

# Wykorzystanie reaktora fluidalnego do syntezy 2,6-dimetylofenolu

Dariusz JAMANEK\*, Maria ZIELECKA, Zbigniew WIELGOSZ, Krystyna CYRUCHIN, Blanka KĘPSKA, Magdalena WENDA, Agnieszka GÓRSKA, Joanna KRAKOWIAK, Aneta ŁUKOMSKA – Instytut Chemii Przemysłowej w Warszawie, Piotr BARAN – Grupa Azoty S.A.

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2014, 68, 5, 468–477

## Wstęp

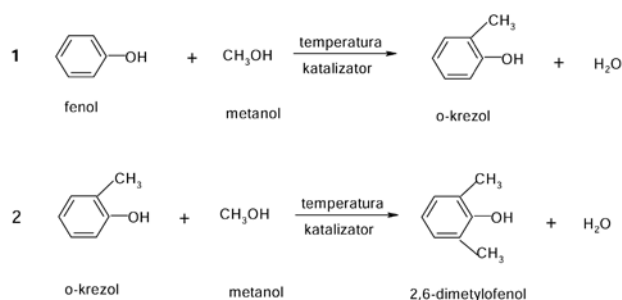
### Cel pracy

Celem pracy było badanie procesu otrzymywania 2,6-dimetylofenolu w fazie fluidalnej oraz opracowanie metod syntezy katalizatorów na nośniku krzemionkowym, które będą aktywne w tym procesie.

W badaniach syntezy 2,6-dimetylofenolu w złożu fluidalnym badano katalizatory posiadające otoczkę o dużej odporności na ścieranie. Jednocześnie rozwinięto badania nad opatentowanymi w latach 90. XX w. oryginalnymi własnymi rozwiązaniami katalizatora i sposób prowadzenia alkilacji fenolu. Badania ukierunkowane są na dobranie odpowiedniego katalizatora i warunków prowadzenia procesu.

### Wprowadzenie

2,6-dimetylofenol (2,6-DMP) znalazł zastosowanie przemysłowe jako plastyfikator. Dodatkową cechą tego związku chemicznego są dobre właściwości antyutleniające. Zasadniczo jednak 2,6-dimetylofenol przemysłowo zastosowany jest jako monomer w reakcji polimeryzacji [1, 2]. W wyniku utleniania w obecności układu katalitycznego otrzymujemy polioksofenylen (PPO). Polymer ten charakteryzuje się dużą odpornością na działanie: kwasów i ługów oraz temperatury. Posiada również dobre właściwości dielektryczne. Ze względu na swoje zalety, znalazł on zastosowanie w elektrotechnice, przemyśle motoryzacyjnym, gospodarstwie domowym i przy produkcji urządzeń medycznych. Te wszystkie zalety i szeroki wachlarz zastosowań sprzyjały opracowaniu nowych sposobów syntezy monomeru do jego produkcji w skali przemysłowej. Jako substraty w tej reakcji można zastosować fenol i metanol [2–5]. W reakcji fenolu z metanolem (reakcja 1) otrzymujemy jako produkt pośredni o-krezol, który ma także zastosowanie przemysłowe jako środek do dezynfekcji (odkażający) [2].



Rys. 1. Reakcja otrzymywania 2,6-dimetylofenolu w wyniku reakcji fenolu z metanolem

Innym opisanym sposobem otrzymania 2,6-DMP jest reakcja metanolu z mieszaniną cykloheksanolu i cykloheksanonu [1]. Metoda ta, pomimo prawie 90% konwersji, wykazuje selektywność w stosunku do 2,6-DMP poniżej 60%.

Opierając się na wytycznych odnośnie do opracowania przemysłowego sposobu otrzymywania 2,6-DMP i wynikach dotychczas

prowadzonych prac, w Instytucie Chemii Przemysłowej wybrano metodę syntezy tego związku poprzez reakcję metanolu z fenolem.

Jednym ze sposobów syntezy w reakcji metanol fenol jest prowadzenie tego procesu na złożu fluidalnym. Taki sposób syntezy stanowi podstawę patentu Instytutu Chemii Przemysłowej w Warszawie (IChP) [6]. Przedstawione rozwiązanie opisuje prowadzenie reakcji w fazie fluidalnej. Taki sposób postępowania pozwala na prowadzenie procesu w sposób ciągły w zadanej temperaturze i przy nastawionej szybkości podawania substratów. Zaletą tego sposobu jest również możliwość regeneracji katalizatora, bez konieczności usuwania go z reaktora.

