

RNDr. Jaroslav ŠAŠEK,  
Státní zdravotní ústav, Praha

# Biofilmy a distribuční systémy vody

## Biofilms and Water Distribution Systems

Recenzentka  
MUDr. Ariana Lajčíková, CSc.

*Pojem biofilm je dnes znám jak odborné, tak i laické veřejnosti. Tento článek podává podrobnější pohled na jeho charakter, strukturu, složení, příčiny vzniku, význam, vliv na materiály a technická zařízení, či na možnosti jeho odstranění.*

**Klíčová slova:** distribuce vody, vodovodní potrubí, bakterie, biofilm

*Biofilm is nowadays quite a well known term. This article gives a more detailed view of biofilm character, structure, and composition, causes of its formation, importance, and influence on materials and mechanical devices and also a view of possibilities of biofilm removal.*

**Keywords:** water distribution, water pipes, bacteria, biofilm

Biofilmy se mohou tvořit na površích nejrůznějšího charakteru, např. v rozvodech pitné a teplé vody, v průmyslových chladicích okruzích, přírodních vodních systémech, na různých technických zařízeních, ale i na živých tkáních organismů.

Tato práce se věnuje hlavně distribučním systémům pitné a teplé vody, nádržím a zařízením (filtry, armatury) s těmito systémy spojenými. Poměry u chladicích věží, odpadních vod či tkání živých organismů jsou odlišné, i když základní rysy mohou být obdobné.

Prostředí rozvodných systémů pitné vody je velmi nepříznivé pro rozvoj mikroorganismů z důvodů nízké teploty, nízkého obsahu živin, tmy a dalších zvláštností tohoto prostředí. Vznik biofilmu na površích systémů s vodou je vlastně reakce mikrobů a přizpůsobení se tomuto typu prostředí, pro ně nepříznivému. Podmínky v samotných biofilmech jsou totiž jiné, mnohem příznivější, než ve volné vodě rozvodných sítí či nádrží.

### PODSTATA, STRUKTURA, SLOŽENÍ, VELIKOST BIOFILMU [1], [2], [3]

Na začátku si položíme otázku, co je biofilm? Odpověď není jednoduchá, každý biofilm je vlastně jedinečné společenstvo mikroorganismů. Na druhé straně určité, společné rysy, lze pro biofilmy uvést. Již pojem biofilm je zavádějící, neb se nejedná o souvislou monovrstvu povrchového nárostu buněk na nějakém podkladu. Spíše jde o značně různorodý útvar, obsahující mikrokolonie (shluky buněk mikrobů), obalených základní hmotou a oddělených od jiných mikrokolonií prázdnými prostory v podobě vodních kanálků. Fyzikální a chemické vlastnosti základní hmoty jsou značně proměnné.

V zásadě je složena chemicky z polysacharidů, má vysoký obsah vody (cca 95 %), strukturálně je spíše vláknitého než rosolovitého charakteru. Základní hmotu vylučují buňky biofilmu do okolí a jsou jí obaleny. V této hmotě lze nalézt řadu dalších částic, jako minerální krystaly, korozní partikule, částice jílu, hlíny, písku a kalu v závislosti na prostředí, v němž se biofilm vytvořil.

Živý, plně hydratovaný (zavodněný) biofilm je složen z buněk zhruba z 15% svého objemu, hmota činí asi 85 % objemu. Buňky mikroorganismů, ponořené v této hmotě, tvoří mikrokolonie houbovitého, věžovitého, tulipánovitého či jiného tvaru. Ve vysoce proudícím prostředí jsou fyzikálními silami deformovány do pulcovitého tvaru a kmitají v proudící vodě. Mezi mikrokoloniemi jsou kanálky, do nichž může vstupovat voda. Různé mikroby produkují různé množství základní hmoty, jež obvykle roste se stářím biofilmu. Hmota biofilmu přispívá k odolnosti mikrobů jednak tím, že

brání transportu dezinfekčních látek do biofilmu nebo je přímo váže v důsledku chemické reakce s nimi.

