

Wydział Chemii UMCS
Zakład Technologii Chemicznej

Ćwiczenie nr 24

Otrzymywanie etylenu z etanolu.

Lublin

4.4. Otrzymywanie etylenu z etanolu

4.4.1. Etylen – zastosowanie, metody otrzymywania

Etylen jest ważnym surowcem przemysłu chemicznego. Z etylenu otrzymuje się:

- 1) polimery etylenowe (LDPE, HDPE), kopolimery,
- 2) polichlorek winylu,
- 3) glikol etylenowy do produkcji poliestrów, syntetycznych detergentów, rozpuszczalników,
- 4) poliakrylonitryl,
- 5) aldehyd octowy, kwas i bezwodnik octowy, alkohole,
- 6) polistyren, kauczuki syntetyczne,
- 7) polioctan winylu,
- 8) chloroetany.

Głównymi metodami produkcji etylenu są:

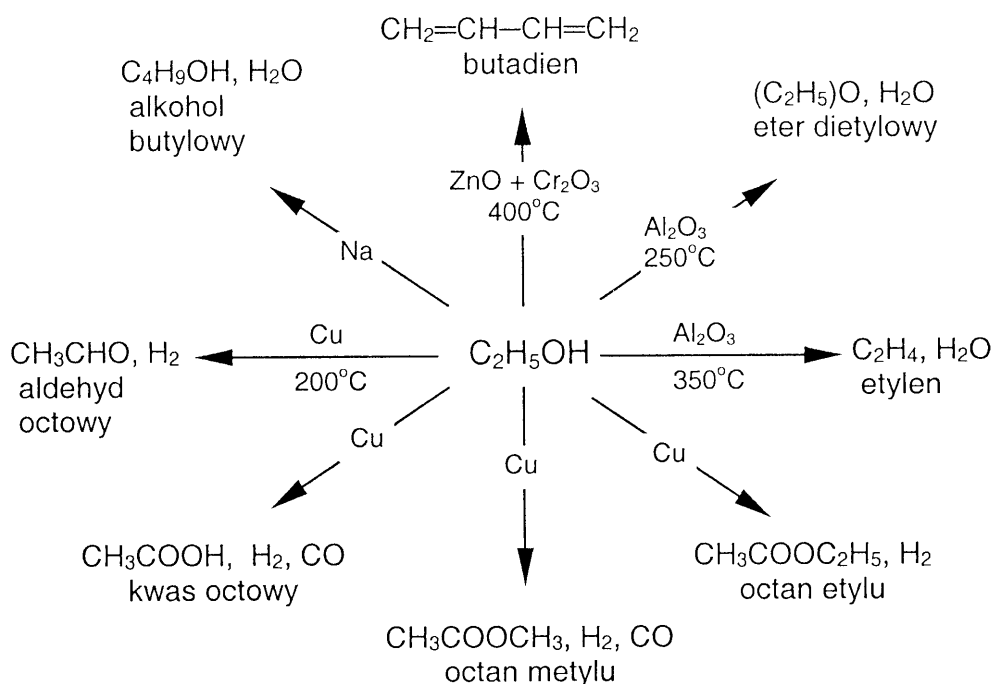
- 1) piroliza olefinowa
- 2) kraming katalityczny,
- 3) katalityczna dehydratacja etanolu,
- 4) wydzielanie z gazu koksowniczego.

Spośród wymienionych metod wytwarzania etylenu najważniejsze znaczenie mają procesy kramingu termicznego (pirolizy) frakcji rop naftowych lub gazów węglowodorowych. O sposobie produkcji decydują między innymi dostępność i cena surowców. Duża podaż i niska cena trzciny cukrowej przyczyniły się do powstania w Ameryce Południowej i Azji wielu instalacji produkujących etylen z alkoholu fermentacyjnego. Jednak udział etylenu pochodzącego z tej metody produkcji w ogólnej światowej produkcji etylenu jest niewielki i wynosi mniej niż 1 %. Zaletą tej metody jest jednak stosunkowo duża prostota, umożliwiająca produkcję etylenu w niewielkich instalacjach.

