

Biofilmové anaerobní reaktory pro čištění odpadních vod z droždíren

Ing. MICHAL DOHÁNYOS, CSc., Ing. PAVEL MARTAN, Ing. JANA ZÁBRANSKÁ, CSc. Katedra technologie vody a prostředí, VŠCHT Praha

Klíčová slova: anaerobní čištění; odpadní vody; biofilmové reaktory; anaerobní reaktory; bioplyn; methan; droždírenské odpadní vody; laboratorní pokusy, poloprovozní pokusy.

V současné době, kdy se klade stále větší důraz na ochranu životního prostředí a úspory energie, dostávají se i v technologii vody do popředí pozornosti energeticky výhodné technologie čištění odpadních vod. Jednou z těchto technologií je anaerobní čištění odpadních vod, při kterém vzniká energeticky bohatý bioplyn s vysokým obsahem methanu.

Z intenzivních anaerobních procesů největšího rozvoje v posledních letech dosáhly anaerobní biofilmové procesy, tj. procesy, při kterých biomasa roste ve formě nárostů (biofilmu) na inertních nosičích (pevných nebo fluidních).

Hlavní výhodou tohoto způsobu kultivace je možnost akumulace značného množství aktivní biomasy v reaktoru, což je hlavním intenzifikačním faktorem metanizačního procesu.

Nejstarším typem anaerobního biofilmového reaktoru je *anaerobní ponořený filtr* s průtokem zdola nahoru [1]. Představuje svislou kolonu vyplněnou vhodným nosičem biomasy. Průtok zdola nahoru způsobuje, že ve spodní části reaktoru se většina biomasy nachází ve formě suspenze, v prostorech mezi náplní a pouze zčásti ve formě biofilmu na povrchu náplně reaktoru. Tento typ reaktoru tedy představuje kombinaci reaktoru s kalovým mrakem [2] a biofilmového reaktoru. Je zvláště výhodný pro čištění odpadních vod s malým obsahem suspendova-

ných látek. Jeho výhodou je provozní stálost a relativně snadné zapracování. Hlavním limitujícím faktorem je vysoká akumulace biomasy ve formě suspenze a možnost zarůstání náplně. Větší reaktory mají sklon k tvorbě kanálků, nebo zkratových proudů v náplni. Nevýhody anaerobního filtru odstraňuje tzv. *trubkový reaktor* s průtokem shora dolů [3]. Náplň reaktoru je uspořádána ve formě svislých kanálků. To vylučuje hromadění suspendovaných látek v reaktoru: veškerá biomasa se nachází pouze ve formě biofilmu. Suspendované látky přítomné v odpadní vodě jsou rozkládány v závislosti na jejich rozložitelnosti. Zatížení reaktoru je závislé na množství biomasy přítomné v reaktoru ve formě biofilmu na povrchu náplně. Efektivní tloušťka biofilmu je limitována difúzí, proto množství biomasy je přímo závislé na specifickém povrchu náplně. Specifický povrch náplně je limitován velikostí otvorů — kanálků v náplni, které musí mít minimální průřez takový, aby nedošlo k zarůstání biomasou. Anaerobní trubkový reaktor vykazuje vysokou provozní stabilitu, vyžaduje však delší a pečlivější zapracování než anaerobní filtr. V průběhu zapracování je nutná recirkulace.

Výhody anaerobního filtru a trubkového reaktoru spojuje *reaktor s volně loženou* (neuspořádanou) *náplní s průtokem shora dolů* [4]. Zde určitá menší část biomasy zůstává ve formě suspenze v mezináplňových prosto-

rech. To umožňuje vyšší akumulaci biomasy a dovozuje rychlejší zapracování. Průtok shora dolů zabezpečuje reaktor před zanesením suspendovanými látkami a zamezuje tvorbě zkratových proudů.

Důležitým faktorem ovlivňujícím funkci anaerobních biofilmových reaktorů je druh a kvalita náplně reaktoru. Náplň má mít specifický povrch okolo $100 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$, musí se vyznačovat dobrou přilnavostí vůči biofilmu. Za nejvhodnější provozně aplikovatelné náplně se považují náplně z plastické hmoty — vyznačují se vysokou mezovitostí a náplně z tvárnice z pálené hlíny — nejvhodnější povrch pro tvorbu biofilmu.

