

DOROTA DOWNAROWICZ
ELŻBIETA GABRUŚ

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Odzyskiwanie alkoholi alifatycznych podczas desorpcji elektrotermicznej

Wprowadzenie

Bezpośrednie ogrzewanie rezystancyjne jest jedną z najbardziej efektywnych metod elektrotermicznej regeneracji zużytych węgli aktywnych. W wyniku przemiany energii elektrycznej w energię cieplną zachodzącej bezpośrednio w złożu adsorbentu następuje desorpcja uprzednio zaadsorbowanych w nim związków chemicznych. Proces ten prowadzony jest na ogół w otwartym układzie przepływu gazu obojętnego. Nie wielki strumień gazu (zazwyczaj azot) służy przede wszystkim do wymywania desorbowanej substancji ze złoża oraz zabezpiecza adsorbent przed możliwością jego zapalenia się. W wyniku desorpcji otrzymuje się skoncentrowaną mieszaninę parowo-gazową, z której łatwo jest odzyskiwać skropliny nawet bardzo lotnych składników [1].

W pracy przedstawiono wyniki badań nad odzyskiwaniem alkoholi alifatycznych o różnych klasach lotności (etanol, 2-propanol), które uprzednio zaadsorbowano na węglu aktywnym.

Metodyka i zakres wykonywanych badań

Badania nad desorpcją elektrotermiczną prowadzono na doświadczalnej instalacji adsorpcyjnej omówionej w pracy [2]. Separacja desorbowanego składnika od gazu wymywającego przebiegała w węźle kondensacji złożonym ze skraplacza spiralnego, termostatu cyrkulacyjnego FP 50ME (*Julabo*, Niemcy) oraz wagi AJ 620E (*Vibra*, Japonia). Poddawany separacji gaz przepływał przez spiralną rurkę skraplacza a czynnik chłodzący (olej silikonowy OM20) krążył w jego przestrzeni międzyrurowej. Do rejestracji ciągłej parametrów procesowych desorpcji (napięcie elektryczne, natężenie prądu, temperatura złoża) zastosowano specjalnie zaprojektowany układ pomiarowo-przetwarzający sterowany za pomocą programu *DasyLab*. Badania prowadzono w sposób cykliczny na węglu aktywnym *Sorbonorit 4* stosując jako adsorbent etanol lub 2-propanol. Etap adsorpcji prowadzony był do momentu całkowitego nasycenia złoża, przy czym stężenie wlotowe adsorbentu nie przekraczało 15 g/m^3 . W etapie desorpcji stosowano jednakowe nastawy parametrów regulacyjnych: temperatura 150°C , napięcie zasilające 30 V i strumień azotu $0,18 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Omówienie wyników

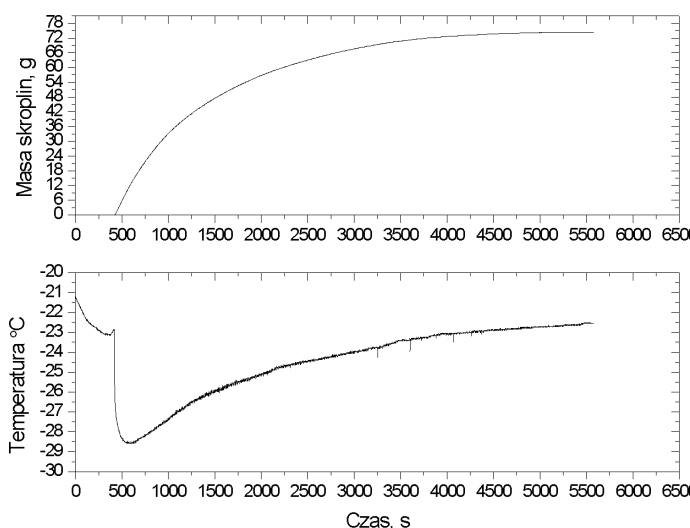
Zastosowane alkohole alifatyczne są polarnymi rozpuszczalnikami o zbliżonej temperaturze wrzenia. W temperaturze 20°C ciśnienia pary nasyconej etanolu i 2-propanolu wynoszą odpowiednio 5869 Pa i 4414 Pa , co odpowiada wartości koncentracji masowej około $0,11 \text{ kg/m}^3$. W celu ograniczenia strat desorbowanego rozpuszczalnika do poziomu poniżej 5%

wagowych, należy prowadzić kondensację w temperaturach poniżej -20°C . W tych warunkach stężenie obu alkoholi w gazie obojętnym na wylocie ze skraplacza nie przekracza $0,005 \text{ kg/m}^3$.

