ZAJIŠTĚNÍ ZDRAVOTNĚ NEZÁVADNÉ A BEZPEČNÉ PITNÉ VODY V DISTRIBUČNÍ SÍTI

JANA ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ

Ústav technologie vody a prostředí, FTOP, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6
jana.ambrozova@vscht.cz

Došlo 17.6.08, přepracováno 15.1.09, přijato 26.2.09.

Klíčová slova: protokol Water Safety Plans, jakost pitné vody, distribuce a akumulace pitné vody, vodojemy, biofilmy, stabilita pitné vody

Úvod

Snad pro každého z nás je samozřejmostí, že je pitná voda snadno dostupná, a to pouhým otočením kohoutku vodovodní baterie. Nutnost a potřebu pitné vody si uvědomíme až tehdy, kdy voda z kohoutku neteče a zrovna ji potřebujeme. Již méně si dokážeme představit stále se zvyšující legislativní nároky na jakost pitné vody, které vedou ke zvýšenému tlaku vlastníků na zkvalitnění služeb provozních společností. Jakost pitné vody se řídí směrnicí Rady 98/83/EHS o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu. Pokyny, které se významně týkají ochrany lidského zdraví a prevence před mikrobiální a chemickou kontaminací dodávané pitné vody, byly úspěšně zaimplementovány do zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví lidu (v platném znění) a jeho prováděcí vyhlášky č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody (v platném znění). Na pitnou vodu je potřeba nahlížet jako na potravinu, proto se zde nabízí používat systém známý v potravinářství, a to Rizikovou analýzu a kritické kontrolní body při výrobě (Hazard Analysis and Critical Control Points – HACCP). Další předpisy, vydané Světovou zdravotnickou organizací, jsou Plány bezpečného zásobování vodou; Řízení kvality pitné vody od povodí ke spotřebiteli (Water Safety Plans; Managing drinking-water quality from catchment to consumer), které vedou ke změně pohledu na zabezpečení nezávadnosti pitné vody kontrolované u spotřebitele na kohoutku[1]. Zvýšením nároků a požadavků na jakost dodávané vody se pozornost vodárenských organizací zaměřila na zkvalitnění úpravy vody např. zavedením nových technologií. Zájem o kvalitní a nezávadnou pitnou vodu se dále posunul na distribuční sítě a zejména pak na vodojemy (akumulační nádrže). Plány bezpečného zásobování vodou jsou v současné době velmi aktuální a pro české vodárenství z toho vyplývá nutnost přijmout mnoho opatření, jejichž výstupem bude systematický návrh hodnocení a kontroly pitné vody v celém výrobním řetězci.

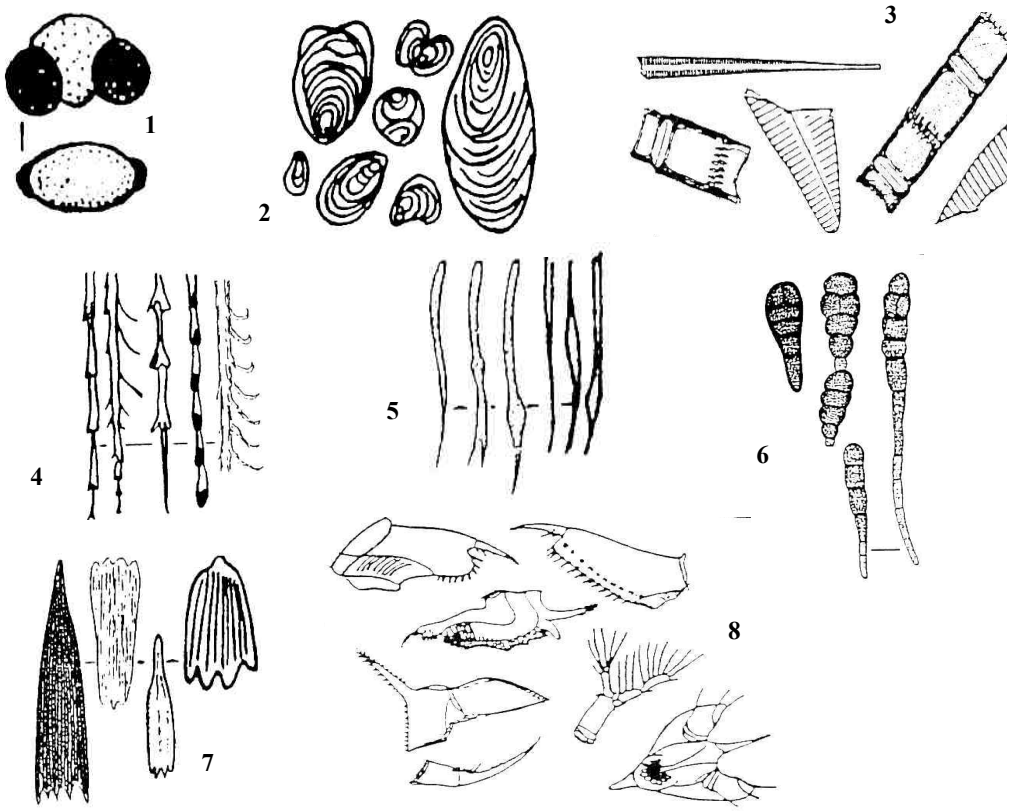
Biologická stabilita pitné vody a sekundární kontaminace vzduchem