METODIKA POKUSŮ

Cílem řešeného úkolu bylo vypracovat podklady pro čištění odpadních vod z droždí. K tomuto účelu byly provedeny dlouhodobé laboratorní a poloprovozní pokusy. Všechny pokusy byly provedeny s odpadními vodami z droždárny n. p. Líkova Nýřany. Poloprovozní reaktory jsou umístěny přímo v objektu závodu u zdroje odpadních vod.

MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ

Laboratorní pokusy

Reaktor L1 — anaerobní náplňová kolona, provozována jako anaerobní filtr (průtok zdola nahoru). Náplň je tvořena z volně ložených trubek z PVC o průměru 2 cm a délce 2–3 cm. Specifický povrch náplně $257 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$. Objem reaktoru 5,14 l, výška 1,15 m.

Reaktory L2 — trubkový reaktor. Představuje tři paralelně, samostatně pracující trubkové reaktory. Jako reaktor byla použita překladová cihla — hrdiska s podélnými kanály, z nichž každý tvořil samostatný reaktor. Rozměry kanálů: průřez $5 \times 6 \text{ cm}$, výška 1,15 m, specifický povrch $74,3 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$. Substrát je přiváděn do horní části reaktoru a odváděn z dolní části sifonovým uzávěrem.

Poloprovozní pokusy

Pokusy byly provedeny v reaktorech o průřezu $0,6 \times 0,6 \text{ m}$ a výšce 5 m. Objem prázdného reaktoru včetně plynového prostoru je $1,908 \text{ m}^3$. Oba reaktory byly naplněny nosičem biomasy do výšky asi 4,0 m.

Reaktor P1 — náplň je tvořena speciálními tvarovkami z pálené hlíny o rozměru $0,44 \times 0,245 \times 0,30 \text{ m}$. Každá tvarovka má 45 svislých kanálků o průřezu asi $4 \times 4 \text{ cm}$. Jednotlivé tvarovky jsou skládány tak, aby kanálky na sebe souvisle navazovaly podél celé výšky náplně.

Specifický povrch náplně je $136,4 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$. Průtok substrátu je veden shora dolů.

Reaktor P2 — náplň je tvořena z kroužků z plastické hmoty, výrobek Plastimatu Tachov, používané jako náplně do aerobních biologických filtrů (průměr 6 cm, výška 5 cm). Specifický povrch této náplně je $140 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$. Náplň je volně ložená v reaktoru, průtok substrátu shora dolů.

Charakteristika substrátu

Odpadní voda z výroby droždí přiváděná na pokusné reaktory se vyznačovaly proměnlivostí složení:

CHSK	7,0 — 21,1 g.l ⁻¹
BSK ₅	3,4 — 9,6 g.l ⁻¹
pH	4,3 — 6,2
suspendované látky	0,17 — 0,7 g.l ⁻¹
N-celkový	90 — 300 mg.l ⁻¹
PO ₄ ³⁻	38 — 50 mg.l ⁻¹
SO ₄ ²⁻	1,03 — 2,6 g.l ⁻¹

Odpadní voda byla do reaktorů přiváděna přímo bez neutralizace, pouze v období zapracování reaktorů byla neutralizována na pH = 7.

VÝSLEDKY A DISKUSE

V tab. 1 jsou uvedeny výsledky laboratorních a poloprovozních pokusů. V laboratorních i poloprovozních reaktorech byly porovnávány náplně z plastické hmoty a z pálené hlíny.

Z výsledků obecně vyplývá vysoká provozní stabilita a dobrá čistící účinnost anaerobních reaktorů pracujících v různých provozních režimech. Poloprovozní pokusy, přesto že jsou provozovány relativně krátkou dobu (hodnocené výsledky jsou z období 80.—130. dne provozu), plně potvrdily výsledky laboratorních pokusů. Poloprovozní reaktory pracují při nižších teplotách než laboratorní a za značného kolísání teplot a kvality přítoku, přesto vykazují vysokou provozní stabilitu. Z podrobné analýzy provozu vyplývá, že tyto reaktory mají ještě značnou rezervu ve výkonu. V dalším období pokusů bude zvyšováno zatížení za současného snížení doby zdržení v reaktorech.

