

KRZYSZTOF KUPIEC
JAN RAKOCZY

Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, Kraków

Badanie procesu regeneracji adsorbentu przez przedmuch gazem inertnym pod próżnią

Wprowadzenie

Początek przemysłowej produkcji biopaliw sięga lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Wiele krajów miało wtedy nadmierną produkcję rolniczą, a paliwa kopalne były wysoko opodatkowane. Ta sytuacja znacząco wpłynęła na rozwój produkcji biopaliw pierwszej generacji w tym bioetanolu produkowanego z surowców spożywczych, takich jak ziemniaki, zboża, kukurydza, buraki cukrowe, trzcina cukrowa. Obecnie, gdy wiele regionów świata cierpi na niedobór żywności produkcja biopaliw pierwszej generacji wydaje się nie być aż tak celowa. W wyniku stosowania do produkcji biopaliw surowców spożywczych ich ceny rynkowe znacznie wzrosły. Dlatego też coraz większym zainteresowaniem cieszą się biopaliwa drugiej generacji produkowane z produktów nieprzydatnych w przemyśle spożywczym. Do wytwarzania bioetanolu stosuje się np. drewno o niskiej wartości energetycznej i odpadowe, słomę, makuchy i inne odpady produkcji rolniczej np. melasę buraczaną, łodygi kukurydzy, trawy, lucerny oraz rośliny szybko rosnące [1]. Zaletami biopaliw drugiej generacji są: wyższa efektywność energetyczna, różnorodność surowcowa, brak konkurencji z produkcją żywności oraz większa redukcja emisji CO₂.

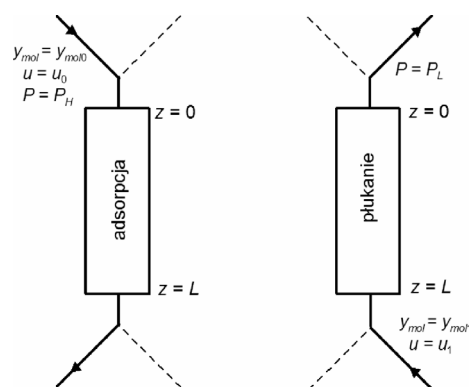
Drugim, obok rodzaju surowca, problemem przy produkcji etanolu jako biopaliwa jest jego odwadnianie. Najczęściej wodę z roztworów etanolu usuwa się adsorpcyjnie przy użyciu zeolitów, a regenerację adsorbentu prowadzi przez obniżenie ciśnienia. Szczególnie efektywne jest obniżenie ciśnienia całkowitego w połączeniu z przedmchem złoża czynnikiem inertnym (płukanie) [2, 3]. Taki proces prowadzi do efektywnej desorpcji wcześniej zaadsorbowanego składnika, niezbędnej do realizacji następnego cyklu.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań procesu adsorpcji zmiennociśnieniowej składającej się z dwóch etapów: adsorpcji pod ciśnieniem atmosferycznym i płukania prowadzonego pod obniżonym ciśnieniem. Celem pracy jest wyznaczenie i analiza profili zawartości wody w złożu adsorbentu po etapie płukania (regeneracji) złoża odwodnionym etanolem. Model matematyczny procesu przedstawiono m.in. w pracach [4–6].

Opis badań

Głównym elementem instalacji była kolumna adsorpcyjna o średnicy 13,6 mm wypełniona ziarnami zeolitu. Jako surowiec do adsorpcji był stosowany roztwór etanolu zawierający 24,2% molowych wody.

Podczas etapu adsorpcji dozowanie surowca odbywało się w kierunku z góry do dołu (Rys. 1). Roztwór przepływał przez ogrzewaną warstwę wypełnioną szklanymi pierścieniami,



