

Aplikace nanovláknenných materiálů v oblasti čištění odpadních vod

Karel Havlíček <karel.havlicek@tul.cz>

Karel Havlíček

Hlavním cílem této práce je testování nanovláknenného nosiče biomasy v systému čištění odpadních vod. Bylo připraveno několik typů nanovláken, které byly podrobeny důkladným analýzám. Z výsledků těchto analýz byl zvolen nejvhodnější nanovláknenný materiál pro biologické aplikace – polyvinylbutyral (PVB) připravený pomocí technologie Nanospider™, který byl následně testován v biologickém laboratorním reaktoru jako nosič biomasy. Během provozu bioreaktoru byl sledován průběh nitrifikace, resp. růst nitrifikačních bakterií pomocí respirometrie a molekulárně-genetických metod (FISH a real-time qPCR). Výsledky analýz ukazují, že zvolený PVB nosič výrazně podporoval růst biomasy, kde bylo pomocí molekulárně genetických metod nalezeno značné zastoupení nitrifikačních bakterií. Navíc, chemismus reaktoru v průběhu experimentu potvrzoval vysokou účinnost nitrifikačního procesu.

Klíčová slova: charakterizace nanovláken, molekulárně-genetické testy, nitrifikace, nosiče biomasy, respirometrie

Úvod

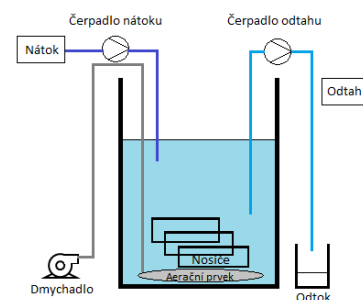
Při biologických aplikacích nanovláknenných struktur hrají klíčovou roli vlastnosti daného materiálu – povrchový náboj, pórovitost, morfologie povrchu, která silně souvisí s buněčnou adhezí a další specifické fyzikálně-mechanické parametry [1,2]. U procesu nitrifikace a denitrifikace v odpadních vodách dochází k značnému ovlivňování aktivit bakterií typem biomasy, ve které se nachází a tedy k ovlivňování účinnosti zmíněných procesů. V současné době je použití nosičů biomasy jedna z možností, jak zvyšovat účinnosti stávajících ČOV bez nutnosti finančně náročných stavebních úprav objektů.

Nanovláknenné nosiče biomasy mohou poskytovat velmi vhodné podmínky pro růst a metabolismus čistírenských bakterií. Často je však obtížné zvolit vhodný polymer pro přípravu těchto nosičů tak, aby byla splněna zásadní kritéria. Námí zvolený PVB je netoxický polymer bez zápachu a šetrný k životnímu prostředí. PVB je široce používán v mnoha aplikacích kvůli nízkým nákladům na jeho výrobu, flexibilitě, dobré přilnavosti a dlouhodobé stabilitě. Navíc vykazuje dobré mechanické vlastnosti a je odolný vůči vlhkosti (stabilita ve vodném prostředí) [3].

Metodika

Model biologického reaktoru (obrázek 1) tvoří otevřená silnostěnná skleněná nádoba (Ø 24 cm). Na dně nádoby jsou po stranách instalovány aerační

elementy napojené na dmychadlo, které zajišťuje homogenní provzdušňování systému. Před zahájením provozu byl bioreaktor inokulován aktivovaným kalem z nitrifikační nádrže komunální ČOV Liberec. Do reaktoru byla jako nátok přiváděna modelová odpadní voda obsahující NH_4Cl jako zdroj dusíku a fosfátový pufr pro stabilizaci pH a jako zdroj fosforu (PO_4^{3-}). Na dně nádoby byly v nerezových rámečcích umístěny testované nosiče biomasy o velikosti 55x55 mm. Celý systém nosičů byl nepřetržitě ponořen.



Obrázek 1: Schéma prototypu biologického reaktoru pro testování nosičů biomasy

Biologický modul pracuje jako SBR (Sequencing Batch Reactor) ve dvou operačních cyklech během dne. První 3 dny probíhalo v bioreaktoru cyklické opakování následujících procesů: nátok + aerace (10,5 h), nátok + sedimentace (0,5 h) a odtah odpadní vody na polovinu objemu reaktoru (0,5 h). Po odkalení bioreaktoru (po 3 dnech od spuštění) byla aerace spuštěna nepřetržitě a k sedimentaci již nedocházelo. Dále byla udržována pouze biomasa přisedlá/narostlá na nosičích, tj. bez suspendovaného kalu.

Pro detekci přítomnosti AOB a NOB v biofilmu na nanovláčkách pomocí molekulárně-genetických metod, real-time qPCR a FISH, byla vytřepána biomasa ze čtverce nanovláček o velikosti 6x6 mm použitím ultrazvuku (15 min, 35 kHz, 20 °C). Z vytřepané biomasy byla pro účely real-time PCR provedena extrakce bakteriální DNA, zatímco pro FISH analýzu proběhla fixace a permeabilizace buněk.