Z provedených pokusů byla odhadnuta produkce biomasy na 1–6 % odstraněné CHSK. Při dobře zapracovaném reaktoru lze pracovat bez neutralizace přítoku, aniž by se zhoršila účinnost čištění. Vliv síranů se při daných koncentracích neprojevil negativně. Síraný jsou biologicky redukovány na H₂S, který zčásti odchází s bioplyny.

Tab. 1. Výsledky čištění droždářských vod na anaerobních laboratorních a poloprovozních biofilmových reaktorech

Parametr		Laboratorní reaktory		Poloprovozní reaktory	
		L 1 (plast. hmota)	L 2*) (trub. reaktor)	P 1 (pálená hlína)	P 2 (plast. hmota)
objem reaktoru	l	5,14	3,12	1900	1900
doba zdržení	d	2,3	1,48	3,58	3,87
teplota	°C	34,0	35,0	24–31	24–31
zatížení	kg . m ⁻³ . d ⁻¹	4,49	6,72	2,48	2,84
CHSK přítoku	kg . m ⁻³	10,34	9,97	12,2	12,2
pH přítoku		5,94	4,66	5,5	5,5
produkce bioplynu					
objemová	m ³ . m ⁻³ . d ⁻¹	1,77	2,22	1,14	1,33
specifická	m ³ . kg ⁻¹	0,598	0,483	0,65	0,65
obsah CH ₄	%	76,6	83,0	75,0	75,0
Odtok					
pH		7,62	7,5	7,5	7,5
CHSK celk.	kg . m ⁻³	3,96	3,99	2,8	2,86
CHSK rozp.	kg . m ⁻³	3,52	3,32	2,53	2,35
susp. látky	kg . m ⁻³	0,406	0,44	0,305	0,200
Účinnost:					
celková CHSK	%	61,7	60,0	77,0	76,5
rozpuštěná CHSK	%	65,9	66,7	79,2	80,7

Pozn. *) průměrné hodnoty ze tří paralelně provozovaných reaktorů

nem, zčásti se slučuje s přítomnými kationty těžkých kovů na nerozpustné sulfidy a zčásti zůstává v roztoku ve formě komplexních sulfidů. Z bilance vyplynulo, že 97,4 % přítomných síranů bylo odstraněno, z toho 28,3 % přešlo do bioplynu ve formě H_2S .

Laboratorní i poloproduční pokusy prokázaly výhodnost náplně z pálené hlíny. Tento druh nosiče se vyznačuje porézním povrchem s dobrou přilnavostí k biofilmu.

Ekonomika anaerobních čistících procesů

Anaerobní čištění odpadních vod se řadí mezi technologie s nízkou energetickou náročností. Porovnání nákladů na anaerobní čistírenské procesy je obtížné. Ekonomiku procesu je nutno posuzovat komplexně v celém kontextu místních podmínek. Náklady vždy závisí na druhu a koncentraci odpadních vod, na zvoleném způsobu čištění (typ reaktoru apod.), na způsobu předčištění a dočištění odpadních vod, způsobu využití bioplynu apod.

V mnoha studiích bylo prokázáno, že anaerobní postupy jsou obecně výhodnější pro zpracování odpadních vod o koncentraci nad 2 g.l^{-1} CHSK. Je výhodné jejich použití zejména pro odpadní vody o vyšší teplotě a použití jako stupeň předčištění odpadních vod před aerobním čištěním. V těchto případech jsou vždy náklady na odstranění jednotkového množství znečištění nižší než při aerobních procesech.

ZÁVĚR

Na laboratorních a poloprodučních modelech anaerobních biofilmových reaktorů bylo prokázáno, že odpadní vody z výroby droždí lze čistit anaerobním způsobem při dosažení vysoké účinnosti čištění. Specifická produkce bioplynu se pohybuje v rozmezí $0,48\text{--}0,65 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ vztaženo na odstraněnou CHSK. Pokusy prokázaly vysokou provozní stabilitu a malou citlivost anaerobních reaktorů vůči změnám provozních podmínek.