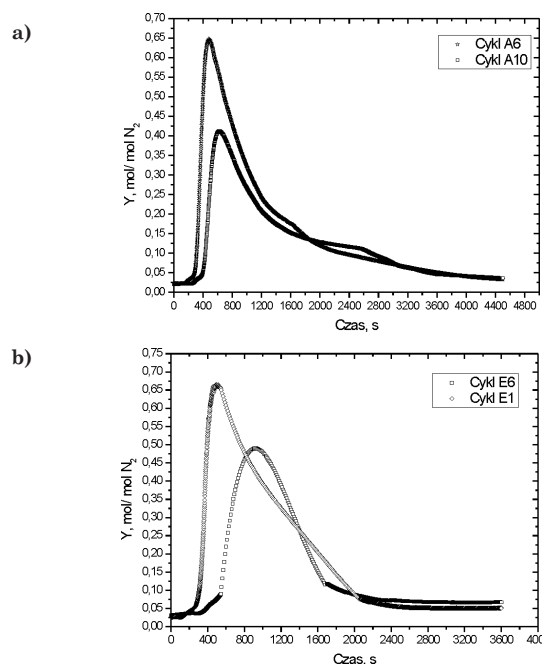
Na rys. 1 przedstawiono przykładową zależność ilości wytwarzanych skroplin od czasu i temperatury gazu na wylocie ze skraplacza dla cyklu A5. Jak wynika z przebiegu obu krzywych właściwy proces desorpcji zachodzi dopiero po kilku minutach od momentu rozpoczęcia doprowadzania energii elektrycznej do kolumny adsorpcyjnej. Podczas tego wstępnego okresu ciepło *Joule'a* zużywane jest głównie na podgrzanie adsorbentu do temperatury punktu wrzenia zawartego w nim adsorbentu. Dopiero potem następuje uwalnianie się par desorbowanego alkoholu a następnie ich kondensacja w skraplaczu. Widoczny na rysunku spadek temperatury płynu na wylocie ze skraplacza jest efektem zwiększonej pojemności cieplnej gazu w stosunku do czystego azotu na skutek obecności w nim znacznych ilości desorbowanego związku.

Na rys. 2 przedstawiono krzywe będące zależnością stężenia desorbatu (stosunek molowy) w gazie wylotowym z adsorbentu od czasu trwania procesu. Maksima tych krzywych przypadają na moment lawinowego uwalniania się desorbentu z całej objętości złoża, które zachodzi w początkowej fazie właściwej desorpcji.

Stężenia desorbowanego rozpuszczalnika przekraczają wówczas znacznie wartości jego prężności pary nasyconej w temperaturze, w której znajduje się przewód łączący kolumnę ze skraplaczem. Efektem tego jest wykraplanie się desorbentu na wewnętrznych ściankach tego przewodu. Z rys. 2 wynika, że przy tych samych nastawach parametrów regula-



Rys. 1. Zależność masy desorbowanego 2-propanolu od czasu i temperatury kondensacji



Rys. 2. Krzywe zależności stężenia desorbentu w gazie obojętnym od czasu desorpcji: a) 2-propanol; b) etanol

cyjnych desorpcji o stężeniu desorbentu w gazie na wylocie z kolumny decyduje zawartość zaadsorbowanego na węglu związku chemicznego, zależna od koncentracji adsorbentu w oczyszczanym powietrzu. W przypadku etanolu (Rys. 2b), który słabiej adsorbuje się na węglu aktywnym stężenie desorbentu osiąga szybciej poziom minimalny aniżeli dla 2-propanolu. Desorpcja trwa w tym przypadku krócej. Zaadsorbowane na węglu aktywnym cząsteczki 2-propanolu ze względu na swą rozgałęzioną strukturę trudniej jest, bowiem usunąć z powierzchni adsorbentu, przez co końcowy fragment krzywych z rys. 2b jest bardziej rozciągnięty. Do usunięcia szczytkowej zawartości adsorbentu konieczne jest, więc dłuższe prowadzenie procesu desorpcji, kosztem większego poboru energii elektrycznej. Przebieg krzywych z rys. 2 wskazuje też, że w wyniku obniżenia zawartości adsorbentu w węglu aktywnym wydłuża się czas rozpoczęcia właściwej desorpcji, niższe są też stężenia desorbentu w gazie wylotowym. Jak wskazują dane z tablicy 1 obniża się przez to sprawność wykrapalania desorbowanego składnika η_{skr} obliczanego jako iloraz masy skroplin i całkowitej masy zdesorbowanego składnika w czasie tego samego cyklu. Podczas obu serii pomiarowych utrzymywano jednakową temperaturę czynnika chłodzącego (-32°C) w skraplaczu. W przypadku cyklu E6 chcąc zwiększyć efektywność wykrapalania do poziomu 98% należałoby odpowiednio obniżyć temperaturę prowadzenia procesu wykrapalania.