4.4.2. Dehydratacja alkoholi

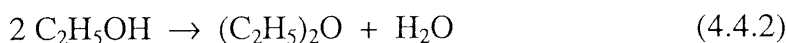
Z reakcją dehydratacji alkoholi wiążą się ważne fakty z historii chemii. Wzmianki o dehydratacji etanolu do eteru dietylowego i etylenu pojawiały się w XIII i XVIII wieku. Reakcja dehydratacji alkoholu była pierwszą reakcją katalityczną przeprowadzoną na katalizatorze heterogenicznym; została zrealizowana przez Priestleya w roku 1787 (przepuszczanie par etanolu przez rozgrzaną rurkę kaolinową). Skutkiem badań tej reakcji jest wprowadzenie do chemii, w roku 1797, pojęcia olefin. Do chwili obecnej prowadzone są badania reakcji dehydratacji różnych alkoholi w celu otrzymywania alkenów, eterów lub aldehydów. Mogą one być także wykorzystywane w procesach przemysłowych, na przykład do otrzymywania etylenu z alkoholu etylowego, w procesach Mobil do otrzymywania benzyn lub lekkich olefin z metanolu.

W obecności katalizatorów reakcje rozkładu alkoholi mogą przebiegać w dwóch zasadniczych kierunkach: poprzez reakcje dehydratacji lub reakcje odwodornienia. Reakcje dehydratacji mogą prowadzić do otrzymywania węglowodorów nienasyconych lub eterów. W reakcjach odwodornienia otrzymuje się odpowiednie aldehydy. Schemat najważniejszych katalitycznych przemian alkoholu etylowego przedstawiono na rysunku 4.4.1.

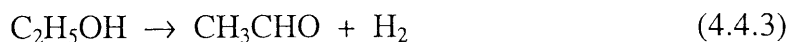


Rysunek 4.4.1. Produkty katalitycznych przemian alkoholu etylowego

Jeśli pary alkoholu etylowego będą przepuszczone przez warstwę ogrzanego Al_2O_3 , to przebiegać będą reakcje dehydratacji:



Natomiast w obecności miedzi w podobnych warunkach będzie przebiegać reakcja 4.4.3 z wytworzeniem aldehydu octowego:



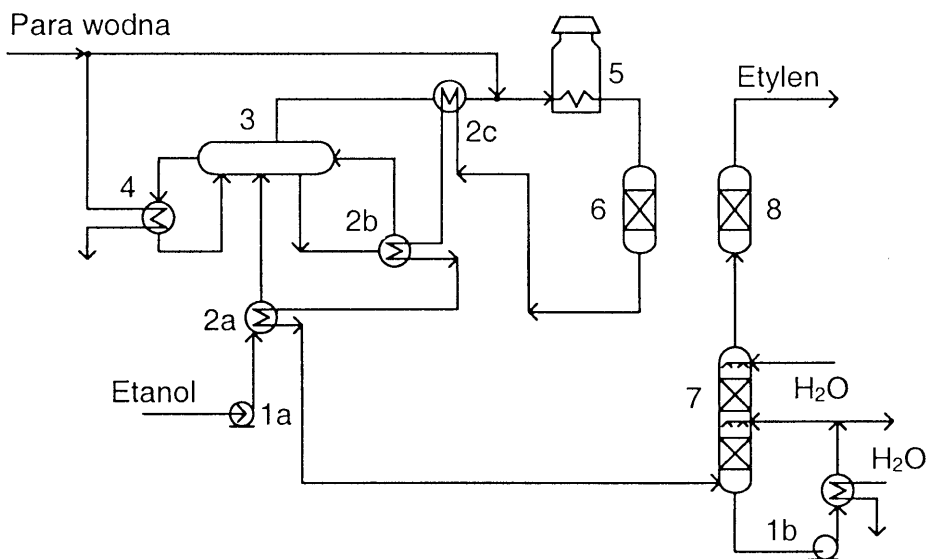
Aktywność i selektywność katalizatorów reakcji dehydratacji alkoholi zależy od wielu czynników. Na przykład aktywność tlenku glinu w reakcji 4.4.1 wzrasta ze wzrostem kwasowości jego powierzchni. Na przebieg tej reakcji ma wpływ również temperatura. W przypadku zastosowania $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ poniżej 200°C zasadniczym produktem reakcji dehydratacji alkoholu etylowego jest eter dietylowy, ze wzrostem temperatury spada ilość powstającego eteru, wzrasta natomiast ilość etylenu. W temperaturze około 340°C stopień przemiany alkoholu etylowego wynosi niemal 100 %, a głównym produktem reakcji jest etylen. W wyższych temperaturach zaczyna pojawiać się aldehyd octowy. W przypadku $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ reakcja dehydratacji rozpoczyna się w wyższych temperaturach; w temperaturze 360°C głównymi produktami reakcji są eter dietylowy oraz powstający w reakcji odwodornienia aldehyd octowy.

