

Vývoj a testování nových typů mikro- a nanovlákných nosičů biomasy pro post-treatment procesy na ČOV

Karel Havlíček <karel.havlicek@tul.cz>, Karel Havlíček

Tato práce se zabývá vývojem a testováním nových typů nosičů biomasy (mikro- a nanovlákných) v laboratorním reaktoru post-nitrifikace. Pomocí respirometrie a molekulárně genetických metod byl sledován vývoj a stabilizace biofilmu na nosičích. Rychlost vývoje biofilmu byla závislá na struktuře a povrchových vlastnostech jednotlivých nosičů. Výsledky ukázaly, že biofilm nejsilněji ulpěl na nosičích z nanovláken, kde došlo k pomalejšímu, ale robustnějšímu vývoji nitračních bakterií. Nosiče z mikrovláken byly stabilnější a s vysokou rychlostí tvorby biofilmu, kde však delší dobu zůstává zachycena suspendovaná biomasa z inokulační fáze. Vývoj nových typů nosičů biomasy s potenciálem vysoce kvalitní adheze mikroorganismů je předpokladem pro rozšíření vysoce účinných biotechnologických procesů, zejména pro čištění odpadních vod.

Klíčová slova: biofilm, molekulárně-genetické metody, nitrifikace, nitrifikační bakterie, nosiče biomasy, respirometr

Úvod

Návrh a vývoj nových nosičů biomasy mohou biotechnologie vod dále posunout k podpoře stávajících systémů ČOV a přispět k odstranění nízkých koncentrací obtížně eliminovatelných polutantů. Několik studií potvrdilo účinnost nosičů biomasy v nitrifikačních i denitrifikačních systémech [1,2]. Ta obecně závisí na velikosti povrchu nosiče, morfologii, pórovitosti materiálu nosiče, procentuálním plnění v reaktoru, organickém zatížení a míře provzdušňování [3]. Počet dostupných materiálů, možnosti jejich zpracování a rozvíjející se znalosti o procesech ČOV poskytují širokou příležitost pro vývoj účinných, levných a ekologicky šetrných nosičů biomasy, zejména pro post-treatment.

Struktura povrchu nosiče je nezbytná pro růst biofilmu a síla biofilmu určuje účinnost sledovaných procesů. Pórovitost materiálu je zásadní pro vytvoření požadovaného aerobního nebo anoxického prostředí a případné modifikace/funkcionalizace mohou vytvořit konkrétní podmínky pro daný biotechnologický proces. Tvar, hmotnost a mechanické vlastnosti jsou zásadní pro proudění nosičů v namáhaných systémech.

Tato práce byla provedena za účelem srovnání růstu nitrifikačních bakterií na různých typech nosičů biomasy, kdy tyto bakterie jsou při vhodných podmínkách schopny eliminovat i nízké koncentrace dusíku z odpadních vod.

Metodika

Byly testovány tři různé nosiče biomasy – vrstva nanovláken (nově vyvinutá), 3D struktura z mikrovlákna (nově vyvinutá) a komerčně nejpoužívanější nosič AnoxKaldnes™ K3 (pro srovnání).

Tabulka 1: Parametry testovaných nosičů biomasy

Nosič	Povrch [mm ²]	Hustota [kg/m ³]	Specifická povrchová plocha [m ² /g]	Povrch/objem [m ² /m ³]
Nanovlákný	2450	1150	0,08	12 000
Mikrovlákný	5000	1350	0,004	500
AnoxKaldnes™	3500	980	0,004	500

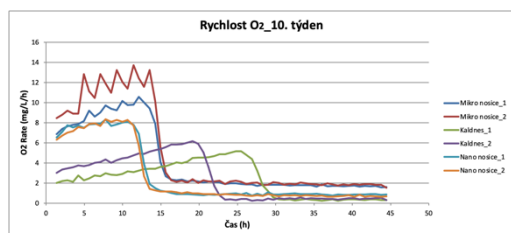
Biologický model MBBR se sestával z otevřené silnostěnné skleněné nádoby (Ø 24 cm) o objemu 5 L (pracovní objem 4 L). Na dno nádoby byly instalovány provzdušňovací prvky připojené k dmychadlu (hrubé bubliny). Před zahájením provozu byly bioreaktory naočkovány aktivovaným kalem z nitrifikační nádrže ČOV Liberec (3denní inokulace). Syntetická odpadní voda použitá jako nátok do bioreaktoru obsahovala NH₄Cl jako zdroj dusíku, fosfátový pufr a NaHCO₃ pro stabilizaci pH. Model byl provozován jako chemostat a doba zdržení byla během experimentu nastavena na 1 den. Nosiče biomasy byly testovány v oddělených bioreaktorech se stejnými podmínkami; v každém bylo testováno několik nosičů: 50 ks nanovláken, 20 ks mikrovláken a 150 ks AnoxKaldnes™ K3.

