

Szymon MODELSKI¹, Andrzej KOŁTUNIEWICZ², Anna WITEK-KROWIAK¹, Roman G. SZAFRAN¹

e-mail: szymon.modelski@pwr.wroc.pl

¹ Zakład Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska, Wrocław² Zakład Biotechnologii i Inżynierii Bioprosesowej, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Kinetyka absorpcji lotnych związków organicznych LZO w kapilarnym kontaktorze membranowym

Wstęp

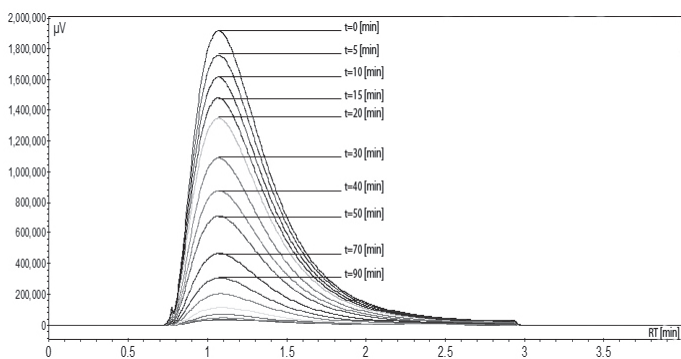
Oczyszczanie gazów procesowych i powietrza stanowi istotny aspekt działań zmierzających do ograniczenia emisji zanieczyszczeń do środowiska. Kluczowym zagadnieniem dla rozwiązania w/w problemu jest nowych rozwiązań procesowych i aparaturowych w zakresie wychwytu zanieczyszczeń ze strumieni gazu. Poniższa praca przedstawia wyniki badań nad absorpcją lotnych związków organicznych (LZO) z wykorzystaniem kapilarnego kontaktora membranowego.

Kontaktory membranowe mają kilka istotnych zalet, do których zaliczają się: duża i ustalona powierzchnia kontaktu faz, niezależny przepływ faz oraz modułowy charakter. Pierwsze zastosowania absorpcji membranowej związane były z badaniami nad sztucznym płucem [1], dalsze badania zorientowane były na zastosowania przemysłowe w usuwaniu dwutlenku węgla, dwutlenku siarki, siarkowodoru, chloru, par rtęci oraz lotnych związków organicznych (LZO) [2, 3]. Obszerny przegląd na temat kontaktorów membranowych można znaleźć w pracach Sirkara [4], Gabelmana [5] i Driolego [6]. WzmóŜona emisja LZO towarzysząca przetwarzaniu i eksploatacji rozpuszczalników organicznych, tworzyw sztucznych i paliw kopalnych stanowi problem w obliczu niskich limitów emisji. Do rodziny LZO zaliczają się między innymi takie substancje jak akrylonitryl, acetonitryl, aceton, BETX czy metan. Praca przedstawia wyniki badań nad kinetyką procesu absorpcji acetonu, który zalicza się do rodziny LZO o charakterze polarnym.

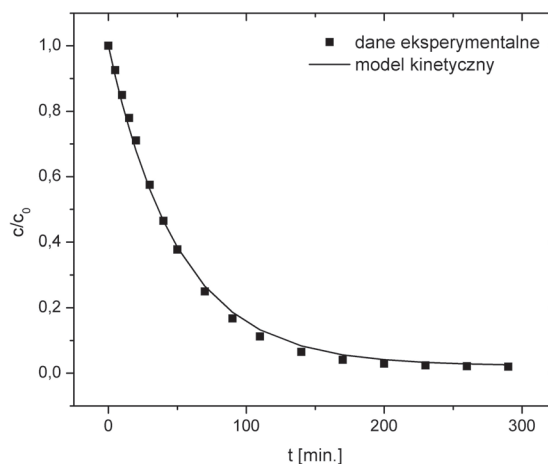
Badania eksperymentalne

Metodyka prowadzenia badań

Do prowadzenia badań kinetycznych wykorzystano instalację zapewniającą recyrkulację gazu i cieczy. Kontaktor membranowy stanowił moduł ($L = 0,63$ [m]) zawierający 5 porowatych kapilar polipropylenowych ($d_z = 2,4 \cdot 10^{-3}$ [m], $d_w = 1,8 \cdot 10^{-3}$ [m]). Cieczą chłonną była woda destylowana. Badania prowadzone były w trybie szarżowym z pełną recyrkulacją gazu i cieczy. W czasie trwania procesu określano stężenie acetonu w gazie za pomocą chromatografu gazowego Varian 3800 z detektorem FID i automatycznym układem poboru próbki. Przykładowe wyniki analiz przedstawiono na rys. 1. Stężenie początkowe acetonu w gazie wynosiło $\sim 3\%$ [v/v]. Po zakończeniu procesu analizie chromatograficznej poddawano próbkę wody w celu sprawdzenia bilansu procesu. Błąd bilansu masy nie przekraczał 5%.