Biofilmy mají tedy primitivní cirkulační systém v podobě vodních kanálků, který dodává živiny, kyslík a řadu látek z vody do mikrokolonií a odvádí zplodiny mimo ně. Kapalina v kanálcích umožňuje pohyb látek v obou směrech. Vodní kanály umožňují přístup roztoků s různými látkami k povrchu mikrokolonií, nikoliv do jejich vnitřku; tam je převládajícím transportním procesem difúze. Biofilm síly 10 buněk má 100 x větší difúzní čas pro látky než v případě síly jedné buňky; difúzní poměry závisí na teplotě a ta ovlivňuje též viskozitu tekutiny.

Strukturu biofilmu ovlivňuje řada faktorů: vedle obsahu živin a charakteru povrchu materiálu se uplatňují i hydraulické poměry, tedy rychlost a charakter proudění vody a doba zdržení. Ty vedle vlivu na strukturu biofilmu mají vliv i na počty mikrobů, které se z něj uvolňují do vody. Stabilitní a vyšší rychlost proudění omezuje rozvoj biofilmu, vede k tvorbě tenčích a více soudržných biofilmů, jež jsou méně náchylné k uvolňování bakterií do vody. Takovéto poměry však není reálné udržovat ani v distribuční síti, ani v nádržích; zde se vyskytují různé typy proudění vody vedle stagnace vody.

**Rozměry biofilmu** se pohybují od jednotlivých roztroušených buněk a monovrstev (vrstva 1 buňky) o síle 1 až 5  $\mu\text{m}$  do silných struktur několika stovek mikrometrů.

Biofilm má tedy podobu tenkého „filmu“ v rozsahu od nesouvislé monovrstvy buněk na povrchu materiálu k několikavrstevnému silnému filmu obsahujícímu vodní kanálky. Architektura biofilmu je různorodá v prostoru i čase, není statická, neměnná, neustále se mění v důsledku probíhajících vnějších a vnitřních procesů.

V biofilmu je obsaženo > 95 % celkové hmoty bakterií, zbytek připadá na volnou vodu. Hustota buněk v biofilmu je velmi variabilní, v rozmezí 10 až 10<sup>8</sup> buněk/cm<sup>2</sup>. Rozvoj mikrobů ve volné vodě je zanedbatelný proti poměru v biofilmu. Při nálezu vyšších počtů mikrobů ve volné vodě jde spíše o důsledek jejich odlučování z biofilmu nebo uvolnění ze sedimentů do vody v důsledku změny hydraulických poměrů (tlakové rázy, max. odběr vody) než o jejich pomnožení ve volné vodě daného systému.

**Osídlování povrchů:** aby mohl nějaký biofilm vzniknout, musí se buňky mikroorganismů připojit k povrchu materiálu, což závisí na charakteru samotných povrchů, hydrodynamických poměrech v prostředí, na jeho složení a vlastnostech buněk mikrobů samotných. Pevné povrchy mají řadu charakteristik, jež hrají důležitou roli v procesu osídlování povrchů.

**Drsnost povrchu** zvyšuje jeho mikrobiální osídlení, což je dáno tím, že drsný povrch má vzhledem k hladkému větší plochu a také snižuje *smyskové síly* (shear forces), působící při pohybu vody v rozvodných systémech.

**Fyzikálně – chemické vlastnosti povrchů** silně ovlivňují stupeň a rozsah osídlení povrchů mikroby. Nesmáčivé povrchy (teflon a jiné plasty) jsou osídlovány rychleji než povrchy smáčivé (sklo, kovy). Nesmáčivé povrchy umožňují překonat buňkám odpudivé elektrostatické síly, jež působí v jistých vzdálenostech od povrchu a tím usnadňují jejich přisednutí a osídlení povrchu.