Prowadzenie procesu na złożu fluidalnym ma zastosowanie również w przypadku innych reakcji np: spalanie miazł węglowego w elektrowniach i elektrociepłowniach w kotłach fluidalnych, kalcynacja, prażenie utleniające w piecach fluidyzacyjnych, spalanie rud siarki przy produkcji kwasu siarkowego, suszenia sypkich półproduktów spożywczych, np. cukru i maki, prowadzenia reakcji chemicznych w fazach gazowych, katalizowanych za pomocą związków chemicznych znajdujących się na podłożach stałych

W przypadku procesu na złożu fluidalnym dąży się do otrzymania zawiesiny cząsteczek ciała stałego w strumieniu gazu. W przypadku spalania lub kalcynacji, gazem nośnym jest powietrze, natomiast w reakcji otrzymywania 2,6-DMP stosuje się przepływ gazu obojętnego, w omawianym przypadku azotu.

Do powstania zawiesiny, w przypadku spalania stosuje się węgiel, ale w reakcji syntezy 2,6-DMP tą zawiesinę tworzy katalizator. Ponieważ to katalizator tworzy zawiesinę, zatem wymagania mu stawiane dotyczą przede wszystkim łatwości do fluidyzacji i odporności na ścieranie podczas kontaktu unoszących się cząsteczek. Katalizatory testowane w IChP zawierały tlenek krzemu z naniesionymi w różnych wariantach tlenkami: żelaza(III), miedzi(II), magnezu(II) i chromu(III). Testowany też był katalizator produkowany przez Grupę Azoty S.A. w Tarnowie. Katalizatory zawierające jako nośnik tlenek krzemu otrzymywane były na podstawie opisu patentowego, którego właścicielem jest IChP [7].

## Część eksperymentalna

### Materiały

Materiały do otrzymywania katalizatorów na nośniku krzemionkowym:

Hydrolizat TEOS – producent Wacker, nazwa handlowa TES 40

Etanol rektyfikowany – 96% cz.d.a. firma Chempur

Woda destylowana – destylowana na destylarce laboratoryjnej

Kwas fosforowy 85% – cz.d.a. firma Chempur

Tlenek magnezowy – cz.d.a. firma Chempur

Tlenek żelazowy – cz.d.a. firma Chempur

Tlenek chromowy – cz.d.a. firma Chempur

Tlenek miedziowy – cz.d.a. firma Chempur

Materiały do syntezy 2,6-DMP w fazie fluidalnej:

Fenol – cz.d.a. firma Chempur

Woda destylowana – destylowana na destylarce laboratoryjnej

Azot – 99,8% firma Messer

Metanol – cz.d.a. firma Chempur

Autor do korespondencji:

dr Dariusz JAMANEK, [dariusz.jamanek@ichp.pl](mailto:dariusz.jamanek@ichp.pl)

Katalizatory na nośniku krzemionkowym zsyntezowane na potrzeby badań

Katalizator TZC-3/I produkowany przez Grupę Azoty S.A. w Tarnowie.

## Metody

### Otrzymywanie katalizatorów na nośniku krzemionkowym

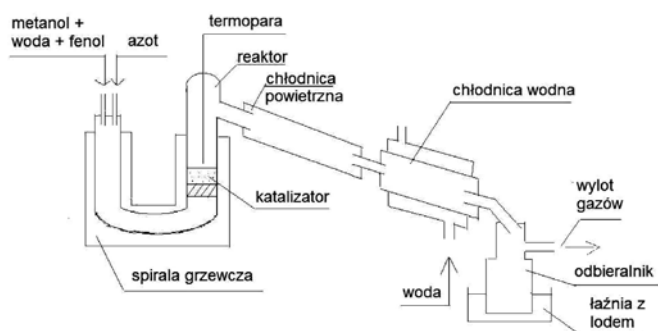
Hydrolizat tetraetoksyilanu TES 40 wymieszano z etanolem rektyfikowanym, wodą destylowaną i kwasem fosforowym. Otrzymaną mieszaninę wymieszano na mieszadle magnetycznym w ciągu 900 s pozostawiono na 86 400s. Do otrzymanego hydrolizatu tetraetoksyilanu dodawano tlenki: magnezowy, żelazowy, miedzi, chromu i wymieszano na mieszadle magnetycznym. Otrzymany roztwór wlało do reaktora zawierającego wodę zalkalizowaną dodatkiem wody amoniakalnej i intensywnie mieszano przez 3 600s. Następnie mieszaninę pozostawiono do opadnięcia osadu i zdekantowano roztwór z nad osadu. Otrzymany osad przepłukano dwukrotnie wodą destylowaną. Otrzymany katalizator na nośniku krzemionkowym wysuszono w temp. 393K.