Rys. 1. Zestawienie chromatogramów dla pojedynczego eksperymentu

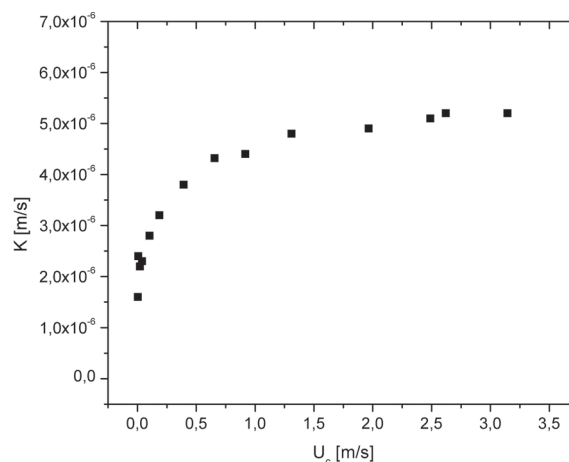
Rys. 2. Zmiana stężenia acetonu w gazie w czasie trwania procesu $U_g = 0,41$ [m/s], $U_c = 2,62$ [m/s]. Parametry krzywej regresji $K = 5,2 \cdot 10^{-6}$ [m/s], $H = 1,79 \cdot 10^{-3}$ [m/s]

Otrzymane kinetyki posłużyły do wyznaczenia współczynników przenikania masy K oraz stałej Henry'ego H dla badanego układu (Rys. 2).

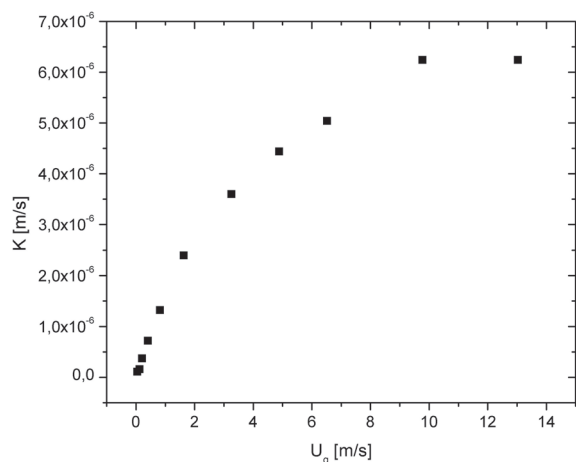
Wyniki badań

Przeprowadzono 4 serie badań w różnych konfiguracjach aparatu, dla szerokiego zakresu prędkości przepływu gazu i cieczy. Rys. 3 i 4 przedstawia wyniki serii pomiarowych dla różnych prędkości przepływu wody wewnątrz kapilar (stała prędkość przepływu gazu w części płaszczowej) oraz różnych prędkości przepływu gazu w części płaszczowej (stała prędkość przepływu wody w kapilarach).

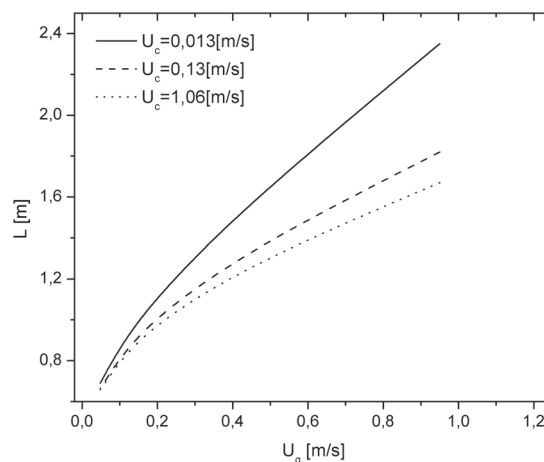
Wzrost prędkości przepływu cieczy ma wyraźny wpływ na wzrost współczynnika przenikania masy do prędkości ~ 1 [m/s]. Podobnie wzrost prędkości przepływu gazu w ograniczonym zakresie powoduje wzrost współczynnika przenikania masy. Ma to związek z występowaniem zjawiska polaryzacji stężeniowej przy powierzchni membrany, którego udział w całkowitym oporze przenikania masy maleje ze wzrostem burzliwości przepływu.