**Hydrodynamika prostředí** je ovlivněna faktory, jako je rychlost proudění vody, tvar a rozměry prostoru, v němž voda proudí. **Rychlost proudění** na styčné ploše mezi povrchem a vodou je zanedbatelná, nazývá se hydrodynamická hraniční vrstva. Její velikost závisí na rychlosti proudění; čím vyšší je tato rychlost, tím užší je tato zóna. Tím snadnější bude přisednutí mikrobů k povrchu, zejména, je-li drsný a elektricky neutrální (nepůsobí zde odpudivé síly). Oblast vně zóny je charakterizována procesy míchání a turbulence (víření) vody.

Průtokové režimy v rozvodném systému označujeme jako laminární proudění (pohyb vrstev po sobě) či turbulentní (víření, mísení vrstev vody). Právě režimy průtoku vody v daném systému a velikost hydrodynamické vrstvy mohou významně ovlivnit procesy osídlování povrchu materiálů; rostle-li rychlost proudění, klesá velikost hraniční zóny. Buňky jsou pak vystaveny stále rostoucímu víření vody. Je-li rychlost proudění dosti vysoká, působí smyskové síly na přisedlé buňky a výsledkem je pak jejich odlučování od povrchu. Hydrodynamika prostředí tak ovlivňuje procesy osídlování povrchů a procesy odlučování částí biofilmu a tím i počty buněk ve volné vodě.

**Vlastnosti vody** – pH (kyselá či zásaditá reakce vody), koncentrace živin, některých solí a teplota hrají též roli v rozsahu osídlování povrchů mikroby, např. omezením odpudivých sil, mezi záporně nabitými mikroby a povrchy materiálů.

Také **vlastnosti buněk mikrobů** ovlivňují míru a rozsah osídlování povrchů. **Nesmáčivý povrch** je elektricky neutrální a usnadňuje přisednutí k povrchu neb zde nepůsobí odpudivé elektrostatické síly. Přisedání buňky je snadnější v případě povrchů, jež jsou drsnější a nesmáčivého charakteru.

**Rozšiřování biofilmu, odlučování od podkladu** [4],[5]: buňky biofilmu jsou většinou rozšiřovány mechanickým oddělováním (erozí, odlupováním) menších či větších částí od podkladu v důsledku proudění vody fyzikálními silami. Odlupování celých částí je běžné u silných biofilmů, vyvinutých v potravně bohatém prostředí (chladič věže, odpadní vody). Eroze se uplatňuje spíše v důsledku změny hydrodynamických podmínek v rozvodných systémech. Velikost hmoty odděleného biofilmu od podkladu kolísá v širokém rozmezí od jednotlivých buněk po kusy velikosti 500 μm, které mohou obsahovat až 10<sup>5</sup> buněk. Jednotlivé buňky až shluky do 10 buněk však představují hlavní podíl (> 90%) odděleného biofilmu.

Velké shluky, byť nepočtené, zase obsahují cca 50 % počtu oddělených buněk z biofilmu. Oddělování malých částí biofilmu je mnohem častější než těch velikých; ty však obsahují vysoké počty buněk, což je z hlediska posuzování případného rizika a velikosti infekční dávky mikrobů mnohem závažnější než opačný případ. **Rozvoj biofilmu** ovlivňuje řada faktorů, především obsah živin ve vodě, teplota vody, koncentrace dezinfekčních prostředků, typ materiálu (složení, věk, drsnost povrchu), korozní poměry v systému, hydraulické podmínky (rychlost a charakter proudění, doba zdržení).

**Význam biofilmu** – snižuje přenos tepla, způsobuje pokles tlaku v rozvodech, redukuje průtok vody, podporuje korozi materiálů, zhoršuje kvalitu vody, je zdrojem mikrobiální kontaminace vody, nepříznivě ovlivňuje pachové a chuťové vlastnosti vody, zachycuje mikroorganismy z vody, prošle

po úpravě z filtrů, při poruchách a netěsnostech rozvodů a nádrží. Umožňuje jim přežít v biofilmu, poskytuje jim ochranu proti dezinfekci, zvyšuje jejich odolnost vůči nejrůznějším vlivům. Biofilm brání, aby dezinfekční látky dosáhly povrchu buněk v důsledku jejich reakce s nimi uvnitř základní hmoty biofilmu. Roli hraje též pomalá difúze látek v biofilmech, např. při aplikaci 2,5 mg/l chloru po dobu 1 hodiny pronikne chlor jen do horní, cca 100 μm silné vrstvy biofilmu [6].