Przebieg reakcji dehydratacji alkoholi zależy od ich budowy. W obecności tlenku glinu dehydratacja alkoholu metylowego prowadzi do eteru dimetylowego. Alkohol etylowy, w zależności warunków eksperymentalnych, ulega przemianom do etylenu lub eteru dimetylowego. Produktami rozkładu wyższych alkoholi są głównie alkeny. Szybkość reakcji maleje w szeregu: alkohole III-rzędowe > alkohole II-rzędowe > alkohole I-rzędowe. Szybkość dehydratacji maleje dla I-rzędowych alkoholi ze wzrostem długości łańcucha do 5 atomów węgla, po czym osiąga stałą wartość.

4.4.3. Przemysłowe wykorzystanie reakcji dehydratacji etanolu

Już w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku uruchomiono w Ameryce Południowej i w Azji wiele instalacji, w których wytwarzano etylen metodą dehydratacji etanolu fermentacyjnego otrzymywanego z trzciny cukrowej. Rozwój tego procesu został zahamowany przez wprowadzenie pirolizy olefinowej. Dopiero od ostatniej dekady XX wieku obserwuje się próby powrotu do tej metody. Na większą skalę zrealizowano to tylko w Brazylii, gdzie z etanolu fermentacyjnego produkuje się około 120 tys. ton C_2H_4 /rok.

Za najbardziej nowoczesny proces technologiczny produkcji etylenu z etanolu uważa się adiabaticzny proces *Cenpes* opracowany i wprowadzony do praktyki przemysłowej przez brazylijską firmę *Petrobras*. Jego schemat zamieszczono na rysunku 4.4.2.



Rysunek 4.4.2. Schemat instalacji do produkcji etylenu metodą katalitycznej dehydratacji etanolu – adiabatyczny proces *Cenpes* (1 – pompy, 2 – wymienniki ciepła, 3 – odparowywacz etanolu, 4 – podgrzewacz, 5 – piec rurowy, 6 – reaktor dehydratacji, 7 – skruber (kolumna kondensacji), 8 – adsorpcyjne osuszanie etylenu)

W tym procesie etanol jest wstępnie podgrzewany w wymienniku (2a), następnie odparowuje w aparacie (3) dzięki ciepłu dostarczanemu przez strumień mieszaniny poryakcyjnej (wymiennik 2b) oraz przez parę wodną (w podgrzewaczu 4). Pary etanolu podgrzewa się w wymienniku (2c) i miesza z parą wodną. Otrzymaną mieszaninę dodatkowo podgrzewa się w piecu (5) i wprowadza do reaktora (6). Dehydratacja przebiega w warstwie katalizatora, którym jest aktywowany kwasem fosforowym tlenek glinu. Ponieważ reakcja jest endotermiczna, temperatura w reaktorze obniża się z 460 do 350°C. Ciepło mieszaniny poryakcyjnej wykorzystywane jest kolejno w wymiennikach (2c), (2b) i (2a). Ochłodzoną mieszaninę wprowadza się do kolumny skrubera (7), w którym skrapla się duża część pary wodnej. Etylen odbiera się z góry kolumny i suszy metodą adsorpcyjną. Uzyskuje się bardzo wysoką wydajność etylenu — około 99 % w odniesieniu do przereagowanego etanolu.

4.4.4. Opis ćwiczenia

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie zagadnień dotyczących właściwości katalizatorów oraz procesu dehydratacji alkoholi, a także określenie aktywności tlenku glinu w reakcji dehydratacji alkoholu etylowego. Konstrukcja ćwiczenia umożliwia także utrwalenie wiadomości

mości dotyczących sposobów regulacji składu mieszaniny reakcyjnej oraz pomiarów i regulacji temperatury. Analiza produktów reakcji prowadzona jest za pomocą chromatografu gazowego sprzężonego z komputerowym systemem zbierania danych, co daje możliwość praktycznego wykorzystania wiadomości dotyczących chromatografii gazowej.

Zadania

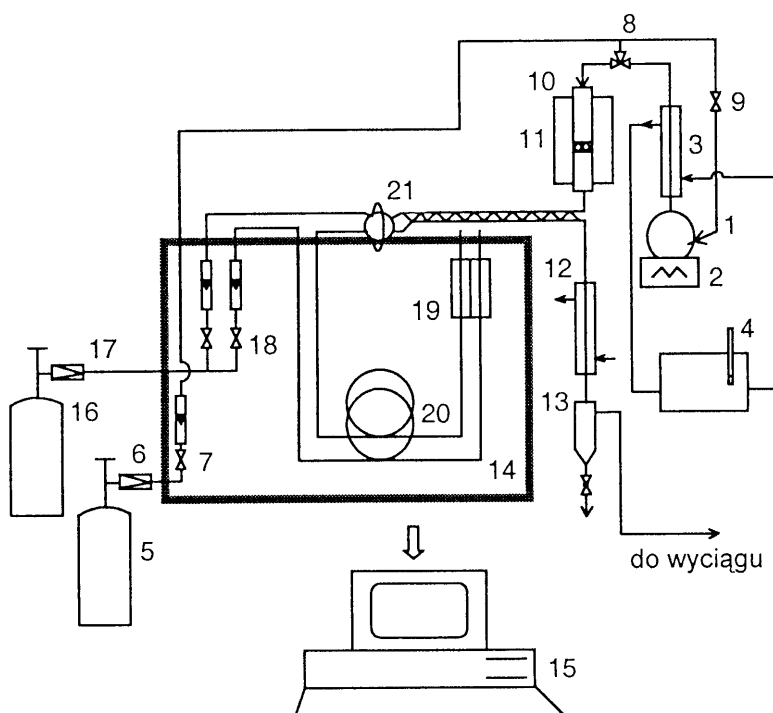
Należy wykonać jedno z zadań:

1. Wyznaczyć stopień przemiany etanolu do etylenu i eteru dietylowego oraz selektywność reakcji dehydratacji na tlenku glinu w trzech różnych temperaturach złoża katalizatora, w zakresie od 200 do 400°C, przy ustalonej szybkości podawania etanolu, w zakresie od 0,01 do 0,12 mol/h.
2. Wyznaczyć stopień przemiany etanolu do etylenu i eteru dietylowego oraz selektywność reakcji dehydratacji na tlenku glinu przy trzech różnych szybkościach podawania etanolu, w granicach od 0,01 do 0,12 mol/h, przy ustalonej temperaturze katalizatora, z zakresu od 300 do 400°C.

Aparatura

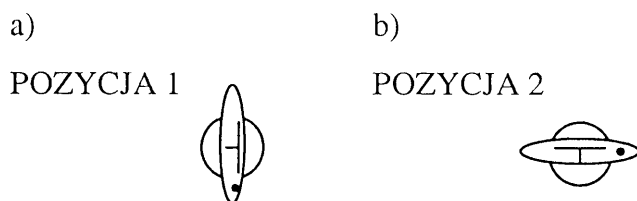
W badaniach stosuje się 96 % etanol (cz.d.a.). Katalizatorem jest tlenek glinu. Masa katalizatora znajdującego się w reaktorze wynosi 2 g.

Schemat aparatury przedstawiono na rysunku 4.4.3. Zestaw składa się z trzech zasadniczych układów – układu dozowania etanolu do reaktora, układu reaktora oraz układu analityzatora.



Rysunek 4.4.3. Schemat zestawu aparatury do badania dehydratacji etanolu (1 – kolba szklana z etanolem, 2 – płaszcz grzewczy, 3 – chłodnica, 4 – ultratermostat, 5 – butla z azotem do nasycalnika, 6 – zawór redukcyjny, 7 – regulator przepływu, 8 – zawór trójdrożny, 9 – zawór dwudrożny, 10 – reaktor szklany ze złożem katalizatora, 11 – piec elektryczny, 12 – chłodnica, 13 – odbieralnik, 14 – chromatograf gazowy, 15 – komputer, 16 – butla z gazem nośnym do chromatografu, 17 – zawór redukcyjny, 18 – regulatory przepływu gazu nośnego, 19 – katarometr, 20 – kolumny chromatograficzne, 21 – zawór sześci drożny z pętlą dozującą)

Podstawowym elementem układu dozowania jest nasycalnik, złożony z kolby szklanej z etanolem (1), płaszczą grzejnego (2), chłodnicy (3) oraz ultratermostatu (4). Azot z butli stalowej (5) dostarczany jest do układu poprzez zawór redukcyjny (6) i regulator przepływu (7), umieszczony na przednim panelu chromatografu. Za pomocą zaworów (8) i (9) można kierować strumień azotu bezpośrednio do reaktora z pominięciem nasycalnika (rysunek 4.4.4a) lub poprzez nasycalnik (rysunek 4.4.4b). Skład mieszaniny reakcyjnej wyznaczany jest na podstawie zależności ciśnienia pary nasyconej etanolu od temperatury (rysunek 4.4.5). Po skierowaniu strumienia azotu do nasycalnika pary etanolu i azot przepływają do chłodnicy, której temperaturę reguluje się za pomocą ultratermostatu. Nadmiar par etanolu z mieszaniny etanol–azot ulega wykropleniu w chłodnicy i wraca do kolby (1). Dalej mieszanina o założonym składzie azotu i etanolu przepływa do reaktora.



