

Rafał RAKOCZY, Stanisław MASIUK, Marian KORDAS, Przemysław GRĄDZIK

e-mail: rrakoczy@zut.edu.pl

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Analiza wpływu wirującego pola magnetycznego na proces napowietrzania ścieków

Wprowadzenie

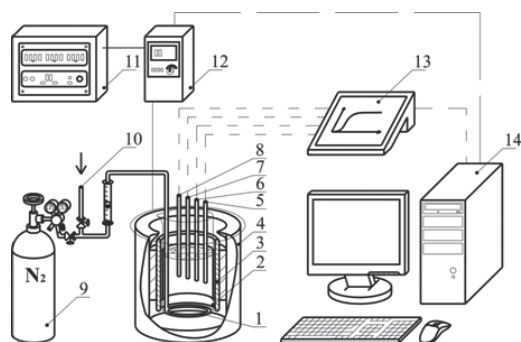
Wybór odpowiedniej metody do oczyszczania ścieków jest wyjątkowo trudny. W powszechnie spotykanych oczyszczalniach ścieków stosuje się zazwyczaj dwustopniowy proces mechaniczno-biologiczny. W biologicznych metodach oczyszczania ścieków wykorzystuje się procesy aerobowe realizowane przy udziale mikroorganizmów. W efektywnie funkcjonującej oczyszczalni ścieków kluczowym elementem jest odpowiednie zasilenie zawiesiny osadu czynnego w substancje odżywcze oraz tlen. Wymaga to zastosowania odpowiednich systemów napowietrzania ścieków, a ich duża różnorodność stwarza trudności w wyborze optymalnych sposobów napowietrzania [1, 2].

Problematyka napowietrzania ścieków oraz wytworzenia warunków turbulentnych, usprawniających proces dyfuzji tlenu do ścieków, za pomocą mieszalników mechanicznych jest szeroko dyskutowana w literaturze przedmiotu [3–6]. Pomimo dość dobrze opisanego problemu wymiany masy w układach ciecz – gaz, można zaobserwować prace badawcze proponujące zastosowanie oddziaływań sił zewnętrznych (np. pól elektrycznych i magnetycznych) do intensyfikacji procesów natleniania [7, 8].

Problematyka wpływu wirującego pola magnetycznego na kinetykę napowietrzania ścieków nie była analizowana w literaturze. Dlatego też, celowym wydaje się wykonanie serii badań mających na celu przeanalizowanie oraz potwierdzenie wpływu tego typu pola na współczynniki wnikania masy dla procesu napowietrzania.

Aparatura doświadczalna i procedura pomiarowa

Prace eksperymentalne wykonano wykorzystując aparaturę doświadczalną, przedstawioną na rys. 1.



Rys. 1. Aparatura doświadczalna: 1 – bełkotka, 2 – szklana zlewka, 3 – uzwojenie czołowe stojana, 4 – płaszcz, 5 – tlenomierz COG-1, 6 – sonda konduktometryczna, 7 – sonda pH, 8 – termometr, 9 – butla z gazem, 10 – wlot sprężonego powietrza, 11 – skrzynka zasilająca, 12 – przetwornik częstotliwości, 13 – wielofunkcyjne urządzenie pomiarowe CX-701, 14 – komputer

Dokładny opis instalacji badawczej został zamieszczony w pracy [9]. W pierwszym etapie prac badawczych, w celu usunięcia tlenu z układu poddawanego oddziaływaniom wirującego pola magnetycznego, przepuszczano przez niego azot techniczny z butli. Po wyparciu tlenu do minimalnego stężenia przestawiano zawory oraz uruchamiano aparaturę pomiarową w celu zarejestrowania zmian stężenia tlenu w czasie. Dodatkowo podczas pomiarów rejestrowano zmiany temperatury, przewodności elektrycznej oraz *pH*. Prędkość liniowa przepływającego gazu oraz pulsacja wirującego pola magnetycznego zmieniała się odpowiednio w zakresach: $w_{og} \in \langle 0,0013; 0,0083 \text{ ms}^{-1} \rangle$ i $\omega_{WPM} \in \langle 6,28; 314 \text{ rads}^{-1} \rangle$.

Zdecydowano się przeprowadzić prace doświadczalne napowietrzania ścieku surowego, ścieku po I^o (mechanicznym) i II^o (biologicznym) stopniu oczyszczania pozyskanych z funkcjonującej oczyszczalni ścieków oraz wody wodociągowej i sztucznego ścieku.

