

Vliv materiálů rozvodné sítě na kvalitu pitné vody

Influence of distribution piping materials on drinking water quality

RNDr. Jaroslav ŠAŠEK
Státní zdravotní ústav, Praha

K testování vlivu materiálů rozvodů na kvalitu pitné vody jsou používány statické a dynamické metody. Jsou uvedeny jejich principy a výsledek dvou konkrétních testů rozvoje mikroorganismů na různých materiálech. Z výsledků jsou odvozena doporučení pro výběr materiálů a provozní opatření ke zvýšení kvality pitné vody.

Klíčová slova: pitná voda, materiály, potrubí, bakterie

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

For the testing of distribution piping materials influence on the drinking water quality statistic and dynamic methods are used. Principles of these methods and the result of two specific tests of the development of microorganisms on different materials are indicated. Recommendations for the selection of materials and operation measures for increasing the drinking water quality are deduced from the results of testing.

Key words: drinking water, materials, piping, bacteria

Problematika materiálů, přicházejících do styku s pitnou a užitkovou vodou a jejich vliv na kvalitu vody, pomnožování bakterií a formování biofilmů, což je komplex mikroorganismů, přisedlých na vnitřním povrchu potrubí a armatur ve vodě, leží jako řada dalších skutečností v oblasti pitné vody v zájmu odborníků na hygienu, mikrobiologii či epidemiologii vody.

Obecně materiály dle svého charakteru mohou podporovat pomnožování bakterií a tedy i legionel v distribuční síti tím, že mohou uvolňovat do vodního prostředí organické látky, těžké kovy či jiné komponenty, které představují energetickou a nutriční základnu pro vodní mikroorganismy.

Tato skutečnost se pak konkrétně projevuje zvýšenou hodnotou TOC (celkový organický uhlík), zákalem nebo změnou senzorických vlastností vody, tj. chuti, zápachu, vzhledu vody apod. [10].

Nejmasivnější růst mikroorganismů bývá pozorován na pryži a některých plastech, nejnižší na mědi, skle, oceli a některých plastech..

Některé státy proto zavedly postupy na testování vlivu materiálů na kvalitu vody, např. Velká Británie, SRN, Holandsko. Naše vyhláška č. 37/2001 MZ ČR o hygienických požadavcích na výrobky, přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody sice tento typ testů nepožaduje, ale obecně požaduje, aby materiály m. j. nezpůsobily nežádoucí změny ve složení pitné vody, neovlivnily její senzorické vlastnosti a nesmějí být zdrojem mikrobiálního či jiného znečištění vody. Pro výrobu plastů a výrobků z plastů pro styk s vodou lze použít pouze monomery a jiné výchozí látky a aditiva uvedená v seznamu ve Vyhlášce MZ ČR č. 38/2001 o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami a pokrmy.

TESTOVÁNÍ MATERIÁLŮ, PŘICHÁZEJÍCÍ VE STYK S PITNOU VODOU

Velká Británie přijala jako národní standardní metodu pro posuzování materiálů pro styk s pitnou vodou MDOD test (The Mean Dissolved Oxygen Difference – měření průměrného rozdílu ve spotřebě kyslíku mikroby, rostoucími na povrchu daného materiálu) s tím, že limitní hodnota je **2,3 mg MDOD/litr**. Materiály s nižší hodnotou nebudou pravděpodobně podporovat rozvoj biofilmů a tedy i osídlení rozvodů mikroorganismy včetně legionel.

Např. všechny neměkčené PVC vykazují hodnoty MDOD testu v rozmezí 1,0 až 1,5 mg/l, zatímco většina měkčených PVC 2,5 až 7,0 mg/l. Vysoké hodnoty

vykazují též estery celulózy (1,0 až 4,0), polyester vyztužený sklem (0 až 3,5), nízké hodnoty polyamid – nylon (0 až 1,7), polyakrylát (0,2 až 2,0), polyetylen (0 až 1,2), polypropylen (0 až 1,5), polystyren (0 až 0,7), polyuretan (0 až 1,5) – upravený a zkrácený výběr dle [4].

Tyto metody testování materiálů jsou založeny na statických pokusech (stagnující, neproudící voda), prováděných ovšem za přesně definovaných podmínek. Konkrétní situace v distribuční síti pitné vody je však jiná, voda zde proudí různou rychlostí v závislosti na hydrodynamice rozvodů, čerpání vody apod. Stagnující voda se nachází jen ve slepých ramenech, v pomalu protékajících partiích rozvodů či při stagnaci vody v důsledku nečerpání vody (přes noc, víkend).