Rysunek 4.4.4. Pozycje zaworu trójdrożnego 8 z rysunku 4.4.3: a) ustawienie umożliwiające przepływ azotu z pominięciem nasycalnika, b) ustawienie zaworu umożliwiające przepływ mieszaniny azot – etanol z nasycalnika

W skład układu reaktora wchodzi przepływowy reaktor szklany (10) ze złożem katalizatora, ogrzewany za pomocą pieca elektrycznego (11). Produkty reakcji kierowane są poprzez ogrzewane połączenia do zaworu dozującego chromatografu gazowego, a następnie do chłodnicy (12) i odbieralnika (13). Dalej gazy kierowane są do wyciągu. Pomiaru temperatury złoża katalizatora oraz regulacji temperatury pieca dokonuje się za pomocą odpowiednich mierników i regulatorów temperatury. Temperatura ogrzewanych połączeń sterowana jest za pomocą autotransformatora.

W skład układu analizatora wchodzi chromatograf gazowy (14) oraz komputer (15). Gaz nośny do chromatografu dostarczany jest z butli stalowej (16) poprzez zawór redukcyjny (17). Regulację szybkości przepływu gazu nośnego przez chromatograf wykonuje się za pomocą odpowiednich regulatorów (18), umieszczonych na przednim panelu chromatografu. Dodatkowo przepływ gazu przez komory detektora przewodnictwa cieplnego – katarometru (19) sprawdza się za pomocą fleometru pęcherzykowego. Rozdział mieszaniny poreakcyjnej odbywa się w temperaturze 110°C na kolumnie z wypełnieniem Porapak Q.

Po wprowadzeniu produktów reakcji na kolumnę chromatograficzną za pomocą zaworu z pętlą dozującą (21) dokonuje się rozdział mieszaniny na składniki, których obecność wykrywana jest za pomocą katarometru. Składniki mieszaniny identyfikowane są na podstawie czasów retencji. Analiza ilościowa dokonywana jest w oparciu o pola powierzchni pików oraz na podstawie znajomości współczynników korekcyjnych. Sygnał z detektora kierowany jest do komputera. Odpowiedni program komputerowy umożliwia obserwację zmian sygnału i dokonywanie obliczeń wielkości pola powierzchni poszczególnych pików. Dodatkowe informacje na temat analizy chromatograficznej zamieszczone są w rozdziale 4.2.4.

Wykonanie ćwiczenia

1. Wyznaczenie temperatury pracy nasycalnika azotu etanolem. Po otrzymaniu od prowadzącego ćwiczenia parametrów do zadania należy wyznaczyć temperaturę pracy nasycalnika. Aby uzyskać zadaną szybkość podawania etanolu, ciśnienie cząstkowe etanolu

w mieszaninie azot – etanol (przy założeniu, że aparatura pracuje pod ciśnieniem atmosferycznym oraz pomijając wpływ obecności wody w wyjściowym etanolu) powinno wynosić:

$$p_E = \frac{G_E}{G_E + G_N} \cdot p_{at} \quad (4.4.4)$$

gdzie: p_E – ciśnienie cząstkowe etanolu w mieszaninie gazowej azot–etanol,
 p_{at} – ciśnienie atmosferyczne,
 G_E – szybkość podawania etanolu [mol/h],
 G_N – szybkość przepływu azotu przez nasycalnik [mol/h].

W celu utrzymania stałej szybkości przepływu mieszaniny gazowej azot–etanol przez złoże katalizatora, która we wszystkich eksperymentach tego ćwiczenia ma być równa 60 cm³/min., przy różnych szybkościach podawania etanolu, należy zmieniać ilość wprowadzanego azotu. Zakładając, że szybkość przepływu mieszaniny gazowej azot–etanol ma wynosić V_c [cm³/min] a ilość wprowadzanego etanolu V_E [cm³/min] równa jest:

$$V_E = G_E \cdot \frac{22400}{60} \quad (4.4.5)$$

ilość wprowadzanego azotu V_N [cm³/min] będzie równa:

$$V_N = V_c - V_E \quad (4.4.6)$$

Zatem szybkość przepływu azotu G_N [mol/h] powinna wynosić:

$$G_N = V_N \cdot \frac{60}{22400} \quad (4.4.7)$$

Stąd po wyliczeniu wielkości G_N i wstawieniu do równania (4.4.4) obliczamy ciśnienie cząstkowe etanolu p_E . Z wykresu zależności ciśnienia pary nasyconej etanolu od temperatury (rysunek 4.4.5) odczytujemy temperaturę odpowiadającą obliczonemu ciśnieniu p_E . Odczytana temperatura jest szukaną temperaturą chłodnicy (3) nasycalnika.

