



na nejnižší položeném úseku Berounky pod Radotínem (Šárovo kolo) i u Komořan, kde se k němu přidal západokarpatský endemit nábělka karpatská (*Plicuteria lubomirskii*), která má v Čechách západní hranici areálu. Zajímavé nálezy poskytla i zahrada bývalého Vítáčkova mlýna na Berounce pod Lišticí, kde se v poloruderální vegetaci vytvořilo celé lužní společenstvo s druhy, jako je dvojzubka lužní (*Perforatella bidentata*), závornatka kyjovitá (*Clausilia pumila*) a mnoho dalších. Dvojzubka se sem mohla dostat až z některých postranních údolí na Křivoklátsku

(Výbrnice, Vůznice). To vše nasvědčuje, že se říčními koridory mohou určité druhy šířit nečekaně rychle.

Pro úplnost nesmíme opomenout ani novodobé zásahy člověka. Balastními vodami říčních lodí se šíří volně plovoucí larvy některých mlžů (*Dreissena*, *Corbicula*), na žábřácích ryb cizího původu zase velevrubovití mlži. Nelze vyloučit ani transport vodních plžů přichycených na ponořených částech lodí. Je tedy vidět, že říční koridory šíření měkkýšů opravdu podporují. V příštím dílu si ukážeme, co lze z říčních náplavů vyčíst.

5 Rozlehlá zátoka na soutoku Dyje, Svratky a Jihlavy u Mušova pod Pálavou vysbírá ulity z velkých ploch, ale jen málokdy je dokáže soustředit do „bohatých“ náplavů.

6 Střídavě zatopený luh Myslivna při okraji nivy Ohře u Budyně představuje dnes klidné místo, kde jen výjimečně dojde k vytřídění a většímu nahromadění ulit. V nedávné geologické minulosti tomu bylo jinak – Ohře zde dokonce vytvořila nárazový břeh. Fosilní doklady náplavů se v něm bohužel nedochovaly. Snímky V. Ložka, není-li uvedeno jinak

Martin Rulík

Mikrobiální biofilmy

2. Vodní prostředí

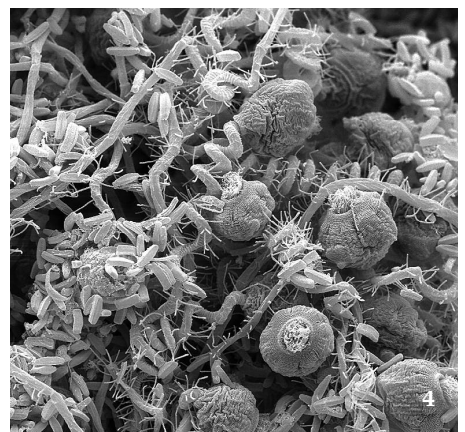
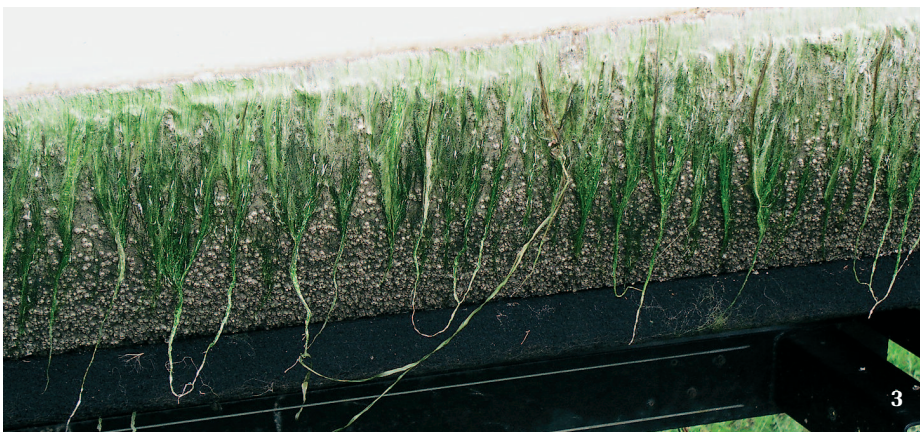
Asi každý, kdo se koupal v řece nebo v moři, ví, jaké to je uklouznout na kamelech. Za kluzký povrch jsou odpovědné prokaryotické organismy (bakterie a archaea), řasy a zástupci říše Chromista – společenstvo těchto přisedlých autotrofních i heterotrofních mikroorganismů označujeme pojmem biofilm. Proč biofilmy vznikají, jaká je jejich struktura a jak fungují, jsme uvedli v prvním dílu (Živa 2012, 3: 104–106). Nyní se zaměříme na biofilmy v přírodních vodách.