**Hygienický význam biofilmů spočívá v tom, že představují možné riziko nákazy patogenními (zdraví škodlivými) mikroby.** Ty se mohou pomnožit do vysokých počtů (legionely, mykobakterie, *Pseudomonas aeruginosa*), nebo přežít v malých počtech po určitou dobu v biofilmu a představovat možnou hrozbu infekce.

Např. *Salmonella typhimurium* přežívala v biofilmu za experimentálních podmínek přes 50 dní. Pokusy na vodárenských a bazénových filtrech ukázaly, že počty patogenních mikrobů v nich zachycených (*S. typhimurium*, *E. coli* O 157, *Yersinia enterocolitica* O:8) se snižovaly rychlostí 0,19 až 0,70 log řádu za den [7].

**Opatření proti biofilmům** [8] – biofilmy lze omezit především řešením 3 okruhů problémů – snížením hladiny živin, omezením koroze a dezinfekcí. Ta představuje nejčastější opatření proti nežádoucím biofilmům. Určitá, konstantní úroveň dezinfekce by měla zajistit prevenci rozvoje. Ve skutečnosti dochází k poklesu její koncentrace ve vodě; rozklad a spotřeba chloru ve vodě roste s rostoucí teplotou, s obsahem biologicky rozložitelné organické hmoty, s klesajícím průměrem potrubí (klesá poměr V/S – objem vody ku povrchu potrubí), dále v důsledku koroze. Typ koroze má vliv na účinnost dezinfekce. Důlková koroze (pitting corrosion) interferuje s dezinfekcí více než všeobecná koroze. Rychlá spotřeba chloru hrozí při koncentracích biologicky rozložitelné organické hmoty ve vodě (BDOC) > 0,6 mg/l a  $\phi$  potrubí < 40 mm. V případě distribučního systému pitné vody je třeba zjistit, kde je spotřeba chloru nejvyšší. Zda se týká volné vody nebo stěn potrubí či sedimentů v síti, vodoměch.

V případě železných rozvodů jde spotřeba chloru na úkor koroze materiálů a případných sedimentů; u rozvodů z nových plastů (PVC, PE) jde spotřeba hlavně na úkor sedimentů a volné vody v potrubí. Jiný přístup odstranění biofilmu než použití oxidačních dezinfekčních prostředků je redukce živin ve vodě, použití inhibitorů koroze, snížení teploty vody či vhodné hydrodynamické podmínky v síti. Samotný vliv těchto zásahů nemusí však být úspěšný, což je dáno tím, že i když jednotlivá opatření principiálně ovlivňují rozvoj biofilmu, celý proces je složitější, komplexnější. Na př. na rozvoj biofilmu při absenci biologicky rozložitelných látek (BOM) nemá významný vliv teplota, ale působení smyskových sil při proudění vody je významné. Je-li však BOM dostupný, má teplota vliv i při nízké hodnotě smyskových sil v distribučním systému.

Nejefektivnějším postupem působení na biofilmy [9] je kombinované působení žíravých látek (louhy) a kyselin (k. dusičná). Čistící účinek roste úměrně s teplotou, přidání detergentu vede k lepšímu účinku.

Kontakt na autora: sasek@szu.cz

Odborná literatura u autora. ■

### Harmonogram VVI pro rok 2009

číslo	Uzávěrka textů a inzerce	Expedice
3	31. 3. 09	10. 6. 09
4	13. 7. 09	24. 9. 09
5	7. 9. 09	11. 11. 09