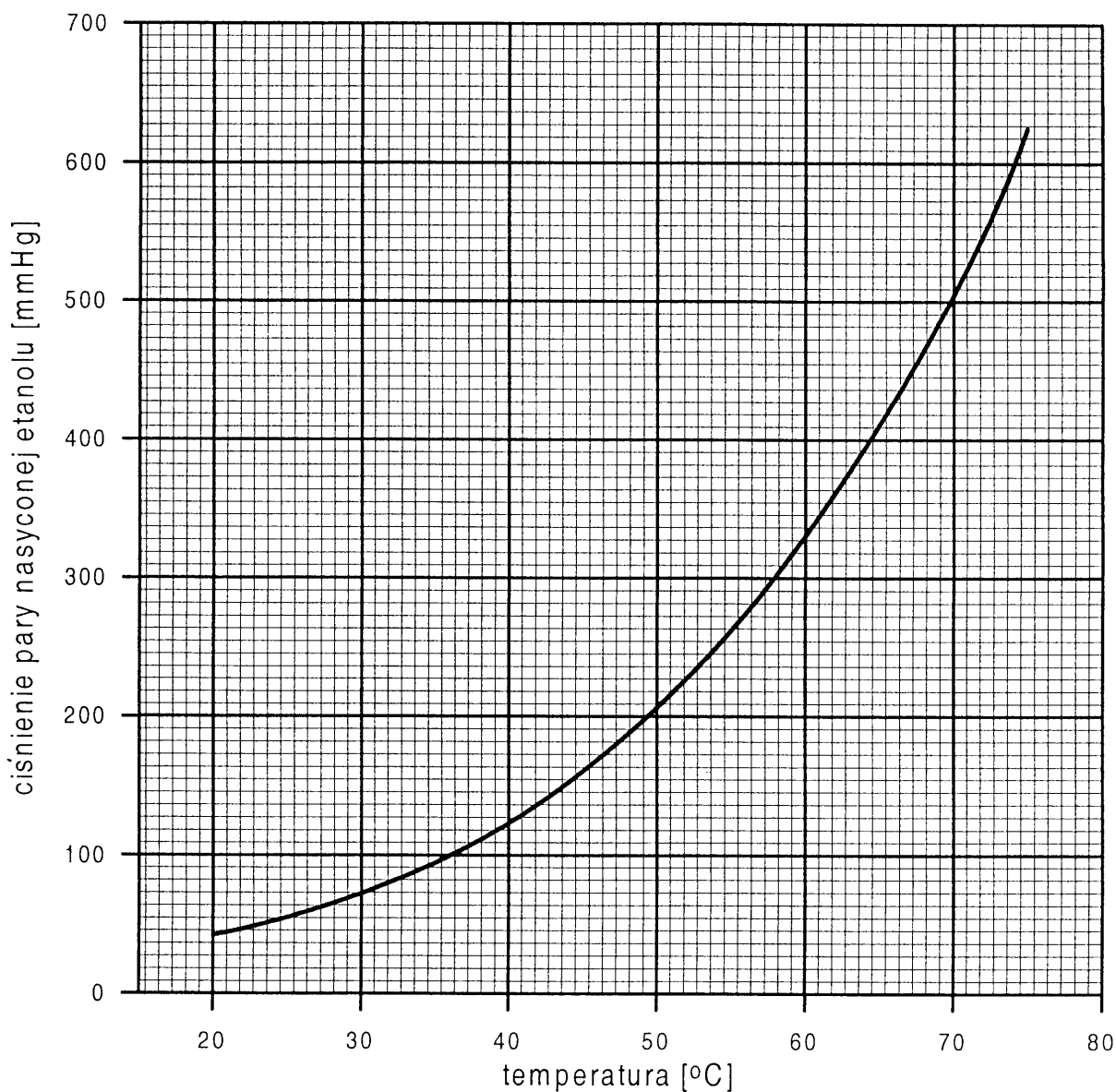
2. Po wyznaczeniu temperatury nasycalnika należy uruchomić chromatograf gazowy. Instrukcja obsługi chromatografu znajduje się przy przyrządzie.

3. Następnie włączyć ogrzewanie połączeń reaktora z zaworem dozującym chromatografu – na autotransformatorze ustawić odpowiednie napięcia, zgodnie z informacjami znajdującymi się przy zestawie.

4. Odkręcić zawór główny na butli z „azotem do nasycalnika”, wkręcić śrubę nastawczą zaworu redukcyjnego do uzyskania ciśnienia 0,1 MPa. Ustawić położenia zaworów (8) i (9) z rysunku 4.4.3, tak by azot przepływał przez reaktor z pominięciem nasycalnika. Ustawić za pomocą regulatora przepływu (7) na płycie czołowej chromatografu szybkość przepływu azotu równą V_N (krzywa kalibracyjna znajduje się przy zestawie).