Tablica 1
Wartości wskaźników efektywności procesu desorpcji dla układu etanol - Sorbonorit4

| Nr cyklu | C_{ads} [g/m ³] | η_{skr} [%] | η_{el} [kJ/mol] |
|----------|-------------------------------|------------------|----------------------|
| E1 | 8,4 | 98,4 | 151,3 |
| E3 | 6,4 | 98,1 | 175,9 |
| E4 | 5,0 | 98,1 | 188,1 |
| E6 | 2,8 | 96,8 | 235,4 |

W tablicy 1 podano też wartości wskaźnika efektywności energetycznej desorpcji η_{el} zdefiniowanego jako iloraz war-

tości pobranej energii elektrycznej E_{el} i liczby moli zdesorbowanego składnika n_{des} . Wartości tego wskaźnika wskazują, że im niższa jest początkowa zawartość etanolu w regenerowanym węglu aktywnym tym gorsza jest wydajność wewnętrznego źródła ciepła, co skutkuje pogorszeniem kinetyki desorpcji i wzrostem wartości wskaźnika η_{el} . Jak wynika z tablicy 2 sprawność wykrapalania 2-propanolu we wszystkich cyklach pomiarowych utrzymywała się na poziomie 99%. Wartości wskaźnika η_{el} dla 2-propanolu są znacznie mniej zależne od początkowej zawartości adsorbentu w węglu aktywnym niż w przypadku etanolu (Tabl. 1).

Tablica 2
Wartości wskaźników efektywności procesu desorpcji dla układu 2-propanol - Sorbonorit4

| Nr cyklu | C_{wlot} [g/m ³] | η_{skr} [%] | $\eta_{odz} = \frac{m_{skr}}{m_{ads}}$ [%] | $\eta_{el} = \frac{E_{el}}{n_{des}}$ [kJ/mol] |
|----------|--------------------------------|------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| A6 | 12,41 | 98,9 | 80,2 | 184,4 |
| A8 | 7,4 | 99,0 | 93,6 | 185,8 |
| A9 | 9,3 | 99,0 | 87,7 | 181,9 |
| A10 | 5,9 | 98,4 | 91,5 | 189,7 |

Rodzaj występujących oddziaływań pomiędzy molekułami alkoholu a powierzchnią węgla aktywnego wywiera znaczący wpływ na właściwości elektryczne adsorbentu, a przez to na ilość generowanego ciepła *Joule'a* w złożu ogrzewanym rezystancyjnie. W przypadku 2-propanolu, który wykazuje silniejsze powinowactwo względem węgla aktywnego, wydajność wewnętrznego źródła ciepła jest większa. Podane wartości wskaźnika η_{el} dotyczą desorpcji trwającej ten sam okres czasu jak dla etanolu (jedna godzina).

W tablicy 2 zamieszczono wartości wskaźnika stopnia odzysku η_{odz} zdefiniowanego jako iloraz masy odzyskanych skroplin m_{skr} w etapie desorpcji do masy zaadsorbowanego 2-propanolu m_{ads} w etapie adsorpcji tego samego cyklu. Przy odpowiednio dobranych parametrach procesowych desorpcji możliwe jest odzyskanie ponad 90% uprzednio zaadsorbowanego rozpuszczalnika. Wydłużając czasu trwania desorpcji można zwiększyć sprawność odzysku 2-propanolu, niestety zachodzi to kosztem znacznego pogorszenia wartości wskaźnika η_{el} , co analizowano w pracy [3].

Podsumowanie

O efektywności desorpcji elektrotermicznej decydują nie tylko zastosowane parametry regulacyjne tego procesu, ale również rodzaj i ilość zaadsorbowanego związku chemicznego w poprzedzającym go etapie adsorpcji. Fakt ten należy uwzględniać przy ustalaniu warunków wykrapalania odzyskiwanych składników z gazu po desorpcji.

LITERATURA

1. D. Downarowicz, E. Gabruś: Przemysł Chemiczny, **87**, 768 (2008).
2. D. Downarowicz, J. Nastaj: CHISA'2004, Proceedings, Paper: P 3. 169 (2004).
3. D. Downarowicz, J. Nastaj: Inż. Ap. Chem., **45**, nr 5s, 37 (2006).
4. K. Dombrowski, C. Lehmann, P. Sullivan.: J. Environ. Eng., **130**, 268 (2004).

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy własny nr N N208 2151 33.