Ściek surowy uzyskano z funkcjonującej oczyszczalni Pomorzany w Szczecinie (odczyn *pH* ok.7; zawiesina 250–300 mg·dm⁻³; BZT₅ 190–300 mg O₂·dm⁻³; ChZT 330–550 mg·dm⁻³; azot całkowity 25–40 mg N·dm⁻³; fosfor całkowity 7–300 mg P·dm⁻³). Z oczyszczalni tej pobrano również do badań próbki ścieku odpowiednio po I^o i II^o oczyszczania.

Zdecydowano się przeanalizować wpływ wirującego pola magnetycznego na proces napowietrzania tzw. „sztucznego ścieku”. Ściek ten przygotowuje się przez rozpuszczenie odpowiednich substancji w 1 dm³ wody (C₆H₁₂O₆ – 10 g; ekstrakt z drożdży – 1 g; KH₂PO₄ – 0,35 g; Na₂HPO₄ – 1,825; (NH₄)₂SO₄ – 0,244 g; NaCl – 0,015 g; CaCl₂·2H₂O – 0,0198; MgSO₄ – 0,0614 g; FeCl₂·4H₂O – 0,032 g). Dokładna procedura przygotowania oraz charakterystyka „sztucznego ścieku” została przedstawiona w pracy [10]. Jako ciecz roboczą zastosowano również wodę wodociągową dostarczaną przez ZWiK Szczecin sp. z o.o. (główne parametry dla wody pitnej w Szczecinie: twardość ogólna – 210–280 mg CaCO₃·dm⁻³; twardość węglanowa 120–160 mg CaCO₃·dm⁻³; żelazo ogólne 0,01–0,2 mg·dm⁻³; chlorki 50–58 mg·dm⁻³; azotyny ok. 0,003 mg·dm⁻³; azotany 1,5–2,5 mg·dm⁻³; zasadowość ogólna 2,0–2,5 mg·dm⁻³; siarczany 90–98 mg·dm⁻³; fosfor ogólny 0,01–0,09 mg·dm⁻³; wapń 71–75 mg·dm⁻³; sód 25–28 mg·dm⁻³; potas 6–8 mg·dm⁻³; magnez 15–17 mg·dm⁻³).

Wartości liczbowe objętościowego współczynnika wnikania masy w fazie ciekłej ($k_L a$) wyznaczono w oparciu o procedurę podaną w pracy [11].

Opracowanie i omówienie uzyskanych rezultatów

W przypadku określonego mieszalnika i konkretnego układu gaz – ciecz objętościowy współczynnik wnikania masy w fazie ciekłej zależy głównie od następujących zmiennych

$$k_L a = f(m, w_{og}) \quad (1)$$

lub

$$k_L a = f\left(\frac{P}{V_L}, w_{og}\right) \quad (2)$$

gdzie:

 n – częstość obrotów mieszadła, [s⁻¹]; w_{og} – prędkość liniowa gazu, [m·s⁻¹]; P/V_L – jednostkowa moc mieszania, [W·m⁻³].

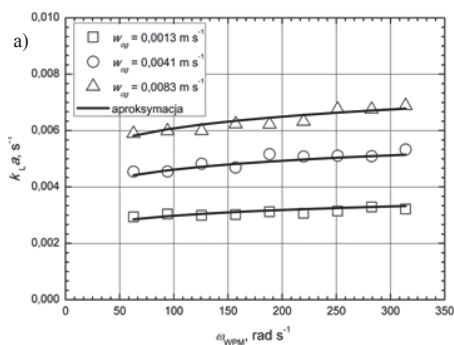
W przypadku prac badawczych związanych z analizą wpływu wirującego pola magnetycznego na proces napowietrzania zdecydowano, że współczynnik wnikania masy w fazie ciekłej zależy przede wszystkim od pulsacji wirującego pola magnetycznego (ω_{WPM}) i prędkości liniowej dla przepływającego powietrza (w_{og})