5. Uruchomić ogrzewanie reaktora. W tym celu należy na autotransformatorze ustawić odpowiednie napięcie, zgodnie z informacjami znajdującymi się przy zestawie, oraz na regulatorze temperatury nastawić temperaturę, w jakiej ma przebiegać reakcja.

6. Sprawdzić poziom etanolu w kolbie (1), a w razie potrzeby dolać niezbędną ilość. Po osiągnięciu żądanej temperatury reaktora należy zmienić położenia zaworów (8) i (9), tak by azot przepływał przez nasycalnik. Otworzyć kran z wodą chłodzącą do chłodnicy (12) i ultratermostatu. Włączyć ogrzewanie kolby z etanolem – ustawić odpowiednie napięcie na autotransformatorze, zgodnie z informacjami znajdującymi się przy zestawie. Włączyć ultratermostat i ustawić za pomocą termometru kontaktowego obliczoną temperaturę pracy nasycalnika.



Rysunek 4.4.5. Zależność ciśnienia par etanolu od temperatury

7. Należy kontrolować szybkość przepływu azotu, temperaturę reaktora, temperaturę nasycalnika, a także poziom etanolu w kolbie. O wszelkich nieprawidłowościach działania zestawu należy niezwłocznie informować prowadzącego ćwiczenia.

8. Włączyć komputer i uruchomić program zbierania danych. Instrukcja obsługi programu znajduje się przy komputerze.

9. Po kilkunastu minutach od ustabilizowania się temperatury nasycalnika można przystąpić do analizy produktów reakcji. W tym celu należy sprawdzić czy mieszanina poreakcyjna przepływa przez pętlę dozującą zaworu (21) (zgodnie z instrukcją obsługi chromatografu) – jeśli nie, to zmienić położenie zaworu (21). Następnie należy uruchomić odpowiedni moduł programu komputerowego rozpoczynający zapis danych oraz zmienić położenie zaworu pętli dozującej, tj. zadozować próbkę gazów poreakcyjnych do analizy. W tym czasie gaz nośny przepływa przez pętlę dozującą, wprowadzając znajdujące się w niej substancje do kolumny chromatograficznej. Po 20 sekundach należy zmienić położenie zaworu, tak by mieszanina poreakcyjna ponownie przepływała przez pętlę dozującą zaworu (21). W tym czasie w kolumnie chromatograficznej dokonywany jest rozdział mieszaniny na poszczególne składniki. Kolejność elucji składników z kolumny chromatograficznej jest następująca: etylen, woda, alkohol etylowy, eter dietylowy. Z ekranu monitora

komputerowego odczytać pola powierzchni pików etylenu, etanolu i eteru. Wyniki zamieścić w tabeli 4.4.1. Należy wykonać po trzy analizy, w każdych ze stosowanych warunków prowadzenia reakcji.

Tabela 4.4.1. Wyniki analiz produktów dehydratacji etanolu

Temperatura katalizatora [°C]	Szybkość podawania etanolu [mol/h]	Pola powierzchni pików [jednostki umowne]		
		Etylen	Etanol	Eter

10. Po zadozowaniu produktów reakcji do kolumny chromatograficznej można zmienić warunki procesu. W tym celu należy zmienić temperaturę reaktora lub dokonać korekty temperatury nasycalnika i szybkości przepływu azotu. Po kilkunastu minutach od ustabilizowania się nowych warunków prowadzenia procesu można wykonać kolejne analizy produktów reakcji.

11. Po wprowadzeniu ostatniej porcji produktów reakcji do kolumny chromatograficznej należy wyłączyć zasilanie płaszcza grzejnego kolby z etanolem, wyłączyć ogrzewanie ultratermostatu, a po schłodzeniu nasycalnika – wyłączyć ultratermostat.

12. Po ochłodzeniu układu dozowania należy przestawić zawory (8) i (9) (rysunek 4.4.3) tak, aby azot przepływał przez reaktor z pominięciem nasycalnika. Następnie wyłączyć ogrzewanie pieca – zmniejszyć do zera napięcie na autotransformatorze, a na regulatorze temperatury nastawić temperaturę 20°C.

13. Po schłodzeniu reaktora do około 100°C wyłączyć ogrzewanie przewodów łączących reaktor z chromatografem, następnie zamknąć przepływ azotu za pomocą regulatora przepływu (7), zakręcić zawór główny na butli z „azotem do nasycalnika” i wykręcić śrubę nastawczą zaworu redukcyjnego.

14. Po zakończeniu analizy chromatograficznej i obróbce otrzymanych danych wyłączyć program obsługi chromatografu i chromatograf gazowy zgodnie z instrukcjami obsługi znajdującymi się przy zestawie.

