímo v intravilánu obce.

Ing. Ondřej Perlinger
Ing. Petr Dočekal
DEKONTA, a. s.
perlinger@dekonta.cz

dekonta

DEKONTA, a.s.
VOLUTOVÁ 2523,
PRAHA 158 00

+420 235 522 252,
INFO@DEKONTA.CZ
WWW.DEKONTA.CZ

Ekologické čištění odpadních vod **DEKONTA**

Biotechnologie pro úpravu tuhých i kapalných odpadů

Hygienizace a stabilizace kalů

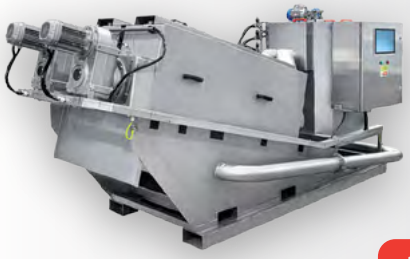
Biosušení čistírenských kalů

Kořenové čistírny odpadních vod

Biotechnologické a analytické laboratoře

Výzkum v oblasti životního prostředí

MP-DW Šnekolis



KSP Kontinuální polymerizační stanice

MP-EDW Elektroosmotické odvodnění

MIVALT

vodní hospodářství® water management®

10/2025 ◆ ROČNÍK 75

Specializovaný vědeckotechnický časopis pro projektování, realizaci a plánování ve vodním hospodářství a souvisejících oborech životního prostředí v ČR a SR

Specialized scientific and technical journal for projection, implementation and planning in water management and related environmental fields in the Czech Republic and in the Slovak Republic

Redakční rada: prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc. – předseda; doc. RNDr. Jana Říhová Ambrožová, PhD.; RNDr. Petr Blabolil, Ph.D.; prof. Ing. Igor Bodík, PhD.; Ing. Václav David, Ing. Pavel Dobiáš, Ph.D.; Ing. Pavel Hucko, CSc.; Ing. Tomáš Just; Mgr. Jaroslava Nietscheová; Ing. Lucie Pokorná, Ph.D.; RNDr. Pavel Punčochář, CSc.; Ing. Jiří Švancara; Ing. Lenka Wimmerová, MSc., Ph.D.

Šéfredaktor: Ing. Václav Stránský
stransky@vodnihospodarstvi.cz, mobil 603 431 597
Objednávky časopisu, vyúčtování inzerce:
administrace@vodnihospodarstvi.cz
Adresa vydavatele a redakce (Editor's office):
Vodní hospodářství, spol. s r. o., Bohumilice 89,
384 81 Čkyně, Czech Republic
www.vodnihospodarstvi.cz
DIČ: CZ25172379
Datová schránka: 6c9a5be

Roční předplatné základní 1344 Kč, pro individuální nepodnikající předplatitele 840 Kč. Ceny jsou uvedeny s DPH. **Roční předplatné na Slovensko** 38 €. Cena je uvedena bez DPH.

Objednávky předplatného přijímá redakce na administrace@vodnihospodarstvi.cz nebo prostřednictvím www.vodnihospodarstvi.cz

Expedici a reklamace zajišťuje DUPRESS, Podolská 110, 147 00 Praha 4, tel.: 241 433 396.

Distribuce: SEND Předplatné spol. s r.o., Ve Žlíbku 1800/77, 193 00 Praha 9

Sazba: Martin Tománek – grafické a tiskové služby, tel.: 603 531 688, e-mail: martin@tomanek.cz

Tisk: Tiskárna Macík, s.r.o., Církvičská 290, 264 01 Sedlčany, www.tiskarnamacik.cz

6319 ISSN 1211-0760. Registrace MK ČR E 6319.

© Vodní hospodářství, spol. s r. o.

Rubrikové příspěvky nejsou lektorovány
Jakékoliv užití celku nebo části časopisu rozmnožováním je bez písemného souhlasu vydavatele zakázáno.
Obsah příspěvků a názory v časopise otištěné nemusejí být v souladu se stanoviskem redakce a redakční rady.
Neoznačené fotografie – archiv redakce.