$$k_L a = f(\omega_{WPM}, w_{og}) \quad (3)$$

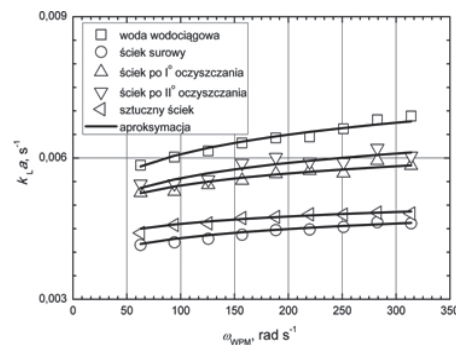
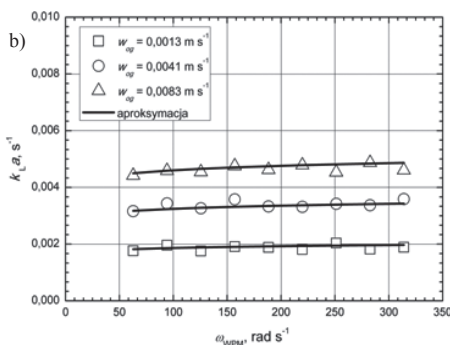
Na rys. 2 przedstawiono przykładowe zmiany współczynnika ($k_L a$) w funkcji pulsacji wirującego pola magnetycznego uzyskane dla wody kranowej (Rys. 2a) i sztucznego ścieku (Rys. 2b) przy zmieniającej się prędkości liniowej powietrza.

Uzyskane współczynniki wnikania masy dla przebadanych w niniejszej pracy cieczy opisano analitycznie za pomocą zależności:

$$k_L a = p_1(w_{og})^{p_2}(\omega_{WPM})^{p_3} \quad (4)$$



Rys. 2. Przykładowe zależności $k_L a = f(\omega_{WPM})$ a) woda kranowa, b) sztuczny ściek



Rys. 3. Przykładowe zależności $k_L a = f(\omega_{WPM})$ uzyskane dla prędkości liniowej gazu $w_{og} = 0,0083 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Parametry równania (4) zestawiono w tab. 1.

Tab. 1. Zestawienie wartości liczbowych parametrów $p_1 - p_3$ równania (4)

| Ciecz | p_1 | p_2 | p_3 | ŚBWP |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------|
| woda kranowa | 0,0265 | 0,3978 | 0,0947 | 0,3049% |
| ściek surowy | 0,0425 | 0,5388 | 0,0631 | 0,4173% |
| ściek po I° oczyszczania | 0,0494 | 0,5247 | 0,0661 | 0,4551% |
| ściek po II° oczyszczania | 0,0245 | 0,3874 | 0,0816 | 0,6796% |
| sztuczny ściek | 0,0413 | 0,5043 | 0,0484 | 0,9048% |

ŚBWP – średni błąd względny procentowy

Na rys. 3 przedstawiono przykładowe porównanie uzyskanych wartości współczynnika $k_L a$ w funkcji ω_{WPM} dla różnych cieczy przy prędkości liniowej gazu $w_{og} = 0,0083 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zaprezentowane na tym rysunku linie ciągłe, aproksymujące obliczone wartości współczynnika $k_L a$, otrzymano stosując proponowaną zależność (4).

Jak można zauważyć, różnice między wartościami objętościowego współczynnika wnikania masy uzyskanymi dla różnego typu cieczy są znaczące. Współczynnik ten zależy przede wszystkim od prędkości liniowej przepływającego przez płyn gazu oraz pulsacji wirującego pola magnetycznego. Porównując uzyskane wyniki zaprezentowane na rysunku 3 widać wyraźnie, że przy napowietrzaniu surowego i sztucznego ścieku wartości współczynników $k_L a$ są znacznie niższe niż dla ścieków po I° i II° stopniu oczyszczania oraz wody kranowej. Jest to spowodowane obecnością materii żywej oraz innego typu czynników wywołujących obniżenie wartości współczynników $k_L a$. Wartości te rosną wraz z pulsacją wirującego pola magnetycznego, co świadczy o wpływie tego typu oddziaływania zewnętrznego na proces napowietrzania.

W obliczeniach praktycznych stosuje się uniwersalny wskaźnik α zdefiniowany w następujący sposób [3]:

$$\alpha = [(k_L a)_{\text{ściek}}] / [(k_L a)_{\text{woda kranowa}}]^{-1} \quad (5)$$

Jest on powszechnie stosowany w obliczeniach praktycznych oraz umożliwia bezpośrednie porównanie różnych metod realizowania procesów oczyszczania ścieków. Utylitarność faktora α umożliwia również przedstawianie jego zmian w funkcji parametrów procesowych. Jest to szczególnie przydatne w poszukiwaniu optymalnych metod usuwania zanieczyszczeń ciekłych.