Na V. mezinárodní konferenci o legionelách v Ulmu, SRN v září 2000 prezentovali Kooij, D. spolupracovníci jiný přístup k této problematice. Holandští autoři experimentálně prověřili vliv materiálů na tvorbu biofilmů při 25 °C ve statických testech a při teplotě okolí v dynamických pokusech. Právě výše uvedené metody testování v některých státech včetně MDOD testu jsou založeny na statických testech a ty vlastně představují výluhové testy materiálů za přesně definovaných podmínek po stanovenou dobu a měření růstu mikroorganismů za těchto podmínek. Dynamické experimenty simulovaly reálné průtokové poměry v rozvodné síti pitné vody. Časté změny průtokové rychlosti v potrubí způsobují zřejmě odstraňování biofilmů, což se následně projeví i na kvalitě vody samé.

Holandští odborníci D. van der Kooij a H.R. Veenendaal použili pro měření kvantity biomasy (tj. organické hmoty buněk živých mikroorganismů) v biofilmu a ve volné vodě v potrubí metodu stanovení ATP (adenozintrifosfát – což je základní energetický zdroj každé buňky, který kryje její veškeré energetické požadavky).

Jako kontrolní materiály byly vybrány sklo a nerez ocel; ty vykazovaly hodnoty < 100 pg ATP/cm², umělohmotné materiály včetně PE /polyethylen/ až 1800 pg ATP/cm² povrchu biofilmu, vše ve statickém pokusu. Současně byly kultivačně stanoveny v biofilmu legionely a jejich kvantita dosáhla na skle a oceli 100 buněk/cm² a v případě PE materiálů 2104 buněk/cm².

Dynamické experimenty však ukázaly výrazně nižší koncentraci biomasy v biofilmu a absenci pomnožování legionel proti statickému pokusu. To ukazuje na skutečnost, že různé materiály v reálných podmínkách v rozvodné síti pitné vody mají malý vliv na formování biofilmů a pomnožování mikroorganismů včetně legionel v rozvodné síti. Přisedlá mikroflóra (mikroorganismy v biofil-

mech) představuje > 60 % celkové biomasy mikroflóry v potrubí, zbytek připadá na mikroflóru ve volné vodě v síti.

Výše uvedené výsledky experimentů by dovolovaly interpretaci, že je možno podstatně zvýšit spektrum syntetických materiálů, vhodných pro styk s pitnou vodou.

VLIV MATERIÁLU INSTALACÍ NA KVALITU PITNÉ VODY

Statické pokusy ukazují, že materiály rozvodů mohou podporovat množení mikroorganismů a rozvoj biofilmů při stagnaci vody v distribuční síti.

Ke stagnaci vody dochází ve slepých větvích rozvodů nebo při malé spotřebě a čerpání vody. Za podmínek stagnace dochází k poklesu teploty v teplé užitkové vodě pod 50 °C nebo růstu teploty v rozvodu studené vody, což vede k rozvoji mikroflóry a legionel. Do stagnujících částí se navíc nedostane ani dezinfekční prostředek při případném zásahu, nebo se chemicky vyváže na sedimenty, zákal či biofilmy ve slepých, neprůtočných partiích [1, 2].

Ještě horším důsledkem stagnace vody je skutečnost, že tyto části rozvodů slouží jako ohnisko pro následnou opětovnou kontaminaci celého systému. A to i v případě, že systém byl podroben dezinfekčnímu zásahu proti pomnoženým legionelám a došlo k jejich výrazné redukci nebo zničení. Za měsíc může dojít opět k rekolonizaci (osídlení) celého systému právě z těchto ohnisek, reservoirů mikrobů, na úroveň původní kontaminace.

Stagnaci vody v rozvodech též podporuje její nedostatečná spotřeba, nečerpání, např. v hotelích, nemocnicích z důvodu neobsazení pokojů hosty či pacienty, nebo i předimenzovaná kapacita zásobníků vzhledem ke skutečné spotřebě. Stagnaci vody z důvodu slepých ramen lze poměrně jednoduše odstranit jejich odpojením, stagnaci v důsledku nečerpání nebo nedostatečného odběru vody (teplé i studené) lze odstranit hůře, je organizačně i provozně nákladná (odtáčení vody).