Mikrobiální biofilmy na rozhraní pevné a kapalně fáze představují asi nejběžnější typ biofilmů v přírodě. Prakticky jakýkoli povrch ponořený ve vodě po určité době pokryjí mikroorganismy. Vodní prostředí poskytuje řadu možností, kde se mohou uchytit a vyvíjet – biofilmy nacházíme jak v přirozeném, tak i v antropogenním prostředí. Setkáváme se s nimi běžně na povrchu kamenů v tocích nebo na skalnatých pobřežích moří, hrají však důležitou roli rovněž v provozech čištění odpadních vod, rozvodech pitné vody nebo chladicích

okruhů elektráren. Na jednu stranu zde působí mnohé problémy, neboť znečišťují a případně korodují povrchy, na nichž se tvoří, snižují estetickou kvalitu upravené vody a mohou být zdrojem některých patogenních infekcí. Na druhé straně má metabolická aktivita biofilmů nezastupitelné místo v procesu říčního samočištění nebo při úpravě odpadních vod v konvenčních a alternativních čistírnách.

Podle povahy povrchu, na kterém se biofilm tvoří, rozlišujeme biofilmy epilimní (na kamenech a skalách, resp. jakémkoli

pevném minerálním povrchu), epipelické (na bahnitých substrátech), epipsamické (na zrnech písku), epixylické (na dřevnatém materiálu), epifytické (na rostlinách) a epizootické (na tělech živočichů). Zvláštními typy jsou biofilmy mobilní (organické agregáty kolonizované bakteriemi, např. tzv. marine snow nebo také lake snow) a biofilmy stratifikované – tzv. microbial mats (obr. 1). Stratifikovaný (rozvrstvený) povlak bentických sinicových společenstev (žijících na dně) představuje systém tvořený vzájemně závislými, vertikálně uspořádanými vrstvami mikroorganismů. Tyto povlaky se vyskytují na povrchu sedimentů horkých pramenů, hlubokomořských vývěřů, polárních jezer, hypersalinních lagun (s obsahem soli vyšším než je v mořské vodě, tj. 3,5 % – 35 g.l⁻¹), korálových útesů, v čistírnách odpadních vod a estuáriích (ústích řek). V důsledku rozkladu (dekompozice) materiálu zatlačovaného novou produkcí dolů se ve spodní části povlaku vytvářejí anoxické vrstvy bohaté na sirovodík, obývané chemolitotrofními (jako zdroj energie a živin využívají redukované anorganické látky), chemoorganotrofními (využívají organické látky) a fototrofními (fotosyntetizujícími) bakteriemi (obr. 2). Funkčně představují povlaky laterálně zhuštěné ekosystémy, které podporují většinu hlavních biogeochemických cyklů v rozsahu pouhých několika milimetrů. Mikrobiální povlaky bývají soběstačné; primárním zdrojem energie pro produkci a koloběh látek je sluneční záření. Z hlediska procesů v povlaku probíhají současně fixace dusíku, oxidu uhli-

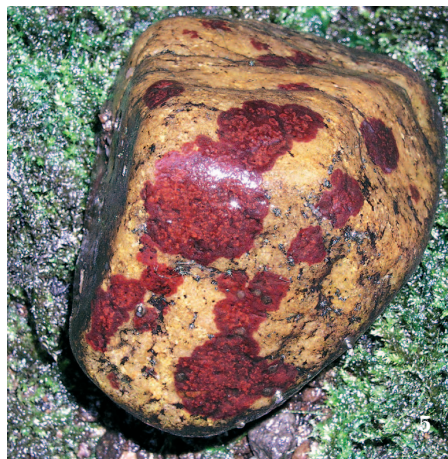


1 Mikrobiální biofilmy v termální oblasti národního parku Waimangu, Nový Zéland. Foto D. Baudišová
2 Stratifikovaný biofilm (tzv. microbial mats) z mělké části (hloubka asi 30 cm) slané laguny Doubloon, severní pobřeží Belize. Základ – zelenou vrstvu – tvoří vláknité sinice (zejména rody *Lyngbya* a *Leptolyngbya*; řada druhů je endemická), hlubší červené či fialové vrstvy fototrofní bakterie (nejčastěji purpurové sírné). Výška biofilmu byla zhruba 5 cm. Stratifikované biofilmy fixují dusík a podílejí se na tvorbě slínovcových sedimentů (jílovitý vápenec, šedá vrstva) charakteristických pro tuto oblast poloostrova Yucatan.