Časopis je v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v České republice. Časopis je sledován v Chemical abstract.

KROHNE
Water & Wastewater

Vysoce přesné měření všech relevantních procesních dat

Kompletní portfolio přístrojů pro procesní měření

krohne.link/water-wastewater-cs

EFEKTIVNÍ REGULACE A USMĚRŇOVÁNÍ PRŮTOKU VOD V KANALIZACÍCH

komplexní vystrojování odlehčovacích komor a děšťových zdrží • plovákové regulátory štítové česle • štítové oddělovače

- navrhneme technické řešení
- vyrobíme
- dodáme příslušenství
- nainstalujeme a servisujeme

REKUPER

REKUPER SYCHROV, s.r.o. www. rekuper.cz / tel. +420 482 464 611 / info@rekuper.cz

envites®

FILTRACE
SEDIMENTACE
ODVODNĚNÍ
PŘÍPRAVA POMOCNÝCH CHEMIKÁLIÍ

S 30 lety zkušeností je společnost ENVITES, spol. s r.o. Vaším partnerem při dodávce technologických celků i jednotlivých komponent pro:

- Tlakové pískové filtrace
- Kontinuální pískové filtrace
- Lamelové usazovací nádrže
- Čiření
- Přípravu pomocných chemikálií
- Zahušťování kalu
- Kalolisy
- Vystrojení betonových nádrží

Vídeňská 120b, 619 00 Brno, CZ TEL: +420 547 429 211 WWW.ENVITES.CZ INFO@ENVITES.CZ

Více než 300 instalací v Čechách a na Slovensku

Více než 25 let zkušeností

CENTRIVIT
ENVIRONMENT AND PROCESS TECHNOLOGIES

Dodávka, montáž a servis zařízení na
zahušťování a odvodňování kalu

Odstředivky, šnekolisy, dehydrátory, sítopásové lisy, pásové a rotační zahušťovače

Chcete si na váš kal vyzkoušet naši odvodňovací odstředivku, šnekolis nebo dehydrátor?

Vyzkoušejte naše mobilní zařízení!

www.centrivit.cz

HUBER
TECHNOLOGY
WASTE WATER Solutions

Moderní řešení pro ČOV

Oběhové česle EscaMax

Nejlepší je originál

HUBER CS spol. s r.o.
Cihlářská 19, 602 00 Brno
tel.: 532 191 545 info@hubercs.cz
www.hubercs.cz

ALL FOR WATER | IN-EKO TEAM

JIŽ 30 LET
VÁŠ PARTNER
S NEJŠIRŠÍM FILTRAČNÍM
PORTFOLIEM

REVOLUCE VE FILTRACI
„CHLUPATÝ“ BUBNOVÝ FILTR

NOVINKA

- filtrace od 5 µm
- odstranění NL, redukce BSK a CHSK, redukce fosforu až na 0,1 mg/l
- odolný vůči nárazovému zatížení NL a Qmax
- dlouhá životnost filtrační tkaniny
- nízké provozní náklady

PRŮMYSL KOMUNÁL
ÚPRAVNY PITNÝCH VOD

www.in-eko.cz info@in-eko.cz

VŘETENOVÉ ČERPADLO
PCM EcoMoineau MX

NEJVYŠŠÍ ÚČINNOST
A NEJKRATŠÍ ZÁSTAVBOVÁ
DÉLKA NA TRHU

BEZ DEMONTÁŽE Z POTRUBÍ
ÚDRŽBA SNADNO A RYCHLE

PCM keep it moving

ROLIOL

PUMP PROTECTOR®
Made by AQUA4UM

Nová generácia čerpacích staníc odpadových vôd

Úspora min. 80 % prevádzkových nákladov

© Aqua4um s.r.o.

www.aqua4um.com | office@aqua4um.sk | +421 915 899 153

AQUA4UM®