Díky nižším odběrům vody se distribuční sítě staly předimenzovanými, pitná voda se v nich zdrží i několik dní. Opakovanými biologickými audity vodárenských soustav bylo zjištěno, že zdržení vody v potrubí negativně ovlivňuje mikrobiální kvalitu vody, projevuje se koroze smáčeného pláště potrubí a jsou nacházeny částice a mikroorganismy, které se do pitné vody dostaly zřejmě sekundárně[2,3]. Jedním ze základních požadavků při dopravě a akumulaci pitné vody je její biologická stabilita. Biologická stabilita je míra odolnosti pitné vody proti rozvoji mikroorganismů a tvorbě biofilmů (nárostů) při její akumulaci a distribuci v podmínkách absence dezinfekčního prostředku[4]. Ke studiu biologické stability vody (a příp. tvorby biofilmů) se používají varianty mikrobiologických testů založených na stanovení rozložitelného organického uhlíku nebo jeho podílu (asimilovatelného využitelného pro tvorbu biomasy). Biologickou stabilitu je možné definovat pomocí biodegradabilního podílu rozpuštěného organického uhlíku (BDOC), což je část organického uhlíku ve vodě mineralizované organotrofními organismy[5].

Pokud je voda biologicky stabilní, neprojevuje se v ní sekundární pomnožování organismů, nicméně v reálných podmínkách dopravy pitné vody, je biologická stabilita ovlivněna klíčovými faktory, které souvisejí s charakterem distribuční sítě a s charakterem distribuované pitné vody. V případě distribuční sítě se významně uplatňuje stáří a materiál potrubí, velikost zásobované oblasti, doba zdržení, hydraulické poměry, provoz a údržba. Charakter distribuované pitné vody významně souvisí s jakostí surové vody (dle vyhl. č. 428/2001 Sb.) a následně s technologickým uspořádáním vodárenské linky[6].

Soustavným hydrobiologickým sledováním vodárenských soustav (v rámci biologických auditů) byl podložen předpoklad negativního působení vzdušné kontaminace v prostorách akumulačních komor, které jsou často nezajištěné před vletem hmyzu či spadem prachu a dalšího partikulovatelného materiálu. Cestou vzdušné kontaminace dochází k tvorbě biofilmů, které bývají často velmi podceňovaným zdrojem organického substrátu. Ve vzorcích vody a ve stěrech ze smáčených ploch akumulačních nádrží vodojemů jsou nacházeny indikátory vzdušné kontaminace (viz obr. 1), např. konidie a hyfy mikromycet, škrob, pylová zrna, motýlí šupiny, ptačí peří, rostlinné a živočišné zbytky, trichomy rostlin, zbytky chitinu hmyzu či detritus s rozvíjejícími se vlákny bakterií. Tyto indikátory se významně podílejí na degradaci jakosti akumulované pitné vody tím, že jsou substrátem pro další troficky závislé mikroorganismy a podílejí se na spotřebě hygienizačního činidla.

Aby byla dodržena podmínka zajištění nezávadné a bezpečné pitné vody v celé distribuční síti, je potřeba



Obr. 1. **Nejčastěji se vyskytující částice abiosestonu a biosestonu ve vzorcích vody a ve stěrech ze smáčených ploch akumulací**; (1) pylové zrno, (2) bramborový škrob, (3) zbytky schránek rozsivek, (4) ptačí peří, (5) štětiny máloštětinatců, (6) konidie *Alternaria* sp., (7) motýlí šupiny, (8) zbytky schránek korýšů[7]

omezit sekundární kontaminaci v místech kontaktu pitné vody se vzduchem, tj. zaměřit se na vodojemy. Opakované hydrobiologické audity vodárenských zařízení totiž stále častěji poukazují na nutnost řešení sekundární kontaminace vzduchem a přístupu vzduchu do prostor s akumulovanou pitnou vodou ve vodojemech[7].