Foto E. Rejmánková a D. Sirová
3 Nechtěné porůstání (biofouling) tvořené vláknitými řasami a svijonožci (*Cirripedia*) na trupu jedné z lodí v přístavu. Poloostrov Hel, Polsko

4 Přírozený epilimtický biofilm narostlý během 30 dní na destičce z pískovaného skla (1 cm²) s dominancí stopkatých nálevníků a rozsivek. Foto A. M. Romani
5 Příklad epilimtického biofilmu na kameni v tekoucí vodě. Červená barva skvrn je způsobena dominancí ruduchy rodu *Hildebrandia*.

čitého, denitrifikace, nitrifikace, redukce síranů, metanogeneze, redukce železa a dalších kovů. Fotosyntéza a fixace dusíku mikroorganismy vede ke vzniku komplexu navzájem propojených koloběhů uhlíku, kyslíku a dusíku mezi společenstvy povlaku.



Jak je uvedeno výše, vodní biofilmy nacházíme ve sladkovodním i v mořském prostředí. První skupina se studuje nejčastěji v tekoucích vodách (říční biofilmy), méně ve vodách stojatých; v mořském prostředí se výzkum zaměřuje na periodicky obnažované plochy v zóně přílivu a odlivu, a pak na biofilmy jako součást nechtěných nárůstů (tzv. biofouling) na trupech lodí, přístavních molech apod. (obr. 3). Nárůsty na lodích snižují jejich rychlost (zvýšeným třením) a ovladatelnost, což vede ke zvýšení spotřeby pohonných hmot a udržovacích nákladů. Na nepohyblivých objektech (jako např. bóje, přístavní piloty a mola, těžební věže a ropné plošiny) mohou biofilmy napomáhat korozi a zvyšovat tak riziko jejich mechanického poškození. Porosty řas mohou blokovat filtrační systémy pro sladkou a slanou

vodu, což opět vyžaduje provádění častých kontrol a čištění potrubí.

Struktura vodních biofilmů

Na rozdíl od humánních biofilmů v medicínském prostředí, kterým se budeme věnovat v příští části seriálu, se přírodní biofilmy vyznačují tím, že jsou zpravidla vícedruhové, obsahují fotoautotrofní složku (řasy, sinice) a mívají mnohem heterogennější strukturu. Při dostatečném osvětlení tvoří řasy s extracelulární polymerní maticí (EPM; blíže viz první díl) dominantní složku povlaku biofilmu, zatímco množství bakteriální biomasy bývá nižší. Výsledky získané analýzou říčních epilimtických biofilmů ukázaly, že 60–90 % jejich celkového uhlíku tvoří řasy, 10–40 % EPM, 1–5 % bakterie a méně než 1 % mikroskopické houby. Avšak při nedostatku světla (zastíněné toky, dnové sedimenty) začne heterotrofní biomasa (bakterie, houby a prvoci) převládat. Mikroskopické houby, zejména tzv. vodní hyfomycety (např. rody rybomorka – *Alatospora* nebo *Tetracladium*), jsou běžnou složkou heterotrofních biofilmů, významnou především v degradaci říčního polymerního materiálu, jako je např. spadané listí a kusy dřeva. Zastoupení hub v biofilmech na dřevu bývá až 50× vyšší než v těch epilimtických na kamenec. Prvoci v přírodním prostředí hrají zásadní roli v predaci bakterií, a tvoří proto významnou součást mikrobiálního potravního řetězce, tzv. mikrobiální smyčky. Primárními kolonizátory epilimtických biofilmů z řad prvoků jsou obecné bičíkatí prvoci, následovaní měňavkami a nálevníky (obr. 4).