Další alternativou, při níž materiály neovlivňují kvalitu vody v síti je tvrdá voda, která tvoří na vnitřním povrchu potrubí inkrusty uhličitano vápenatého a tak vlastně zamezí kontaktu materiálu s vodou.

Niquette, Servais a Savor [8] se též zabývali vhodností materiálů pro potrubní rozvody pitné vody. Případný vliv materiálů instalací zkoumali na různých zdrojích vod (podzemní, povrchové) s různou jejich fyzikálně-chemickou charakteristikou z hlediska teploty, koncentrace reziduálního chloru a různou biologickou stabilitou vody, která vyjadřuje možnost pomnožování mikroorganismů v ní.

Jako měřítko biologické stability vody se používá hodnota BDOC, což je biologicky rozložitelný, rozpuštěný organický uhlík (biodegradable dissolved organic carbon). Tento ukazatel tedy charakterizuje „výživnost“ vody, která je energetickým a výživovým předpokladem pomnožování mikroorganismů a formování biofilmů.

Auťori použili následující výběr materiálů pro potrubní instalace – plastické materiály PVC (polyvinylchlorid), PE (polyetylen), cementovaná ocel (cemented steel), azbestocement, cementovanou ocelolitinu (cemented cast iron), podehtovaná ocel (tarred steel) a šedou litinu (gray iron).

Výsledky ukázaly, že kvantita bakterií je na materiálech z plastů (PVC, PE) nejmenší, na šedé litině 10 až 45x vyšší proti plastům, cementované materiály vykazují střední hodnoty.

Mikroorganismy (baktérie, kvasinky a plísňe) svým rozvojem ve vodním prostředí nepříznivě ovlivňují kvalitu pitné vody. Jejich rozvoj závisí na řadě fakto-

rů, jako je teplota vody, zbytková koncentrace dezinfekčního prostředku, stabilita vody, měřená koncentrací BDOC. Tyto faktory pak rozhodují o případném rozvoji mikroflóry na vnitřním povrchu vodních instalací. Záleží též na vlastním materiálu instalací, především na jeho drsnosti, stabilitě, odolnosti vůči mikrobiální korozi, na případném uvolňování biodegradabilních organických sloučenin do vody v síti.

Tyto skutečnosti pak rozhodují o pomnožování mikrobiálních společenstev v síti, podporují tvorbu biofilmů, přičemž mezi biofilmem a volnou vodou v potrubí se udržuje určitá dynamická rovnováha s tím, že převážná část biomasy mikroorganismů je lokalizována v biofilmu. Při minimálním rozvoji biofilmu je i výskyt bakterií ve volné vodě rozvodů sporadický.

Pro ilustraci je v dalším uvedeno srovnání vlivu různých materiálů a různé kvality vody na tvorbu biofilmu. Kvantita biofilmu, tj. jeho biomasa je vyjádřena v mg C/cm² povrchu materiálu, na němž je biofilm vytvořen.

Růst mikroorganismů na různých materiálech vodních instalací byl sledován na expozici podložek z níže uvedených materiálů na různých místech rozvodné sítě v průběhu 8 měsíců (celkem exponováno v 7 datech 15 kupónů na každý materiál, výsledky představují průměr).

Příklad A:

voda v síti téměř bez chloru a dosti výživná – biologicky málo stabilní:

(Cl₂ = 0–0,05 mg/l ; BDOC = 0,2 až 0,3 mg C/l).

Pozn.: BDOC charakterizuje biologickou stabilitu vody, tedy její náchylnost k podpoře pomnožování mikrobů. Hraniční hodnota, vymezující přechod mezi biologicky stabilní a nestabilní vodou je 0,15 mg BDOC/l vody [7].

Z obr. 1 je zřejmé, že v případě vody v rozvodné síti s minimální koncentrací chloru a biologicky nestabilní (výživné), dochází k nízké tvorbě biofilmů jen na plastových materiálech PE a PVC, k nejvyšší pak na šedé litině (10 až 40x více než u PVC a PE). Na cementovaných materiálech a oceli je kvantita biofilmů, vyjádřená jako biomasa, střední.

Příklad B:

voda v síti podzemního původu s vyšší koncentrací chloru a biologicky stabilní (tj. málo výživná) s nízkou hodnotou BDOC.

(Cl₂ = 0,13 mg/l; BDOC = 0,13 mg C/l vody).