Koncentrace sloučenin dusíku a CHSK v bioreaktoru byly měřeny pomocí kyvetových testů (Hach). Kontrolní měření pH a rozpuštěného kyslíku byly prováděny týdně pomocí měřiče WTW Multi 9430, digitální optické sondy IDS a pH elektrody. Vývoj aktivity biofilmu byl monitorován každý týden pomocí respirometrie. Uprostřed a na konci experimentu byl růst nitrifikačních bakterií v biofilmu na nosičích analyzován metodami qPCR a NGS.

Výsledky a diskuze

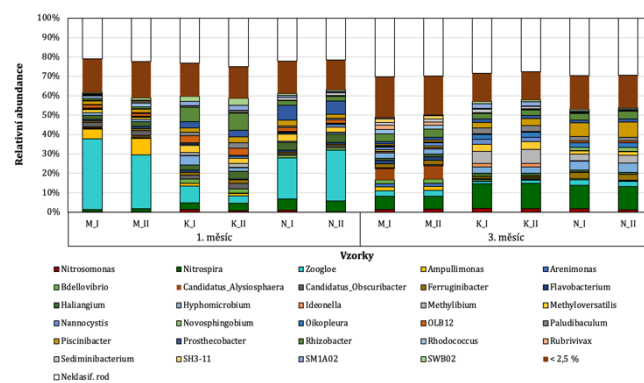
Na základě výsledků chemické analýzy byla účinnost nitrifikace po stabilizaci systému bioreaktoru vyšší než 95 % pro všechny nosiče. Rozdíl filtrované a nefiltrované CHSK byl nepatrný již po 2. týdnech od zanoření nosičů do reaktoru, což ukazuje na téměř nulovou koncentraci suspendovaného kalu v reaktorech, resp. pouze biomasa přisedlá na nosičích přispívala k post-nitrifikaci.

Na základě respirometrických dat lze usuzovat následující: neúčinnějšími nosiči z hlediska metabolické aktivity biofilmu na jejich povrchu byla mikrovlákna, kde velký vnitřní prostor nosičů umožňuje vysokorychlostní zachytávání biomasy ve struktuře nosiče, čímž se zvyšuje rychlost přirozené tvorby a stabilizace biofilmu. Velká velikost vnitřního meziprostoru však způsobuje počáteční rychlé zachycení suspendovaného kalu, což vede k nárůstu počáteční biomasy, a ne zcela srovnatelným výsledkům (s jinými nosiči) před dosažením ustáleného stavu. Nosiče z nanovláken mají značnou účinnost, a to i při relativně nízkém plnění a menším vnitřním prostoru. Jejich jedinou nevýhodou je mechanická nestabilita v provzdušněném systému a delší doba stabilizace biofilmu na povrchu. Pomaleji formovaný biofilm je však mnohem pevněji přichycen k povrchu nosiče. Nosiče AnoxKaldnes™ K3 již prokázaly svou účinnost v řadě studií, ale jsou mnohem méně účinné než struktury z mikro- a nanovláken kvůli delší době kolonizace bakteriemi (minimální drsnost povrchu).



Obrázek 2: Vybraný respirogram zobrazují rychlost nitrifikace (aktivitu bakterií v biofilmu) s jednotlivými nosiči (10. týden)

Rozdíl ve struktuře nosičů hraje významnou roli pro mikrobiální složení biofilmu. *Nitrosomonas* vykazoval znatelnější vývoj mezi 1 a 3 měsícem na nosičích z mikrovláken a *Nitrospira* na nanovlákných nosičích a AnoxKaldnes™ K3. Zástupci AOB (*Nitrosomonas*) pravděpodobně upřednostňují prostředí s rozsáhlou biomasou a velkou aktivní oblastí. Na druhé straně se zástupcům NOB (*Nitrospira*) lépe daří v pomalu se tvořícím biofilmu a tvoří vyšší procento v celém bakteriálním konsorciu. Stanovením koncentrace bakterie *Zoogloea* ve vzorcích bylo možné sledovat poměr vytvořené biomasy kvalitního biofilmu a biomasy suspendovaného kalu. *Zoogloea* je totiž typická pro vločky aktivovaného kalu, a nikoliv pro biofilm. Toto zjištění je možné aplikovat pro další experimenty, kdy právě *Zoogloea* můžeme využít jako indikátor tvorby pravého biofilmu.



Obrázek 2: NGS výsledky – bakteriální konsorciu na nosičích

Závěr

Výsledky práce jsou velmi přínosné pro oblast dočišťování odpadních vod pomocí MBBR systémů a námi vyvinuté nosiče biomasy se vyznačují vysokým potenciálem pro adhezi kvalitního biofilmu s požadovanými bakteriemi.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2021.

Reference

- [1] Lima, P.S., et al., 2021. Upgrade of a suspended biomass reactor with limited nitrification to a biofilm system: Addressing critical parameters and performance in different reactor configurations. *Biochem. Eng. Jour.* 170, 107987. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.107987>.
- [2] Zhang, W., Jiang, F., 2019. Membrane fouling in aerobic granular sludge (AGS)-membrane bioreactor (MBR): Effect of AGS size. *Water Res.* 157, 445–453. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.069>.
- [3] Massoompour, A.R., et al., 2020. Enhancement of biological nitrogen removal performance using novel carriers based on the recycling of waste materials. *Water Res.* 170, 115340. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115340>.