Epilitické biofilmy jako příklad fungování přírodních biofilmů

Nejvíce poznatků o struktuře a fungování přírodních biofilmů zatím pochází ze studia jejich epilitických forem. Epilitické nárosty na kamenech jsou typickým mikrobiálním společenstvem tekoucích vod (obr. 5), kde biofilmy představují biologické vrstvy v kontaktu s okolní obvykle tekoucí vodou. Pokud jsou osvětleny, obsahují heterotrofní a fototrofní organismy. Kromě zásadní role v biogeochemickém koloběhu celé řady prvků se toto mikrobiální konzorcium taxonomicky a metabolicky různých buněk podílí výrazně na ovlivňování říčních procesů. Svou schopností vázat na sebe z vody různé anorganické a organické látky, včetně polutantů, představují biofilmy klíčový prvek v procesu říčního samočištění. Na jejich fungování a účinnost zachytávání živin a znečišťujících látek působí několik základních faktorů, z nichž některé jsou fyzikální (proudění vody, teplota, pronikání světla do vody) a chemické (pH, dostupnost živin), jiné biologické (relativní proporce fototrofů a heterotrofů, složení společenstva, tloušťka biofilmu a predace spásáním prvky). Výskyt epilitických biofilmů v tocích je ovlivňován především hydrodynamikou, světlem a zdrojem živin. Dostupnost světla favorizuje fotoautotrofy, kteří tak mohou v biofilmech dominovat a řídit klíčové parametry pro fungování bakterií (koncentrace kyslíku, pH, zásobení organickými substráty apod.). Z mnoha studií víme, že bakterie biofilmů běžně využívají fotosyntetických produktů řas jako zdroje organického uhlíku.

Osídlení vhodných podkladů, vývoj biofilmů i jejich kolaps (odtrhávání) a následnou rekolonizaci substrátu v přírodě nacházíme běžně – v řekách a potocích jsou oba tyto procesy rozšířené a vyskytují se často periodicky. Akumulovaná biomasa je strhávána zejména po povodních, kdy začíná nový kolonizační cyklus; vzestup vody ale může indukovat tvorbu biofilmu na nově zaplavených površích. Během osídlení podkladu biofilmem bylo zjištěno, že v počátečních fázích dominuje EPM, bakteriální a řasová kolonizace následují po 6–12 dnech. Vyšší proporce EPM v mladém biofilmu se vysvětluje ve vztahu k procesu jeho počáteční formace (viz předchozí díl seriálu). Většina kolonizací epilitickým biofilmem ve sladkovodním prostředí vykazuje ranou fázi vývoje trvající 3–7 dní, kdy je nárůst biomasy pomalý, poté následuje rychlejší přírůstek (asi 4–15 dní) a fáze stabilizace (zhruba 15–60 dní). Avšak doba tohoto kolonizačního procesu se může zásadně lišit podle podmínek okolního prostředí a kvality podkladu – v jedné studii autoři již během 1 hodiny inkubace zjistili až 40 tisíc mikrobiálních buněk a 10 buněk řas na 1 cm² kamenů.

Jak taxonomickou diverzitu, tak strukturu vlastního biofilmu ovlivňuje rychlost proudění vody. V experimentu, kdy byl biofilm inkubován na světle a během normálního průtoku vody (0,6 m.s⁻¹), byly bakterie hojně ve spodní části biofilmu v blízkosti kamenitého podkladu a jednoduše nejvíce zastoupené v místech pod přítomnými rozsivkami rodu *Cocconeis*. Ve svrchní vrstvě biofilmu byly bakterie



6

volně rozptýlené v polysacharidové matici. Sinice se vyskytovaly nejčastěji jako jednotlivé buňky nebo skládaly „palisádové formace“ přisedlé k podkladu. Rozsivky byly často přisedlé k substrátu a tvořily jakýsi přístřešek pro shluky bakterií a sinic. V období zvýšeného průtoku (2,35 m.s⁻¹) sinice a rozsivky vykazovaly značnou odolnost k odstranění, ačkoli části schránek rozsivek (frustuly) byly poškozené. Naopak bakterie se více rozptýlily ve svrchních partiích biofilmu, případně byly společně s polysacharidovou maticí zcela odstraněny až na podklad. Výjimku představovaly bakterie schované pod buňkami rozsivek. Rezistenci řas a sinic k silnému proudění potvrdilo více autorů: zdá se, že autotrofní složka je přichycena k podkladu mnohem pevněji, a je tedy odolnější k proudění vody ve srovnání s ostatními částmi biofilmu (bakterie, matrice).