Opracowanie wyników

Aktywność katalizatorów w tym ćwiczeniu oceniana jest na podstawie stopnia przemiany alkoholu etylowego do etylenu i eteru dietylowego. Stopień przemiany zdefiniowany jest jako stosunek ilości powstałego produktu do całkowitej ilości wprowadzonego etanolu. Ilość wprowadzonego etanolu równa jest sumie ilości nie przereagowanego etanolu, ilości powstałego etylenu oraz podwójnej ilości eteru. Ilości innych produktów reakcji są znikome, dlatego są w tej definicji pominięte. Stopień przemiany etanolu do etylenu i eteru dietylowego wyznaczamy na podstawie zależności:

$$X_{C_2H_5OH}^{C_2H_4} = \frac{f_{C_2H_4} \cdot P_{C_2H_4}}{f_{C_2H_4} \cdot P_{C_2H_4} + f_{C_2H_5OH} \cdot P_{C_2H_5OH} + 2 \cdot f_{(C_2H_5)_2O} \cdot P_{(C_2H_5)_2O}} \quad (4.4.8)$$

$$X_{C_2H_5OH}^{(C_2H_5)_2O} = \frac{f_{(C_2H_5)_2O} \cdot P_{(C_2H_5)_2O}}{f_{C_2H_4} \cdot P_{C_2H_4} + f_{C_2H_5OH} \cdot P_{C_2H_5OH} + 2 \cdot f_{(C_2H_5)_2O} \cdot P_{(C_2H_5)_2O}} \quad (4.4.9)$$

gdzie: f – molowe współczynniki korekcyjne etylenu, etanolu i eteru,
 P – pola powierzchni pików etylenu, etanolu i eteru,
 $f \cdot P$ – równoważny jest stężeniu molowemu właściwych związków.

Wartości molowych współczynników korekcyjnych etylenu, etanolu i eteru dla chromatografu gazowego wykorzystywanego w ćwiczeniu są następujące:

$$f_{C_2H_4} = 0,267 ; \quad f_{C_2H_5OH} = 0,178 ; \quad f_{(C_2H_5)_2O} = 0,116 .$$

Suma stopnia przemiany etanolu do etylenu i do eteru dietylowego jest ogólnym stopniem przemiany etanolu.

Znając stopień przemiany etanolu do etylenu i eteru dietylowego, można określić selektywność reakcji dehydratacji do obu produktów. Selektywność dehydratacji w kierunku etylenu i eteru dietylowego określają równania:

$$S_{C_2H_5OH}^{C_2H_4} = \frac{X_{C_2H_5OH}^{C_2H_4}}{X_{C_2H_5OH}^{C_2H_4} + X_{C_2H_5OH}^{(C_2H_5)_2O}} \quad (4.4.10)$$

$$S_{C_2H_5OH}^{(C_2H_5)_2O} = \frac{X_{C_2H_5OH}^{(C_2H_5)_2O}}{X_{C_2H_5OH}^{C_2H_4} + X_{C_2H_5OH}^{(C_2H_5)_2O}} \quad (4.4.11)$$

Stopień przemiany etanolu do etylenu i eteru dietylowego oraz selektywność reakcji należy określić dla każdej analizy produktów, a następnie wyznaczyć ich średnie wartości, a także wartość ogólnego stopnia przemiany etanolu dla każdego ze zmienianych warunków prowadzenia reakcji – wyniki wpisać do tabeli 4.4.2. W sprawozdaniu z wykonania ćwiczenia sporządzić także wykresy temperaturowej zależności stopnia przemiany etanolu – ogólnego, do etylenu i do eteru, oraz selektywności tworzenia obu produktów – gdy wykonywane jest zadanie 1 lub takich samych zależności od szybkości podawania etanolu – gdy wykonywane jest zadanie 2.

Tabela 4.4.2. Wyniki badań katalitycznej dehydratacji etanolu

Szybkość podawania etanolu (mol/h)* lub Temperatura katalizatora (°C)*

Temperatura katalizatora [°C] lub szybkość podawania etanolu [mol/h]	Stopień przemiany etanolu [%]					Selektywność dehydratacji [%]			
	etylen	eter	średnia			etylen	eter	średnia	
			etylen	eter	suma			etylen	eter

* W zależności od wykonywanego zadania

Literatura

1. Grzywa E., Molenda J., *Technologia podstawowych syntez organicznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
2. Barcicki J., *Podstawy katalizy heterogenicznej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 1998.
3. Kuczyński W., *Ćwiczenia z technologii chemicznej*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1974.