Díky zpřísněné legislativě, předpisům a požadavkům na systém zásobování obyvatel pitnou vodou budou muset provozovatelské vodárenské společnosti přistoupit k rekonstrukci vodojemů[8]. Je potřeba zdůraznit, že při rekonstrukci je nutné uvažovat i o zajištění objektu před sekundární kontaminací a pokud možno ji minimalizovat. Jako příklad lze uvést hydrobiologický audit, který byl uskutečněn ve vodárenské společnosti disponující s úpravou podzemních zdrojů vody. Ve vzorcích vody a stěrech, odebíraných přímo z akumulačních nádrží a na sklech exponovaných v korozních smyčkách, byly nalezeny organismy a částice, které se do akumulované a dále distribuované pitné vody dostaly sekundárně. Provozovatel si po úpravě znehodnocoval kvalitní zdroj podzemní vody díky nevhodně zajištěným vodojemům.

V předpisech pro jakost pitné vody, ve vyhl. č. 252/2004 Sb., jsou ošetřeny následující biologické ukazatele tzv. nezávadnosti pitné vody: kultivovatelné mikroorganismy při 22 a 36 °C, intestinální enterokoky, koliformní bakterie, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* a mikroskopický obraz (počet organismů, živé organismy, abioseston). Uvedené ukazatele se vztahují pouze na vodu, nikoliv na stěry, ty zatím nejsou předmětem legislativních požadavků. Nicméně, mikroskopické rozbory volné vody a stěrů ze smáčených stěn akumulačních nádrží, často prokazují výskyt konidií a hyf mikromycet, které je potřeba posuzovat zvlášť obezřetně ve smyslu lidského zdraví. Do pitné vody se konidie a hyfy dostávají nezajištěnými místy ve vodojemech, kterými jsou nezajištěné větrací průduchy situované v akumulačních prostorách. Mikromycety jsou mikroorganismy všeobecně odolné vůči chloraci, používané k hygienickému zabezpečení pitné vody. Literatura uvádí[9], že k jejich inaktivaci dochází až při koncentraci 3 mg l^{-1} chloru. Z hlediska lidského zdraví, nezávadnosti pitné vody a možného negativního působení na lidský organismus není možné aplikovat tak vysoké koncentrace chloru, ve vyhl. č. 252/2004 Sb. je uvedena mezní hodnota koncentrace chloru 0,3 mg l^{-1}.

Negativní vliv mikromycet v dopravované pitné vodě byl zjištěn v jednom nejmenovaném potravinářském závodě vyrábějícím mléčné výrobky. Pitná voda splňovala hy-

gienické limity předepsaných biologických ukazatelů vyhl. č. 252/2004 Sb., nicméně obsahovala konidie mikromycet, které nebyly doporučenými rozbory prokázány. Díky mikrobiálně závadné vodě se kazily jogurty a další mléčné výrobky přímo ve výrobě. Další případ náhlého pomnožení mikromycet byl zaznamenán v nově rekonstruovaném vodojemu, kde se pro úpravu stěn akumulačních nádrží použily speciální skleněné desky, mezi které se aplikovala tmelící hmota. Vybraná tmelící hmota sice splňovala požadavky tzv. bezpečného styku s pitnou vodou (vyhl. č. 409/2005 Sb.), nicméně podporovala pomnožování mikromycet. Při čištění nádrží byly spáry mezi deskami kompletně prorostlé černými chomáči, které při podrobném prozkoumání byly identifikovány jako hyfy mikromycet. V dopravované pitné vodě se nevyskytovaly konidie ani hyfy dle rozborů provedených laboratoří. Jediným možným vysvětlením jejich výskytu byl přísun vzduchem, který byl v kontaktu s akumulovanou pitnou vodou.

Přesto, že jsou konidie mikromycet lidským organismem většinou inhalovány, neměl by se jejich výskyt v pitné vodě a v biofilmech brát na lehkou váhu. Některé mikromycety jsou potenciálními producenty mykotoxinů[10], některé jako oportunisté napadají oslabené jedince (např. mykotoxikózy způsobené aspergily). I přes významnost ukazatele „mikromycety“ ve smyslu zdraví člověka nebyly dosud mikromycety zařazeny mezi samostatně sledované ukazatele jakosti pitné vody ve vyhl. č. 252/2004 Sb. (zaznamenávají se pouze jako součást mikroskopického obrazu, který neprokáže jejich vitalitu).