Fotosyntetické organismy – mikroskopické řasy a sinice – jsou hlavními složkami biofilmů rostoucích v přirozeném vodním prostředí a nejrannějšími fototrofními kolonizátory exponovaných povrchů. Přesto doposud existují kontroverzní názory na průběh sukcese biofilmových složek ve vodách. Někteří vědci (např. Morikawa a Shibuya 2000) jsou přesvědčeni, že přisedlý bakteriální biofilm a bakteriální slizová vrstva mají významnou roli v zachycení řas na povrchu substrátu, protože ve stojatých a tekoucích vodách se bakterie přichytávají a rostou na podkladu dříve než řasy. Série pokusů prokázala, že hustota přisedlých bakterií významně ovlivňuje přichycení (adsorpci) řas suspendovaných v tekoucích vodách. Naopak synchronní vývoj početnosti řas a bakterií, který ukazuje na silnou vzájemnou vazbu mezi těmito skupinami, vede další autory k názoru, že primární roli v sukcesi biofilmů hrají řasy (Cooksey a Wigglesworth-Cooksey 1995). Nárůst biomasy řas doprovází zvýšení početnosti bakterií, což naznačuje, že jsou závislé na řasových výměšcích. Složení řasového společenstva biofilmu se mění v prostoru (směrem od pramene vodního toku k ústí), v čase (sezonní změny), podle fyzikálních podmínek (světlo a teplo) a také specifických preferencí druhů řas z hlediska obsahu živin a iontů ve vodě.

Vztah mezi složením řasového společenstva a účinností biofilmu v příjmu látek ovlivňuje např. dostupnost živin. Přírodní společenstvo zelených řas v biofilmu s vysokou účinností fotosyntézy může být v prostředí s nadbytkem živin (eutrofizované toky) nahrazeno rozsivkami s nižší účinností fotosyntézy, a proto nižší kapacitou příjmu živin.

Na fungování biofilmu však nepůsobí pouze taxonomické složení řas a bakterií, ale zároveň poměr v zastoupení fototrofů a heterotrofů. Jak již bylo zmíněno, heterotrofové využívají metabolických produktů řas; narůstající podíl primárních producentů (řas) v biofilmu vede ke zvýšení jeho schopnosti rozkládat polysacharidové a polyfosfátové molekuly. Maximální mikrobiální aktivity bylo dosaženo v době, kdy řasová biomasa 2–3× převyšovala biomasu bakterií. Přítomnost fotoautotrofů tedy zvyšuje degradační kapacitu biofilmu, a tak může ovlivňovat i jeho schopnost zlepšovat kvalitu vody. Mezi biofilmem a okolním prostředím totiž dochází neustále k výměně látek nejrůznějšími procesy – adsorpce a desorpce rozpuštěných látek a koloidů, vychytávání iontů, adheze, koheze, mechanické zachycování nerozpuštěných látek. Polysacharidová matrice účinně zachytává organický materiál, který může být použit při absenci externích zdrojů a slouží tak jako rezerva pro biofilmové heterotrofy. Tyto zásoby umožňují regulovat dostupnost organických látek a udržovat normální funkci biofilmu.

Kromě příjmu organických látek a živin jsou biofilmy rovněž místem retence a uložení např. těžkých kovů a dalších polutantů. Těto schopnosti zadržení, akumulace a transformace látek se v současné době intenzivně využívá při čištění odpadních vod i při bioindikacích studí. Bioakumulační studie poskytují údaje o biologické dostupnosti polutantů ve vodních ekosystémech, kde biofilmy často představují primární článek potravních řetězců. Znečišťující látky, které se hromadí v jejich biomase, se touto cestou mohou šířit dále do vyšších článků potravního řetězce. Obecně jsou biofilmy v raných fázích svého vývoje (mladší biofilmy) daleko náchylnější k působení polutantů než zralé biofilmy,



6 Dřevo nahromaděné v toku představuje ideální prostředí pro rozvoj epixylického biofilmu. Řeka Morava v CHKO Litovelské Pomoraví

7 Kořeny olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) rostoucí v příbřežní části, které zasahují do vlastního toku, poskytují podklad, ale zároveň představují mechanický filtr, na němž se zachytávají unášené suspendované látky. Snímky M. Rulíka, pokud není uvedeno jinak

ale těchto látek obsahují mnohem méně (měly méně času pro akumulaci).