Literatura

- [1] YOUNG, J. C. and Mc CARTY, P. L.: Proc. 22nd Purdue Indust. Waste Conf., 1967, s. 559—574.
- [2] LETTINGA, G. AT AL.: Biotech. Bioeng., 1980, 22, 699—734.
- [3] VAN DEN BERG, C. and LENTZ, C. P.: Proc. 34th Purdue Indust. Waste Conf., 1979, 319—325.
- [4] COLLIERAN E. AT AL.: Proc. 3rd Inter. Symp. on Anaer. Diges., Boston, August 1983.
- [5] DOHÁNYOS, M., ZÁBRANSKÁ J.: Seminář ČSVTS „Možnosti energetických úspor na ČOV“, 24.—25. října 1984, Pec pod Sněžkou.

Dohányos, M. - Martan, P. - Zábranská, J.: Biofilmové anaerobní reaktory pro čištění odpadních vod z droždíren. Kvas. prům. 31, 1985, č. 7—8, s. 170—172.

Byly provedeny laboratorní a poloproduční pokusy čištění odpadních vod z droždíren na biofilmových anaerobních reaktorech. Cílem bylo stanovení vhodného rozsahu základních technologických parametrů.

Reaktory vykazují vysokou provozní stabilitu i vysokou čistící účinnost. Specifická produkce bioplynu pro daný substrát o koncentraci $10\text{--}15 \text{ g.l}^{-1}$ je $0,53 \text{ l.g}^{-1}$ CHSK, obsah methanu v bioplynu 83 % při účinnosti čištění $65\text{--}80 \%$ vztaženo na CHSK, s dobou zdržení $1,5\text{--}4$ dny.

Доганьюш, М. — Мартан, П. — Забранска, Я.: Биопленочные анаэробные реакторы для очистки сточных вод дрожжевых фабрик. Квас. прум. 31, 1985, № 7—8, стр. 170—172.

V laboratorních i poluzavodských podmínkách byla studována čistota stочных вод дрожжевых фабрик в биопленочных анаэробных реакторах. Целью изучения было определение подходящего диапазона основных технологических параметров.

Лабораторные и полузаводские реакторы проявляют большую устойчивость при эксплуатации и высокую эффективность при очистке. Удельное производство биогаза для данного субстрата концентрации $10\text{--}15 \text{ г.л}^{-1}$ ХПК представляет $0,53 \text{ л.г}^{-1}$ ХПК, содержание метана в биогазе 83 % при эффективности очистки $65\text{--}80 \%$ относительно ХПК и при времени задержки $1,5\text{--}4$ дня.

Dohányos, M. - Martan, P. - Zábranská, J.: Biofilm Anaerobic Reactors for Yeast-Plant Waste-Water Treatment. Kvas. prům. 31, 1985, No. 7—8, pp. 170—172.

Biofilm anaerobic reactors were used for laboratory and pilot plant experiments with the treatment of yeast-plant waste waters. The aim was to determine an appropriate range of fundamental technological parameters.

The reactors showed a high operating stability and treatment efficiency. For a substrate concentration of $10\text{--}15 \text{ g.l}^{-1}$, the values found were as follows: biogas specific production — $0,53 \text{ l.g}^{-1}$ COD; methane content in biogas — 83 %; COD treatment efficiency — $65\text{--}80 \%$; retention time — $1,5\text{--}4$ days.

Dohányos, M. - Martan, P. - Zábranská, J.: Anaerobe Biofilm-reaktore zur Reinigung von Hefefabrikabwässern. Kvas. prům. 31, 1985, Nr. 7—8, S. 170—172.

Es wurden labormäßige und halbtechnische Versuche mit der Reinigung von Hefefabrikabwässern an anaeroben Biofilmreaktoren durchgeführt. Dadurch konnte der geeignete Bereich von technologischen Grundparametern bestimmt werden.

Die labormäßigen und halbtechnischen Reaktoren zeigten eine hohe Betriebsstabilität und einen hohen Wirkungsgrad der Reinigung. Die spezifische Biogasproduktion für das gegebene Substrat mit einer CSB-Konzentration von $10\text{--}15 \text{ g.l}^{-1}$ betrug $0,53 \text{ l.g}^{-1}$ (bezogen zu CSB), der Methangehalt im Biogas erreichte 83 % bei einem Wirkungsgrad der Abwasserreinigung $65\text{--}80 \%$ bezogen zu CSB und einer Verweilzeit von 1,5 bis 4 Tagen.