Studium degradace jakosti pitné vody při její akumulaci

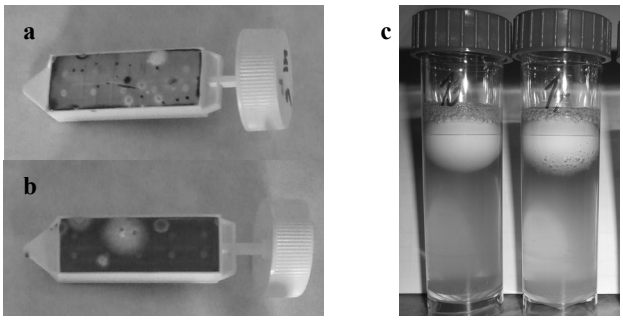
Z uskutečněných biologických auditů zařízení vodárenských společností jasně vyplývají doporučení, která se týkají nutnosti zaměřit se na stavební úpravy a řešení prostor tak, aby byl výskyt a množství částic abiosestonu a mikroorganismů minimalizován či úplně vyloučen[4,7]. Častými zjišťovanými závadami, přímo na místě probíhajícího biologického auditu, jsou zvýšená prašnost prostředí, nedořešená sanace povrchů, špatné odvětrání prostor, absence zábran proti přísunu částic vzduchem skrze větrací průduchy, nezajištěná okna a přímý přístup slunečního záření do akumulačních prostor. Jelikož závady, zjištěné biologickými rozbory neodmyslitelně souvisejí s konstrukčním a stavebním uspořádáním objektu, bylo potřeba sledování problematiky sekundární kontaminace vzduchem a její případné řešení podstatně rozšířit. Výzkum řešení degradace jakosti pitné vody při její akumulaci byl zaměřen na sledování mikrobiologických, biologických a fyzikálně-chemických změn při akumulaci vody, na ovlivňování jakosti akumulované vody vzduchem, na vliv stavebního uspořádání a hydraulických poměrů na jakost akumulované vody. Při sledování charakteru a složení biofilmů (nárostů) ve vodojemech v době před jejich čištěním a za jejich provozu, byla zvýšená pozornost věnována nejen přítomnosti částic abiosestonu, ale zejména přítomnosti konidií a hyf mikromycet.

Studium charakteru biofilmů

Aby byly postiženy všechny faktory, které se mohou podílet na degradaci jakosti akumulované pitné vody, byl vybrán soubor vodojemů tak, aby zohlednil charakter objektů, tj. jejich situování v krajině, zdroj vody (jeden či směs několika zdrojů), velikost, stáří, konstrukci, použitý materiál, typ zásobené oblasti, provoz a obsluhu. Do sledovaného souboru vodojemů byly zařazeny vodojemy věžové a zemní s kapacitou do 1000 m^3 (vodojem malý), v rozmezí od 1000 do 5000 m^3 (vodojem střední) a s kapacitou více než 5000 m^3 (vodojem velký). Vodojemy byly navštěvovány v době před jejich čištěním, kdy byly sledované nádrže vypuštěny, čímž byla umožněna revize stavu objektu a dále odběr vzorků biofilmů (pomocí stěrů či otisků) dále podrobené laboratornímu zpracování. Pro podchycení možného přísunu částic a mikroorganismů vzduchem byly vybrané vodojemy sledovány také za provozu v průběhu dvou let.

Vzorky stěrů monitorují jakékoliv změny dlouhodobějšího charakteru. Jejich význam nebyl českou legislativou dosud zohledněn a zahrnut mezi biologické ukazatele hodnocené v případě biologické stability vody. Odběry vzorků stěrů lze provádět stěrem pomocí proužku tenkého molitanu, který se následně vloží do 100ml polyethylenové vzorkovnice naplněné vodou z příslušné lokality. Tento způsob odběru je vhodný pro mikroskopické vyhodnocení vzorku, kde není nutné tak přísně dodržovat aseptické podmínky. Pokud je nutné sledovat i mikrobiologické ukazatele, jejichž stanovení vyžaduje při odběru přísné aseptické podmínky, není tato metoda odběru vhodná. V případě mikrobiologického hodnocení kontaminace stěn akumulací se osvědčil rychlý a efektivní způsob odběru pomocí pádlových testerů (Paddle Testers od firmy Hach Lange). Pádlový tester je destička s definovanými rozměry, na které je na jedné (rubové) straně nanesena specifická kultivační půda sloužící pro záchyt cílené skupiny mikroorganismů a na druhé (lícní) straně je nanesena nespecifická půda pro zjištění celkového počtu aerobních bakterií. Použitá metoda odběru je velmi rychlá a poskytuje věrohodné výsledky stupně kontaminace, které se udávají v počtech 10^x (titru). Pro potřeby zjištění úrovně kontaminace smáčených ploch akumulačních komor se používají testery pro záchyt koliformních bakterií (kat.č. 26109-10 Total Aerobic Bacteria/ total coliform), pro záchyt plísní a kvasinek (kat.č. 26108-10 Total Aerobic Bacteria/Yeast and Mould) a pro kontrolu dezinfekce (kat.č. 26108-10 Total Aerobic Bacteria/ disinfection control), viz obr. 2a, b. Pro následné vyhodnocení výsledků a posouzení míry kontaminace stěn akumulační nádrže, se osvědčil odběr minimálně pěti vzorků stěrů, např. ze dna objektu, na přítoku či odtoku, z pravé a levé stěny, ze sloupu (pokud byl přítomen).