Rys. 1. Schemat przepływu strumieni w badaniach laboratoryjnych

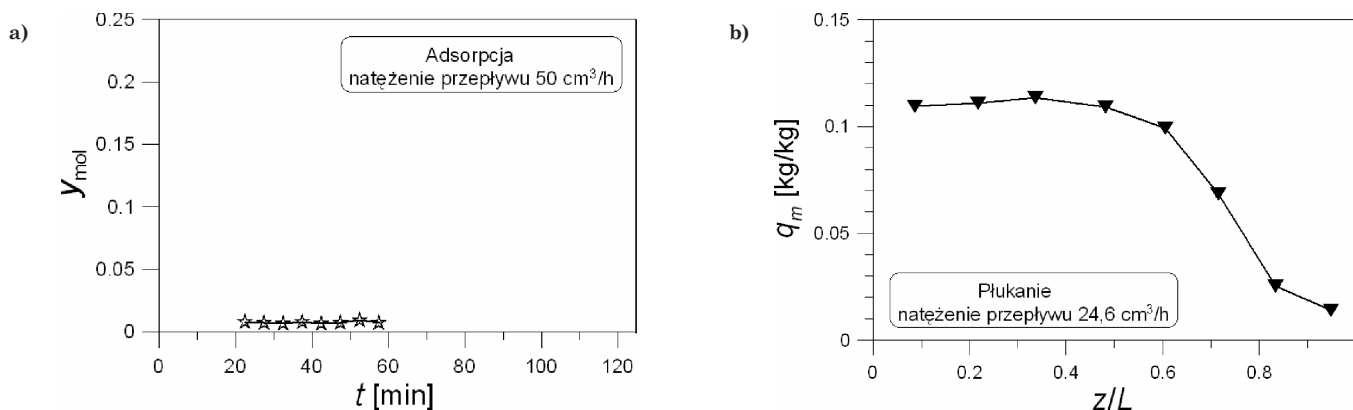
w której odparowywał. Podczas przepływu par etanolu i wody przez złożo zeolitowe adsorpcji ulegała tylko woda. Opuszczające kolumnę pary etanolu były skraplane a odwodniony etanol był gromadzony w odbieralniku. Stąd pobierano próbki do analizy chromatograficznej.

Regeneracja złoża następowała w etapie płukania. W tym etapie stosowano przedmuch złoża parami czynnika płuczącego, którym był bezwodny etanol. Podczas etapu płukania złoża przepływ par etanolu był w kierunku z dołu do góry (Rys. 1). Górny koniec kolumny był połączony z pompą próżniową. Zarówno podczas etapu adsorpcji jak i płukania temperatura w kolumnie adsorpcyjnej wynosiła 100°C.

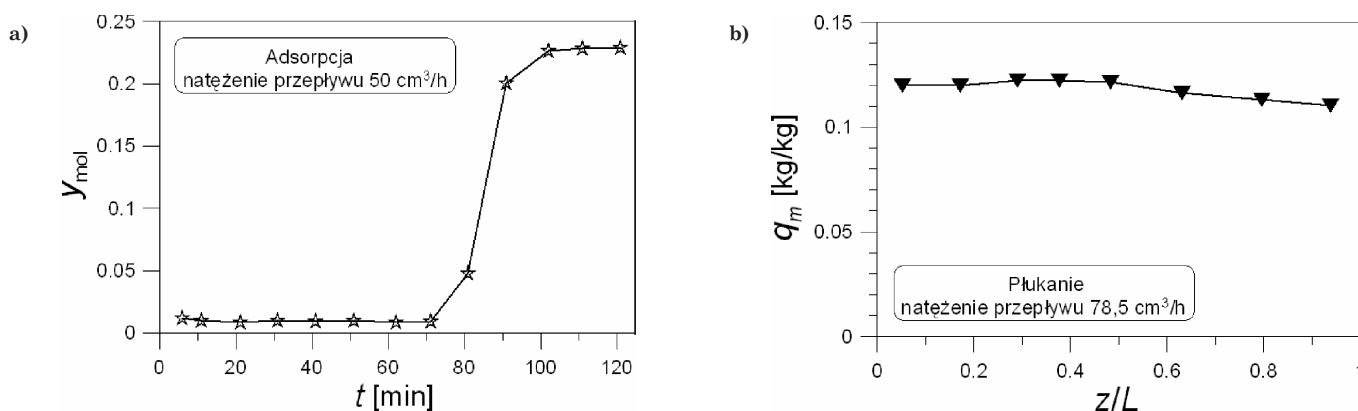
Po zakończonym etapie płukania pompę próżniową odłączano i wymontowywano kolumnę z instalacji. Następnie zeolit z kolumny adsorpcyjnej wysypywano do kilku (6–8) naczynek wagowych, starając się zachować współmierne ilości zeolitu. Po zważeniu zeolit prażono przez 3 godziny w temperaturze 375°C. Po ochłodzeniu frakcje zeolitu ponownie wazono uzyskując masy adsorbentu całkowicie pozbawionego wody. Różnica masy zeolitu przed i po prażeniu określała ilość wody, która pozostawała w ziarnach zeolitu po ostatnim etapie cyklu adsorpcyjno-desorpcyjnego.