Pro respirometrické měření byl vzorek nanovláčkového nosiče z bioreaktoru umístěn do láhve obsahující 200 ml BSM média, 20 mg.l⁻¹ N-NH₄⁺ a 10 ml fosfátové pufry. Připravené láhve byly následně umístěny na respirometr a po ukončení měření byla získaná data vyhodnocena v programu Matlab (The Mathworks, Inc.).

Výsledky a diskuze

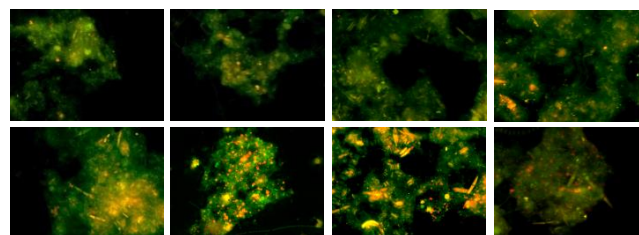
Koncentrace N-NH₄⁺ v modelové vodě (nátok) kolísala mezi 9,5 a 15,0 mg.l⁻¹. Koncentrace N-NH₄⁺ v odtoku z reaktoru byla typicky menší než 0,5 mg.l⁻¹, což ukazuje na vyšší než 95% účinnost oxidace amoniaku. Kompletní nitrifikace byla prokázána zanedbatelnou koncentrací N-NO₂⁻ iontů v reaktoru (<0,1 mg.l⁻¹).

Tabulka 1: Přehled chemismu bioreaktoru v týdenních intervalech

Odběr	CHSK (mg.l ⁻¹)	N-NO ₂ (mg.l ⁻¹)	N-NO ₃ (mg.l ⁻¹)	N-NH ₄ (mg.l ⁻¹)
1. týden	11,1	1,570	9,2	2,680
2. týden	5,7	0,244	11,2	0,286
3. týden	5,2	0,071	10,7	0,157
4. týden	5,7	0,003	11,1	0,080
5. týden	5,1	0,084	12,3	0,055
6. týden	5,0	0,089	13,0	1,620
7. týden	5,1	0,058	15,1	0,143
8. týden	12,0	0,045	16,1	0,029

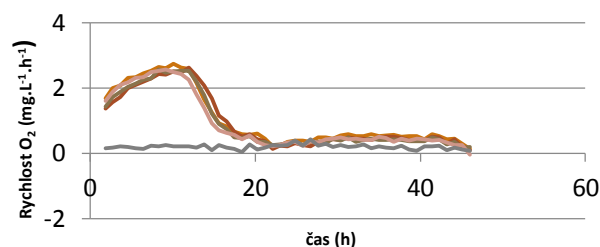
Na všech vzorcích PVB nanovláček odebraných z bioreaktoru bylo celkové bakteriální oživení na vysoké úrovni. Markery specifické pro NOB Nitrospira (nrxB, NSR) byly, na rozdíl od NOB Nitrobacter, detekovány ve velkém množství na všech nanovláčkách od prvního odběru. V případě specifického funkčního genu amoA (AOB Nitrosomonas) byl pozorován postupný nárůst v průběhu experimentu u všech nanovláček, stejně tak v případě NOB Nitrospira (NSR, nrxB). V průběhu experimentu se testovaná bakteriální biomasa výrazně neměnila, což indikuje, že v 1. odběru, tedy po 14 dnech od zanoření

nanovláček, byl na povrchu nanovláček již stabilní biofilm.



Obrázek 2: Ukázka snímků z FISH analýzy posledního odběru, z každé sady snímků vybrán jeden od každého z kvadruplikátu pro AOB (nahore) a NOB (dole)

Výsledky FISH analýzy posledního odběru potvrzují závěry z qPCR analýzy. Ze snímků (obrázek 2) je patrné nízké celkové množství AOB ve vzorcích. Naopak značné zastoupení červené barvy (NOB) k zelené (EUB) ve snímcích je pro NOB, kdy jednotlivé kvadruplikáty se příliš neliší.



Obrázek 3: Rychlost spotřeby kyslíku při závěrečném testování PVB nosičů na respirometru (šedá křivka – blank)

Výsledky rychlosti spotřeby O₂ (obrázek 3) ukazovaly dobrou aktivitu nitrifikačních bakterií oproti blanku (pouze médium bez inokula). S ohledem na slabou vrstvu biofilmu na nosičích byla účinnost tohoto systému značná, což bylo potvrzeno stanovenou koncentrací N-NH₄⁺ ve vzorcích po ukončení respirometrie, která byla nižší než 1.

Závěr

Nanovláčkové nosiče biomasy se ukazují jako velmi vhodné pro osídlování čistírenskými bakteriemi a tedy pro zvyšování účinnosti systémů čištění odpadních vod.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2020.

Reference

- [1] J. Han, et al. Bio-functional electrospun nanomaterials: From topology design to bio. applications. *Progress in Polymer Science*. 2019, 91, 1–28.
- [2] F. Song, H. Koo, D. Ren. Effects of Material Properties on Bacterial Adhesion and Biofilm Formation. *J Dent Res*. 2015, 94, 1027–1034.
- [3] L.-J. Chen, et al. Synthesis and characterization of PVB/silica nanofibers by electrospinning proces. *Polymer*. 2009, 50, 3516–3521.