Při stanovení mikroskopického obrazu (tzv. hydrobiologický rozbor) jsou na rastru počítací komůrky Cyrus I. zaznamenávány mikroorganismy, u kterých není možné dostupnými metodami potvrdit či vyvrátit jejich vitalitu.



Obr. 2. **Příklad zjištění úrovně kontaminace pádlovými testery** (a, b) **a potvrzení biologické aktivity pomocí IRB BART™** (c); (a) celkové aerobní mikroorganismy se specifikací růstu při 22 °C, (b) záchyt plísní a kvasinek, (c) potvrzení aktivity železitých bakterií IRB BART™ tvorbou bublinek kolem plováku a změnou barvy média ze žlutozelené v hnědou

Jedná se o mikromycety a železité bakterie, které se vyskytují v akumulačních nádržích poměrně často. Železité bakterie jsou známé tím, že se svojí metabolickou aktivitou podílejí na spotřebě chloračního (dezinfekčního) činidla a tím umožňují sníženou biologickou stabilitu pitné vody. Pro zjištění vitality železitých bakterií je nutné provést kultivační stanovení. Zde se nabízí, z důvodu dlouhé doby expozice vzorku (cca 16 dní), používat velmi jednoduchou screeningovou metodu, která je založená na testu biologické aktivity. V případě aktivity železitých bakterií byl vybrán IRB BART™ test (Iron Related Bacteria) firmy Hach Lange. Výhodou použité screeningové metody je také elegantní způsob odběru vzorku. Do výrobcem připravené sterilní zkumavky se odebere vzorek a 15 ml vzorku se přelije do další speciální zkumavky, ve které jsou v podobě prášku přítomny reagencie. Zkumavka se uzavře a dle návodu od výrobce se její obsah protřepe/neprotřepe a kultivuje se buď v horizontální/vertikální poloze ve tmě/na světle. Každý den se sleduje barva média a případné reakce, např. tvorba bublinek, sedimentu či barevných proužků. Výsledkem testu je přibližný počet bakterií KTJ ml^{-1}, který se podle průběhu a barevné reakce testu odečte z diagramu přiloženého výrobcem (viz obr. 2c).

Při studiu charakteru biofilmů, odebíraných stěrem molitanu po smáčené ploše akumulační nádrže, byly nalézány částice abiosestonu (korozní produkty, sraženiny železa a manganu, písek, konkrece vápna, detritus, pylová zrna, škrob, motýlí šupiny, štětiny máloštětinatců, svlečky hmyzu, rostlinné zbytky, schránky rozsivek, živočišné zbytky) a zástupci biosestonu (nejčastěji zastoupeni zástupci centrických rozsivek – rody *Asterionella, Aulacoseira, Cyclotella, Melosira*, penátních rozsivek – rody *Fragilaria, Gomphonema, Nitzschia, Pinnularia, Synedra, Tabellaria*, zástupci obrněnek – rody *Peridinium, Amphidinium, Katodinium*, zástupci krásnooček – rod *Trachelomonas*, zástupci zelených řas – rody *Chlamydomonas, Scenedesmus*, zástupci sinic – rod *Phormidium*, zástupci železitých bakterií – rody *Gallionella* a *Leptothrix,* druh *Planctomyces bekefii*, neidentifikovatelné bakteriální shluky, hyfy a konidie mikromycet – nejčastěji rod *Alternaria*, zástupci korýšů, vířníků a háďátek, v některých případech i s vajíčky).

Ze zjištěných nálezů biologických parametrů u vzorků stěru, odebraných přímo ve sledovaných akumulačních komorách, byly navrženy doporučené limity pro typ vzorku stěr (popř. otisk), viz tab. I. U ukazatele mrtvé mikroorganismy a abioseston nemá smysl určovat doporučené limity, protože jejich úroveň je značně ovlivněna metodou odběru, místem odběru a lokalitou, na které je odběr prováděn (včetně provozu a manipulací v objektu). Nehledě na skutečnost, že hodnocení abiosestonu je subjektivní metodou, která může být examinátorem dosti často nadhodnocována. Doporučené limity pro vzorky stěrů by měly provozovatelským vodárenským organizacím sloužit pro kontrolu stavu a kontaminace stěn akumulačních nádrží a měly by umožnit i případnou optimalizaci provozu a obsluhy těchto objektů.