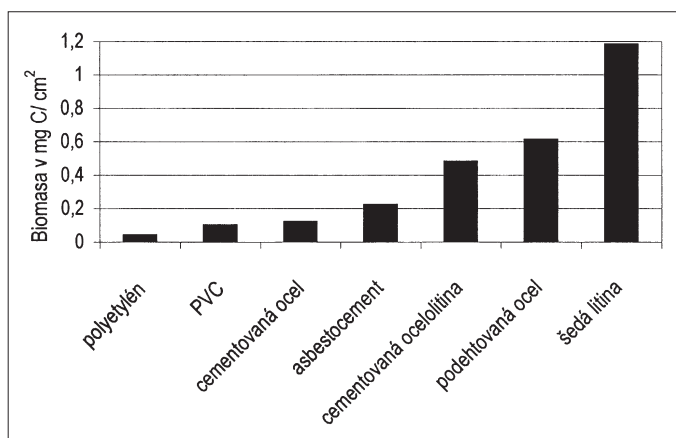
Za podmínek vody podzemního původu v síti s vyšší koncentrací chloru a biologicky stabilní (nevýživné) vody s nízkou hodnotou BDOC, dochází u většiny materiálů proti předchozímu příkladu k minimální tvorbě biofilmů, s výjimkou asbestocementových materiálů a šedé litiny, obr. 2.

To ilustruje jednak význam přítomnosti zbytkového chloru a biologické stability vody v síti, ale též i vliv samotného materiálu na rozvoj a pomnožování mikroflóry a formování biofilmů.

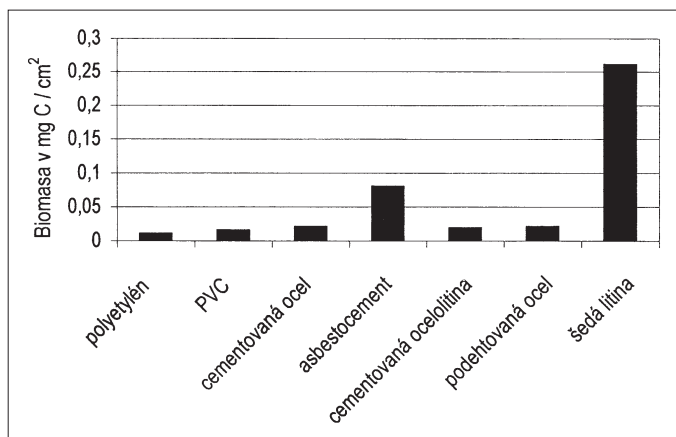
KOROZE A JEJÍ VLIV NA FORMOVÁNÍ BIOFILMŮ A ÚČINNOST DEZINFEKCE

Plasty (PE, PVC) poskytují méně podpory pro přisedlou mikroflóru v biofilmu než ocel či cementované materiály. Stejná poréznost a drsnost těchto materiálů vede k podobné kvantitě přisedlé biomasy v biofilmu na vnitřních povrchích vodních instalací.

Vysoká kvantita bakteriální biomasy na šedé litině je spojena s korozí tohoto poréznějšího a hrubšího materiálu. Mikroflóra na šedé litině je v důsledku koro-



Obr. 1 Rozvoj mikroorganismů na různých materiálech upraveno dle Niquette, P. a kol., 2000 [8] – příklad A



Obr. 2 Rozvoj mikroorganismů na různých materiálech upraveno dle Niquette, P. a kol., 2000 [8] – příklad B

dovaného povrchu více chráněna před dezinfekcí než na povrchu nekorodovaných materiálů, jako jsou plasty či cementované povrchy.

Právě koroze materiálů vodních instalací je velmi významný faktor, podporující rozvoj mikroorganismů v distribučním systému pitné vody a snižující účinnost dezinfekčních prostředků.

Proto některé plasty (PE, PVC) se jeví jako výhodnější ve srovnání s ocelovými a cementovanými materiály z důvodů limitace rozvoje vodní mikroflóry a minimalizace koroze v rozvodných systémech pitné vody.

Otázkám koroze instalací i korozivním vlastnostem vody je nutno věnovat patřičnou pozornost, neboť oba faktory vedou k snížení efektu dezinfekce, nežádoucímu rozvoji biofilmů, které pak procesy koroze dále podporují a v dalším negativně ovlivňují kvalitu vody v síti včetně výskytu a rozvoje legionel a dalších nežádoucích mikroorganismů [5, 6, 9].