Omówienie wyników pomiarów

Wyniki pomiarów przedstawiono graficznie. Rys. 2a dotyczy adsorpcji prowadzonej przez 67 minut przy natężeniu przepływu surowca 50 cm³/h (I seria pomiarowa). W tych warunkach nie osiągnięto przebiccia złoża. Po adsorpcji prowadzono przez 20 minut płukanie złoża przy natężeniu przepływu etanolu 24,6 cm³/h. Rys. 2b dotyczy profilu zawartości wody w złożu po etapie płukania. Kształt profilu pokazuje, że złożo zostało zregenerowane tylko w pobliżu wlotu czynnika płuczącego. Ponadto widoczny jest niewielki spadek za-



Rys. 2. Graficzne przedstawienie wyników I serii pomiarowej; a) krzywa wyjścia dla adsorpcji, b) profil zawartości wody w złożu po płukaniu



Rys. 3. Graficzne przedstawienie wyników II serii pomiarowej; a) krzywa wyjścia dla adsorpcji, b) profil zawartości wody w złożu po płukaniu

wartości wody w kierunku przepływu w pobliżu górnej części złoża związany ze stratami ciśnienia podczas przepływu fazy gazowej.

Na rys. 3a przedstawiono krzywą wyjścia dla adsorpcji prowadzonej przez 127 minut z natężeniem przepływu $50 \text{ cm}^3/\text{h}$ (II seria pomiarowa). Widać, że nastąpiło przebicie złoża i stężenie wody na wylocie zrównało się z wartością wlotową. Na tej podstawie można przyjąć, że po etapie adsorpcji złoże było całkowicie nasycone (co potwierdzono doświadczalnie w odrębnym pomiarze). Po adsorpcji przeprowadzono płukanie złoża. Czas płukania wynosił 15 minut, a natężenie przepływu etanolu płuczającego $78,5 \text{ cm}^3/\text{h}$. Na rys. 3b pokazano profil zawartości wody w złożu po zakończeniu płukania. Ze względu na dużą prędkość fazy gazowej przy płukaniu profil zawartości wody jest spłaszczony. Podobnie jak na rys. 2b widoczny jest efekt straty ciśnienia fazy gazowej.

Wnioski

W procesach adsorpcyjno-desorpcyjnych oprócz badań składu fazy gazowej celowe jest mierzenie zawartości adsorbowanego składnika w ziarnach adsorbentu. Wyniki takich

pomiarów mogą dostarczyć informacji przy weryfikacji modelu matematycznego procesu.

Otrzymane profile zawartości wody w złożu mają kształty zgodne z przewidywaniami.

Podczas płukania prowadzonego pod próżnią występuje znaczna różnica ciśnień pomiędzy wlotem i wylotem ze złoża. Ta różnica ma wpływ na siłę napędową przenoszenia masy i daje zauważalne efekty w kształtach profili zawartości adsorbowanego składnika w ziarnach.

LITERATURA

1. From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies, International Energy Agency, Nov. 2008.
2. J.M. Ruthven, S. Farooq, K.S. Knaebel: Pressure Swing Adsorption, VCH Publishers, New York 1994.
3. M. Simo, C.J. Brown, V. Hlavacek: Computers and Chemical Engineering, **32**, 1635 (2008).
4. K. Kupiec, J. Rakoczy, E. Zieliński, A. Georgiou: Adsorption Science and Technology, **26**, 209 (2008).
5. J. Rakoczy, K. Kupiec, E. Lalik: Polish Journal of Environmental Studies, 2009 (w druku).
6. K. Kupiec, J. Rakoczy, E. Lalik: Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2009 (w druku).