Tabulka I
Doporučené limity rozsahu pro stěry ze stěn akumulace za provozu

Ukazatel	Doporučený rozsah/ limit
Celkové aerobní bakterie se specifikací růstu při 22 °C [titr]	$0–10^2$
Celkové aerobní bakterie se specifikací růstu při 36 °C [titr]	$0–10^3$
Koliformní bakterie [titr]	0
Kontrola dezinfekce [titr]	$0–10^2$
Mikromycety, plísně a kvasinky [titr]	$0–10^1$
Živé mikroorganismy [org ml^{-1}]	0
Mrtvé mikroorganismy [org ml^{-1}]	nemá smysl specifikovat
Abioseston [% pokryvnosti]	nemá smysl specifikovat

Sledování stupně vzdušné kontaminace

Úroveň mikrobiální kontaminace vzduchu v akumulacích lze zjišťovat tak, že se přímo v objektu instalují nezakryté misky se selektivním agarem pro záchyt plísní a kvasinek. Pro účely sledování stupně vzdušné kontaminace byly vybrány „ready-to-use“ agarové misky pro záchyt plísní a kvasinek Sabouraud se 4% glukosou s inhibitory či bez inhibitorů a misky se selektivním agarem pro záchyt patogenních plísní. Doba expozice nezakrytých misek byla zvolena na dobu 5, 10, 15 a 20 min. Narostlé kolonie mikroorganismů na agarové ploše misky se vyjadřují následně jako KTJ (kolonie tvořící jednotku).

Za účelem potvrzení předpokladu negativního vlivu sekundární kontaminace vzduchem na jakost akumulované vody byl vybrán vodojem, který se soustavně sledoval za provozu v průběhu dvou let. Vybraný objekt vodojemu neměl vhodně zajištěné větrací průduchy a přístup do prostor akumulačních nádrží. Biologickými rozbory vzorků vody (odebírané z příhladinové vrstvy) a rozbory vzorků stěrů ze smáčených stěn (odebíraných v místě kulminace hladiny), bylo zjištěno, že sekundární kontaminace vzduchem má nezanedbatelný vliv na jakost akumulované vody. Po třech měsících po pravidelném vyčištění akumulačních nádrží byla zaznamenána zvýšená aktivita mikroorganismů v příhladinové vrstvě vody a na povrchu stěn nádrže v místě kulminace hladiny. Hodnocením vzorků stěrů bylo zjištěno, že existuje přímá úměra mezi stupněm kontaminace a charakterem zajištění popř. nezajištění a údržby vnitřního prostoru akumulačních komor. Pokud v objektu vede stropem roura přímo ven do vegetace a není žádným způsobem krytá či zajištěná, nebo stěnou přímo nad hladinou s akumulovanou pitnou vodou vede otvor naprosto nekrytý, pak je stupeň znečištění vody v příhladinové vrstvě a mocnost biofilmu v místě kolísání hladiny podstatně větší a biologicky závadnější, než v případě chráněných vstupů a zajištěného objektu vodojemu. Jelikož pohyb hladiny vody souvisí s přívodem a odvodem vzduchu, který je umožněn konstrukcí systému odvětrání (přirozené či nucené), je potřeba zabezpečit jakost přiváděného (odváděného) vzduchu do (ze) zásobního vodojemu a zajistit jeho případnou kontrolu. Jednoduchým a ekonomicky nenáročným způsobem zajištění větracích průduchů a prostupů je jejich osazení filtračními materiály (tkaniny, textilie, geotextilie, rounové textilie).

Aby bylo možné lépe interpretovat zjištěné počty KTJ mikroorganismů (mikromycet, plísní) procházejících skrze filtrační materiály, byla vypracována metodika odběru vzorků vzduchu pomocí speciálně sestrojeného mobilního zařízení[11]. Zařízení pro odběr vzorků vzduchu se skládá z hlavice pro nasávání vzduchu, vývěvy a zdroje napětí (6 a 12 V) a cely, do které je možné umístnit misky se selektivním agarem nebo z boku vložit pádlové testery.

Mobilním zařízením byly testovány různé filtrační materiály, které se vkládaly do větracích průduchů a kontaktních míst s vnějším prostředím vodojemu. Účelem testování mělo být nalezení nejen vhodných filtračních materiálů, ale také sestrojení filtrační sestavy, která by odpovídala požadavkům EN 1508, tj. šestinásobné filtraci. K testování byly použity dostupné geotextilie (100/25), textilie sycené aktivním uhlím eliminující plísně či pachy a protipylové textilie.