ZÁVĚRY

Materiály pro styk s pitnou vodou obecně mohou podporovat rozvoj mikroflóry a tedy i legionel, viz MDOD test, standardizovaný ve Velké Británii pro testování vhodnosti materiálů pro styk s pitnou vodou; ten je však založen (stejně jako jiné obdobné testy na vhodnost materiálů) na statických testech (tj. výluhové testy za definovaných podmínek).

Dynamické testy (simulace průtokových poměrů v síti) holandských autorů (presentováno na V. mezinárodní konferenci o legionelách v Ulmu, SRN, 2000) ukázaly, že za těchto podmínek nedochází k pomnožování legionel a tvorba biofilmu včetně kvantity jeho biomasy je výrazně nižší a tím i vliv materiálů na pomnožování legionel a formaci biofilmů je malý; to znamená, že spektrum vhodných materiálů na instalace rozvodů pitné vody by se výrazně rozšířilo ve srovnání s klasifikací jejich vhodnosti pro styk s pitnou vodou na základě statických testů.

V návaznosti na dynamické testy posuzování vhodnosti materiálů pro styk s pitnou vodou vyvstává jako vysoce významná otázka stavu, kvality, funkčnosti rozvodů pitné vody, regulace systému z hlediska jeho tlakových a teplotních charakteristik, minimalizace či eliminace stagnace vody v systému (slepé větve, nedostatečná spotřeba nebo nečerpání vody), teplota vody v TUV (měla by být alespoň > 50 °C, lépe ≥ 55 °C).

Kvanta biomasy v biofilmu je na materiálech z plastů (PVC, PE) nejnižší, 10 až 45 krát vyšší na šedé litině, střední hodnoty vykazují cementované materiály a ocel; tyto výsledky jsou dány různou drsností a porézností materiálů, jejich odolností vůči mikrobiální korozi či uvolňováním biodegradabilních organických látek do vody.

Formování biofilmů ovlivňuje nejen vlastní materiál rozvodů, ale i řada dalších faktorů – teplota vody, zbytková koncentrace chloru, biologická stabilita vody (hodnota BDOC), průtokové poměry v síti (stagnace vody, různé průtokové režimy), stupeň koroze materiálu instalací.

Koroze materiálů je jedním z významných faktorů, vedoucích k formování biofilmů v rozvodné síti a snížení účinnosti dezinfekce; nekorodující materiály (plasty, cementované povrchy) omezují rozvoj vodní mikroflóry a tvorbu biofilmů ve srovnání s korodujícími materiály (ocelové).

Koroze povrchu materiálů snižuje též účinnost dezinfekčních prostředků.

Literatura :

- [1] Technická pravidla DVGW, W 551: Zařízení pro ohřev a rozvod pitné vody; technická opatření ke snížení nárůstu legionel, Bonn, 1993
- [2] Technická pravidla DVGW, W 552: Zařízení pro ohřev a rozvod pitné vody; technická opatření ke snížení nárůstu legionel; sanace a provoz, Bonn, 1994
- [3] BEER, D. et al.: Direct measurement of chloride penetration into biofilms during disinfection. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 60, No. 12. P. 4339–4344, 1994
- [4] COLBOURNE, J., S.: Materials usage and their effects on the microbiological quality of water supplies. *Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement* 1985, 47–59 S
- [5] LECHEVALLIER, M. W. et al.: Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 62, No. 7, 1996, p. 2201–2211
- [6] LEE, S. H., et al. 1980: Biologically mediated corrosion and its effects on water quality in distribution systems. *J. AWWA, Research and technology*, November 1980, p. 636–645
- [7] MATULOVÁ, D.: Vybrané laboratorní metody stanovení biologické stability vody. In *Sborník „Aktuální otázky vodárenské biologie“*, ČVTVS, 1997, Praha
- [8] NIQUETTE, P., SERVAIS, P., SAVOIR, R.: Impacts of pipe materials on densities of fixed bacterial biomass in a drinking water distribution system. *Wat. Res.*, Vol. 34, No. 6, pp. 1952–1956, 2000
- [9] NIVENS, D. E. et al.: Multi-electrode probe for statistical evaluation of microbiologically influenced corrosion. *J. of Microbiological Methods*, 16, p. 47–58, 1992
- [10] ŠAŠEK, J.: Eliminace legionel v distribuční síti pitné vody – technické aspekty. *VVI*, 10, č. 1, 2001, s. 32–34.