Různé fyzikální faktory, jako je např. světlo, rychlost proudu nebo teplota vody, ovlivňují především strukturu, resp. tloušťku biofilmů. Ta má na jednu stranu dopad na rychlost difuze roztoků z okolní vody do biofilmů, a tudíž limituje rychlost příjmu látek a živin, na druhou stranu může být např. účinnou ochranou proti toxicitě těžkých kovů. Výzkumy totiž prokázaly, že starší a silnější vrstvy říčních biofilmů jsou odolnější k toxickým účinkům mědi, zinku a kadmia než ty mladší. Pronikání zinku do mohutnějšího biofilmu mohou omezovat lokální hodnoty pH, stejně tak ovšem i vazba kovů na hojně exudáty v silnějším povlaku.

Zatímco v prostředí volné vody je působení prvoků na bakteriální populaci známo relativně dobře, není dosud jasné, zda konzumace bakterií některými zástupci mikrofauny (bičíkovci, měňavky, nálevníci) inhibuje nebo kontroluje tvorbu biofilmu. Někteří vědci se domnívají, že bakterie biofilmů jsou chráněny před predací a prvoci mají jen malý účinek na jejich populační dynamiku (např. Caron 1987). Významnou funkci v této ochraně zastává pravděpodobně EPM – prvoci ji skutečně konzumují, to však nemusí platit pro buňky, které matici produkují. Tento fenomén by se dal vysvětlit tím, že bakterie tvoří odlišné typy EPM – pevné a vysoce adhezivní kapsule obklopující buňky a dále sli-zovitou, více difuzní frakci, která je prvoky snadněji konzumovatelná. Kromě morfolo-gické ochrany bylo zjištěno, že biofilmy, především fotoautotrofní rozsivkové a sinicové typy, se mohou proti predaci chránit rovněž chemicky. Toxicitu rozsivkových

biofilmů přitom nevyvolává jen určitý druh rozsivek, ale patří k jejich obecným vlastnostem. Druhá skupina vědců (Pedersen 1990, Jackson a Jones 1991) však přišla s kontroverzním názorem, že predace prvoky je pravděpodobně nejvýznamnějším faktorem, který kontroluje dynamiku biofilmu. Prokázali, že prvoci biofilmová společenstva nejen kolonizují, ale také způsobují jejich strhávání od podložního substrátu. Studii s měňavkou *Acanthamoeba castellanii* a nálevníkem *Colpoda maupasii* bylo zjištěno, že oba druhy značně ovlivňují populační dynamiku biofilmů – *A. castellanii* konzumuje bakterie s rychlostí asi 30 tisíc buněk na cm² za hodinu a *C. maupasii* je schopen redukovat tloušťku biofilmu až o 60 %. Spásání mění fungování říčních biofilmů hned několika způsoby, mimo jiné zjednodušuje taxonomické složení řasového společenstva (favorizuje některé taxony) a ovlivňuje jeho fyziologickou strukturu. Protože navíc spásací udržují nízkou biomasu biofilmu a snižují tak kapacitu jeho sorpčního povrchu pro rozpuštěné a koloidní toxické látky, dochází ke zvýšené poproudové mobilitě a snížení samočisticího efektu biofilmů.

Důsledky aktivit mikrobiálního biofilmu pro vodní ekosystém

V potocích a řekách aktivita bakterií přisedlých na povrch kamenů značně převyšuje aktivitu volně suspendovaných bakterií. V malých tocích se téměř 99 % respirace a obratu uhlíku vyskytuje v dnových sedimentech, biofilmy však svou aktivitou dominují i ve větších tocích. Např. v Ogeechee River (Georgia, USA) benthické biofilmové bakterie odpovídaly za více než 90 % metabolismu celého říčního systému. Bakterie však mají zásadní vliv na biogeochemii vodního sloupce i tam, kde je hydrologické propojení sedimentů s vodním sloupcem omezené. V mělkém dánském jezeru bylo např. zjištěno, že produkce bakterií v epifytickém biofilmu přepočtená na plochu byla až 7× vyšší než aktivita volných bakterií. Z ekosystémového pohledu se tedy zdá, že ve většině vodních systémů představuje vodní sloupec médium, které přenáší uhlík a živiny k ohniskům heterotrofního metabolismu. Tato ohniska jsou lokalizována v biofilmech sedimentů a v epifytických nárostech.