Ve vzduchu nasávaném přímo z průduchu byly zjištěny druhy mikromycet, které se vyskytují běžně na rostlinných zbytcích a prachových částicích a některé z nich jsou oportunními patogeny a jsou známy produkcí mykotoxinů (zjm. *Aspergillus flavus*). Taxony, nacházené ve vzduchu, byly např. *Helminthosporium velutinum, Cylindrocarpon radicicola, Trichothecium roseum, Trichoderma viride, Chrysosporium* sp., *Acremonium* sp., *Aspergillus flavus, Cladosporium resinae, Fusarium culmorum, Alternaria alternata* a *Penicillium brevicompactum*.

Před vlastním sestavením konečné podoby filtrační sestavy byly jednotlivé vrstvy testovány v objektu akumulačních nádrží zvlášť. Testováním byla zjištěna významná eliminace mikrobiální kontaminace vzduchu proudícího přímo do akumulačních komor větracími otvory. Doba, po kterou byl vzduch nasáván (filtrován) skrze testované filtrační materiály osazené ve větracím průduchu, byla ve všech případech 5 min. Nasávaný vzduch následně proudil přes plochy agarových misek pro záchyt plísní a kvasinek. Významná eliminace mikromycet nastávala po osazení textilie sycené aktivním uhlím, kdy se stupeň mikrobiální kontaminace, zjištěné odečtem agarových ploten s vyrostlými kolonie, snížil z původních $5 \cdot 10^2$ na 10^2 KTJ. Významná byla eliminace patogenních plísní. Po přidání druhé filtrační vrstvy byl počet mikroorganismů na agarových plotnách 10^1 KTJ a po přidání dalších dvou vrstev byl záchyt mikroorganismů na agarových plotnách $0–10^0$ KTJ. Tím vznikla čtyřnásobná filtrační jednotka, která se vložila do plastového tubusu, který se na obou koncích zajistil mřížkami, majících funkci protipylové zábrany. Důvodem osazení ochranných mřížek je minimalizace vletu hmyzu a přísunu větších partikulí vzduchem. Tato šestinásobná filtrační sestava se soustavně testovala po dobu tří měsíců, v poloprovozních podmínkách než byla konečně osazena do větracího průduchu v akumulačním prostoru[12]. Filtrační sestava dostala název ECO-Aer. K sestavení konečné podoby filtrační sestavy byly použity snadno dostupné a levné materiály, výhodou je také jednoduchá aplikace celé sestavy do libovolného průměru větracího otvoru ve vodojemu a lepší manipulace při výměně čtyřnásobné filtrační jednotky. Díky takovému uspořádání filtračních mezivrstev je minimalizována míra vzdušné kontaminace akumulační komory a tím pádem i sekundární kontaminace v podobě větších partikulí[13].

Filtrační sestava byla osazena zatím do čtyř objektů vodojemů, u kterých se stupeň kontaminace vzduchem nadále sleduje. Podstatné je konstatování toho, že i v období, kdy je maximální výskyt prachových částic, pylů, plísní a mikromycet, je jejich záchyt na agarových plotnách minimální. Při přímé expozici otevřených agarových misek v objektu po dobu až 20 min se počty vyrostlých kolonií mikroorganismů pohybují v počtech maximálně do 12 až 15 KTJ. Osazení filtračních sestav do větracích průduchů mělo pozitivní vliv i na výrazné snížení kondenzace kapek na stěnách akumulačního prostoru, vymizel i typický plísňovitý zápach z prostoru.

Závěry

Biologickými audity, uskutečněnými v mnoha vodárenských organizacích a zaměřenými na hodnocení stavu akumulované vody a charakteru biofilmů na smáčených stěnách, byl potvrzen předpoklad negativního působení sekundární kontaminace vzduchem nezajištěnými větrací-

mi průduchy. Ve vzorcích vody a ve stěrech odebíraných za provozu akumulačních nádrží byla potvrzena přítomnost částic abiosestonu, konidií a hyf mikromycet, popř. dalších organismů indikujících vzdušnou kontaminaci. Při řešení charakteru degradace jakosti pitné vody při její akumulaci, vyplynula ze sledování závažnost dílčích příčin změn jakosti akumulované pitné vody ve vodojemech, způsobené sekundární kontaminací vzduchem. Byly vytvořeny účinné nástroje hodnocení charakteru a struktury biofilmů. Při odběrech vzorků stěrů se osvědčily pádlové testery, se kterými je nejen snadná manipulace při odběrech, ale jsou také nenáročné na vlastní kultivaci na ploše zachycených mikroorganismů a konečné vyhodnocení biologického nálezu. Na základě sledování souboru věžových a zemních vodojemů různé velikosti byly předloženy doporučené limity vybraných biologických ukazatelů, které je vhodné sledovat v případě možného posouzení mikrobiální kontaminace stěn akumulačních nádrží.