Rys. 3. Wpływ prędkości przepływu cieczy na współczynnik przenikania masy (przepływ cieczy wewnątrz kapilar)



Rys. 4. Wpływ prędkości przepływu gazu na współczynnik przenikania masy (przepływ gazu w części płaszczowej)

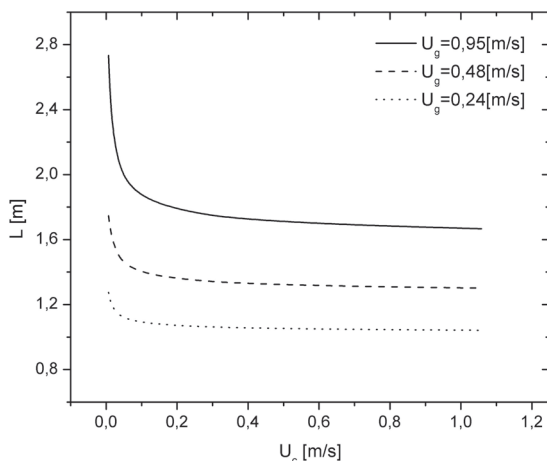


Rys. 6. Wpływ prędkości przepływu gazu na długość absorbera dla różnych prędkości przepływu cieczy

Uzyskane wyniki pozwalają wyznaczyć optymalne parametry procesu absorpcji membranowej dla wybranych LZO (polarnych), a co za tym idzie określić wymiary i koszt aparatu. W oparciu o uzyskane dane, wykorzystując metodę *Wilsona* określono wpływ prędkości przepływu mediów na współczynniki wnikania masy po stronie gazu i cieczy, ponadto określono średni dyfuzyjny opór membrany.

W oparciu o wyprowadzone zależności postaci $Sh = AR e^b Sc^c$ [7] określono wpływ parametrów procesowych na wymiary aparatu z wykorzystaniem metody *Colburna* [8], przy założeniu 90% stopnia oczyszczenia.

Na rys. 5 przedstawiono zależność długości aparatu od prędkości przepływu cieczy dla trzech prędkości przepływu gazu. Zwiększanie prędkości przepływu cieczy powoduje skrócenie aparatu dzięki redukcji oporów transportu masy po stronie cieczy. Wyniki obliczeń wskazują na występowanie optymalnej prędkości powyżej której nie następuje wyraźna poprawa transportu masy.



Rys. 5. Wpływ prędkości przepływu cieczy na długość absorbera dla różnych prędkości przepływu gazu

Na rys. 6 przedstawiono zależność wysokości aparatu w funkcji prędkości przepływu gazu dla trzech prędkości przepływu cieczy. Przy usta-

łonej prędkości przepływu cieczy obserwuje się niemal liniowy wzrost wysokości aparatu ze wzrostem prędkości przepływu gazu.

Wnioski

Zaproponowany model i sposób prowadzenia pomiarów pozwolił na wykonanie badań w szerokim zakresie prędkości gazu i cieczy. Uzyskane wyniki wskazują na znaczny opór wnikania masy po stronie gazu, co związane jest z niską stałą *Henry'ego* układu opary acetonu/woda.

Wyznaczona długość absorbera membranowego, na poziomie 0,9–1,8 m dla prędkości przepływu cieczy powyżej 0,1 [m/s] i prędkości przepływu gazu w zakresie 0,2–1 [m/s] oraz przy 90% sprawności procesu, wskazuje na możliwość jego praktycznego wykorzystania w instalacjach oczyszczania powietrza. Rozwiązanie to przy swoich zaletach (niskie koszty eksploatacyjne i inwestycyjne – wykorzystanie tanich i powszechnie dostępnych membran polipropylenowych, duża elastyczność i modułowa konstrukcja), stanowi realną alternatywę dla absorberów kolumnowych.

LITERATURA

- [1] *W.J. Federspiel, T.J. Hewitt, M.S. Hout, F.R. Walters*: ASAIO J. 42, 1996, M435–M442.
- [2] *T.K. Podar, S. Majumdar, K.K. Sirkar*: J. Membrane Sci., 221, (1996).
- [3] *K. Simons, K. Nijmeijer, M. Wessling*: J. of Membrane Science 340, 214, (2009).
- [4] *K.K. Sirkar*: Membrane Handbook, 885-912, Chapman and Hall, New York, 1992.
- [5] *A. Gabelman, S.T. Hwang*: J. Membrane Sci., 159, 61 (1999).
- [6] *E. Drioli, A. Criscuoli, E. Curcio*: Membrane Science and Technology Series, 11, 2006.
- [7] *Sz. Modelski, A. Koltuniewicz, A. Witek-Krowiak*: Euromembrane 2009.
- [8] *W.R. Rousseau*: Handbook of Separation Process Technology, 340–4, A Wiley-Interscience publication, 1987.

Badania wykonane i finansowane w ramach projektu badawczego zamawianego Nr PBZ-MEiN-3/2/2006 pt.: Inżynieria procesów ograniczania emisji utylizacji gazów szkodliwych i ciepłarnianych oraz projektu GRANT (Kapitał Ludzki) Dolnośląskiego Urzędu Marszałkowskiego.