Biofilmy na dřevnatém materiálu

Toky v lesních oblastech obsahují značné množství organického materiálu, který zahrnuje jak listový, tak dřevnatý opad podléhající mikrobiální dekompozici (obr. 6). Vývoj biofilmu na dřevnatém substrátu bývá mnohem intenzivnější ve srovnání s epilitickými biofilmy. Důvodem je především využití dřeva jako doplňkového zdroje uhlíku – epixylická společenstva obývá skupina bakterií specializovaných na degradaci komplexních polysacharidů (celulóza) a polyfenolických látek (např. lignin). Dřevnaté povrchy mají vyšší mikrobiální biomasu a enzymatické aktivity rovněž ve srovnání s listovým substrátem. Podle některých autorů (např. Golladay a Sinsabaugh 1991) to pravděpodobně způsobuje větší fyzikální stabilita dřeva, která umožňuje vznik extenzivnějšího biofilmu. Naopak listy jsou rychle degradovány

a fragmentovány, čímž se zkracuje doba pro tvorbu biofilmu. Vývoj epixylického biofilmu je unikátní v tom, že činností hub dochází k měkdnutí povrchové vrstvy, která je posléze odstraněna fyzikální a biologickou činností a obnažuje čerstvé, dosud neporušené vrstvy ležící pod ní. Chemické složení dřeva tedy zůstává během dekompozice relativně nezměněno, což je v napadném protikladu s povrchem vody, do níž napadnou listy – tam se společenstvo biofilmu a aktivita extracelulárních enzymů mění v závislosti na relativně rychlých chemických a fyzikálních změnách substrátu. Podpovrchové vrstvy epixylického biofilmu slouží též jako kotvení místa pro mikroorganismy, zejména houby. Pevné ukotvení zvyšuje odolnost biofilmu proti kompletnímu odstranění proudem vody nebo vůči jiným disturbancím a zároveň podporuje tvorbu a akumulaci silného a časově stabilního biofilmu. Obecně lze shrnout, že epixylické biofilmy představují dynamické biotické uskupení pronikající trvale do čerstvého povrchu dřeva, zatímco vývoj biofilmů na listech je omezen efemérním trváním substrátu, v případě epilitických biofilmů neaktivní nepropustnou povahou podkladu. Dřevnaté substráty mají význam pro kolonizaci řas, protože svou vyšší drsností poskytují ve srovnání s epilitickými podklady mnohem různorodější povrch, a to se odráží ve vyšší diverzitě přichycených řas.

Zajímavým fenoménem v potocích a řekách jsou kořeny stromů rostoucích v příbřežní části, jako jsou např. vrby (*Salix*) nebo olše lepkavá (*Alnus glutinosa*). Kořeny často zasahují do vlastního toku a poskytují podklad i substrát pro biofilmová společenstva a refugium pro mnohé bezobratlé a ryby (obr. 7). Představují rovněž retenční struktury (přírodní česla), které přispívají k zachytávání unášených suspendovaných a rozpuštěných látek a výrazně se tak podílejí na samočisticích schopnostech toku. Epixylický biofilm na těchto kořenech tvoří především bakterie, prvoci a řasy. V jedné studii jsme zjistili, že zatímco bakterie kolonizovaly různě silné kořeny se zhruba stejnou hustotou, řasy preferovaly kořeny silnější. Zdá se, že tyto rozdíly by částečně mohly být vysvětleny odlišnostmi v povrchové struktuře kořenů. Kořeny silnější (tedy starší), mají povrch více zvrásnělý a členitý než kořeny tenké, vláskovité, bez výrazných prohlubní a záhybů, kde by mohlo docházet k zachytávání autotrofních organismů.

Závěrem můžeme shrnout, že biofilmy ve vodním prostředí fungují jako centra metabolické aktivity a svou schopností zadržet a shromáždit polutanty z prostředí se výrazně podílejí na samočištění vod, také slouží jako potrava pro různé bezobratlé živočichy. Mají i negativní roli, tj. znehodnocování a poškozování nejrůznějších povrchů. Z pohledu fungování přírodních biofilmů jsou však důležité dva faktory. Prvním je složení společenstev řas, bakterií a dalších organismů, která jsou v interakci navzájem a zároveň s vyššími trofickými hladinami (např. spásací). Druhým faktorem týkajícím se struktury biofilmu jsou jeho biomasu a tloušťka. Obě tyto vlastnosti představují zcela zásadní rámec pro příjem a zachycení živin i toxických látek.