I přes to, že výsledky biologických rozborů z vodojemů poukazují na špatně vyřešené odvětrání prostor a stavební stav objektů, je pro nápravu zjištěných závad ze stran provozovatele činěno velmi málo. To může být na jedné straně způsobeno ekonomickou situací provozů a na straně druhé neinformovaností. Proto bylo sledování degradace jakosti vody ve vodojemech zaměřeno nejen na zhodnocení stavu objektů, ale současně na navržení účinného způsobu minimalizace tvorby biofilmů, přítomného biologického oživení ve vodojemech, řešení větrání a zavzdušnění vodojemů a filtraci vzduchu. Testováním záchytu prachových částic, abiosestonu (pyl, škrob, rostlinné zbytky) a mikromycet na jednotlivých filtračních vrstvách byla sestrojena konečná podoba filtrační sestavy. Filtrační sestava ECO-Aer, osazená do větracích průduchů vodojemů, prokázala podstatnou eliminaci mikromycet a abiosestonu ve vzduchu přímo v objektu akumulační komory s akumulovanou pitnou vodou. Nahodilé odběry vzorků vody z příhladinové vrstvy a odběry stěrů ze smáčených stěn přítomnost pylu, škrobu, rostlinných zbytků a mikromycet neprokázaly.

Jelikož je řešená problematika dosti rozsáhlá, nebyla při studiu postižena distribuční síť jako kontinuum, ve smyslu požadavku Protokolu Water Safety Plans, od zdroje ke spotřebiteli. Právě tento fakt je nutné zohlednit a detailněji sledovat v budoucnu. Je nutné se zaměřit na sledování případného nárůstu mikroorganismů mezi jednotlivými vodárenskými objekty na páteřním řadu a případný negativní vliv na kvalitu a nezávadnost pitné vody a její bezpečnost, agresivní procesy pitné vody, nestabilitu (chemická a biologická) a stav materiálu distribuční sítě.

Vypracováno při řešení projektu 1G58052 a dále MSM6046137308.

LITERATURA

1. Ručka J., Kožíšek F., Tuhovčák L., Mergl V.: SOVAK *15*, 6 (2008).
2. Ambrožová J.: SOVAK *13*, 14 (2004).
3. Ambrožová J.: *Aktuální otázky vodárenské biologie, Praha, 7. - 8. 2. 2001*. Sborník přednášek (Sládečková A., Kočí V., ed.), str. 29., Praha 2001.
4. Ambrožová J., Hubáčková J.: SOVAK *13*, 10 (2004).
5. Strnadová N., Schejbal P., Němcová M., Grűnwald A.: Vodní Hospodářství *53*, 177 (2003).
6. Ambrožová J., Říha J.: *Aktuální otázky vodárenské biologie, Praha, 5. - 6. 2. 2003*. Sborník přednášek (Ambrožová J., Halousková O., ed.), str. 96, Praha 2003.
7. Hubáčková J., Slavíčková K., Říhová Ambrožová J.: *Změny jakosti při její dopravě*. Práce a sešit 53, VÚV T.G.M., Praha 2006.
8. Kožíšek F., Kos J., Pumann P.: SOVAK *10*, 36 (2006).
9. Häusler J.: *Mikrobiologické kultivační metody kontroly jakosti vod*, díl 3: Stanovení mikrobiologických ukazatelů. MZ ČR, Praha 1994.
10. Bennett J. W., Klich M.: Clin. Microbiol. Rev. *16*, 497 (2003).
11. Říhová Ambrožová J., Hubáčková J., Čiháková I., Říha J., Kollár M., Dobrovodský J.: Plynár-Vodár-Kúrenár+Klimatizácia *Jeseň/2007* (5), 22 (2007).
12. Říhová Ambrožová J., Říha J.: Vodohospodársky spravodajca *51* (5–6), 11 (2008).
13. Říhová Ambrožová J., Říha J.: SOVAK *17*, 14 (2008).

J. Říhová-Ambrožová *(Department of Water Technology, Faculty of Environmental Technology, Institute of Chemical Technology, Prague):* **Providing Healthy and Safe Drinking Water in Distribution Systems**

Fast methods of water sampling and scraping from water tank surface were described. The analyses were performed using paddle testers or tests of biological activity. The tests were informative but fully sufficient for manipulation with water tanks. The investigated microbiological parameters include the growth limits for aerobic bacteria at 36 °C and 22 °C (titres $0–10^2$ and $0–10^3$, respectively), limit for disinfection control (tjtres $0–10^2$), limit for micromycetes (titre 0–10) and coliform bacteria (0). Based on the obtained values for microbial contamination, water tanks are categorized and suitable measures are proposed such as optimization of operations and cleaning. Microbial control of air in water tanks was also carried out. Design of a suitable filter unit was also a part of complex monitoring. A filtration unit ECO-Aer with six gradual filtres was mounted in the accumulation area.