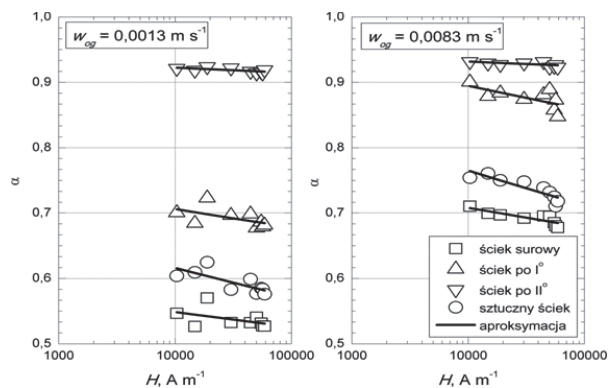
Przykładowe obliczone wartości współczynnika α zaprezentowano jako punkty na rys. 4. Zdecydowano się, że wartości α zostaną przedstawione w funkcji natężenia uzyskiwanego wirującego pola magnetycznego. Procedura pomiaru oraz określenia wartości H została szczegółowo omówiona w pracy [12]. Przedstawiony na tym rysunku rozrzut punktów został określony równaniem

$$\alpha = p_4(H)^{p_5} \quad (6)$$

W tab. 2 zestawiono wartości liczbowe parametrów p_4 i p_5 dla linii zaprezentowanych na rys. 4. Jak widać na rys. 4, natężenie wirującego pola magnetycznego odgrywa znaczącą rolę przy napowietrzaniu ścieków. Analizując wartości wykładnika p_5 zależności (5) można zauważyć, że maleją one wraz ze zwiększeniem stopnia oczyszczania analizowanej cieczy. Może to świadczyć o większym wpływie wirującego

Tab. 2. Zestawienie wartości liczbowych parametrów p_4 i p_5 równania (6)

| $w_{og} [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ | Parametr | Ciecz | | | |
|---------------------------------------|----------|--------------|--------------------------|---------------------------|----------------|
| | | Ściek surowy | Ściek po I° oczyszczania | Ściek po II° oczyszczania | Sztuczny ściek |
| 0,0013 | p_4 | 0,6599 | 0,8297 | 0,9545 | 0,8296 |
| | p_5 | -0,0184 | -0,0175 | -0,0037 | -0,0323 |
| 0,0083 | p_4 | 0,8429 | 1,0581 | 0,9624 | 1,0208 |
| | p_5 | -0,0189 | -0,0182 | -0,0035 | -0,0313 |



Rys. 4. Przykładowe zależności $\alpha = f(H)$

pola magnetycznego na proces napowietrzania cieczy zawierających rozpuszczone substancje organiczne i nieorganiczne.

Podsumowanie i wnioski

Głównym celem niniejszej pracy było zaprezentowanie wyników badań doświadczalnych dotyczących wpływu wirującego pola magnetycznego na proces napowietrzania różnego typu cieczy. Analiza uzyskanych wartości współczynników $k_L a$ oraz współczynnika α potwierdza zintensyfikowanie procesu napowietrzania przy wzroście oddziaływania wirującego pola magnetycznego.

LITERATURA

- [1] R. Zarzycki, M. Imbierowicz, M. Stelmachowski: Wprowadzenie do inżynierii środowiska. WNT, Warszawa 2007.
- [2] J. Suschka, J. Zieliński, E. Glajcar: Urządzenia do natleniania ścieków. Podstawy teoretyczne i projektowanie. Arkady, Warszawa 1979.
- [3] J. Mueller, W. Boyle, H. J. Pöpel: Aeration: Principle and Practice. CRC Press, New York 2002.
- [4] M. Henze, P. Harremoës, E. Arvin, J. le Cour Jansen: Wastewater Treatment. Biological and Chem. Processes. Springer, Heidelberg 2002.
- [5] J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych. WNT, Warszawa 2004.
- [6] F. Strępek: Mieszanie i mieszalniki. WNT, Warszawa 1981.
- [7] A. Tomska, L. Wolny: Destilacja **222**, 368 (2008).
- [8] S. Hattori, M. Watanabe, T. Endo, H. Togii, K. Sasaki: World Journal of Microbiology and Biotechnology **17**, 279 (2001).
- [9] R. Rakoczy, S. Masiuk: Chem. Eng. Science **66**, 11, 2298 (2011).
- [10] H. Yavuz, S. Çelebi: Enzyme & Microbial Technology **26**, 1, 22 (2000).
- [11] M. Zlokarnik: Stirring. Theory and Practice. Wiley, Weinheim 2001.
- [12] R. Rakoczy: Powder Technology **201**, 161 (2010).