### Badanie morfologii katalizatorów na nośniku krzemionkowym

Do badania morfologii i składu otrzymanych katalizatorów wykorzystano skaningowy mikroskop elektronowy JSM – 6490 LV (JEOL) z przystawką EDS (Electron Dispersive Spectroscopy) do mikroanalizy rentgenowskiej w mikroobszarach znajdujący się w Laboratorium POLMATIN w IChP. Wykorzystując szerokie możliwości przystawki EDS, przeprowadzono również badanie rozkładu atomów krzemu, magnezu, żelaza, chromu w wybranym mikroobszarze próbki metodą mapowania cyfrowego. Technika ta umożliwiła otrzymanie mapy rentgenowskiej wybranych pierwiastków, ilustrującej rozkład poszczególnych pierwiastków w badanym mikroobszarze.

### Synteza 2,6-DMP w fazie fluidalnej

Wzorując się na wymienionym opisie patentowym IChP, zbudowano aparaturę do otrzymywania 2,6-DMP w złożu fluidalnym (Rys.2), która pozwoliła na przetestowanie dostarczonego oraz zsyntezowanych katalizatorów.



Rys. 2. Schemat aparatury do syntezy 2,6-dimetylofenolu w złożu fluidalnym

Aparatura składa się z reaktora ze szkła boro-krzemowego z nawiniętym elementem grzewczym, transformatora, termopary, programatora temperatury, pompki dozującej, butli z azotem wyposażonej w reduktor, przepływomierz, chłodnicę powietrzną i wodną, odbieralnik oraz łaźnię z lodem. W trakcie prowadzenia procesu możliwa jest wymiana odbieralnika, co pozwala na badanie zmian w wydajności i selektywności katalizatora wraz z upływem czasu trwania reakcji.

Przyjęta procedura postępowania jest następująca. W reaktorze o średnicy 33mm umieszcza się odpowiednią ilość katalizatora, następnie wygrzewa się ten katalizator w przepływie azotu przez pół godziny w temperaturach: 373, 473K i zadanej temperaturze

(w której będzie prowadzony proces). Następnie zaczyna się dozowanie roztworu fenolu, metanolu i wody o stosunku molowym fenol:metanol:woda=1:5:1. Wodę dodaje się jako obojętny czynnik rozcieńczający, który zwiększa żywotność katalizatora. Kiedy gazowa mieszanina substratów przejdzie przez reaktor i znajdzie się poza złożem fluidalnym, jest wychładzana w chłodnicy powietrznej, a następnie w wodnej. W celu dalszego wychłodzenia oparów, odbieralnik umieszcza się w łaźni z lodem. Otrzymaną przez schłodzenie gazów ciecz bada się przy użyciu chromatografu gazowego na zawartość fenoli, metanolu i innych związków organicznych.

### Analiza składu otrzymanych produktów metodą chromatografii gazowej

Otrzymane roztwory substratów i produktów reakcji metylowania fenolu analizowano metodą chromatografii gazowej przy użyciu aparatu firmy Hewlett-Packard SERIES II 5890 z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym.

Rozdział na poszczególne składniki prowadzono na kolumnie HP-5 (długość 30 m, średnica 0,32 mm, grubość filmu 0,25 μm).

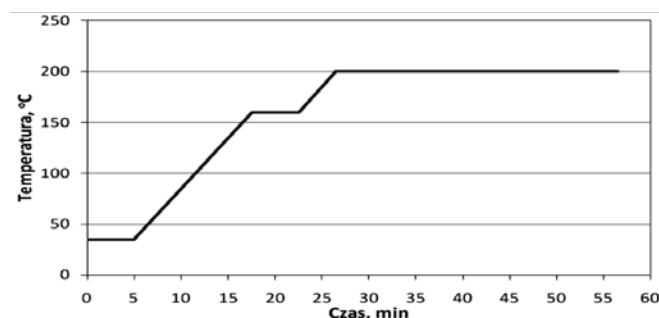
Analizy prowadzono w następujących warunkach: gaz nośny (hel), temperatury (dozownika 473K, detektora 523K)

Program temperaturowy (Tab. 1 i Rys. 3)

Tablica 1

### Warunki prowadzenia analizy fenoli

Temperatura początkowa kolumny	308K
Czas początkowy	300s
Narost temperatury	4,7K/s
Temperatura	433
Czas przetrzymywania w temperaturze	300s
Narost temperatury	4,7K/s
Temperatura końcowa kolumny	473K



Rys. 3. Program temperaturowy zaprogramowany do analizy fenoli

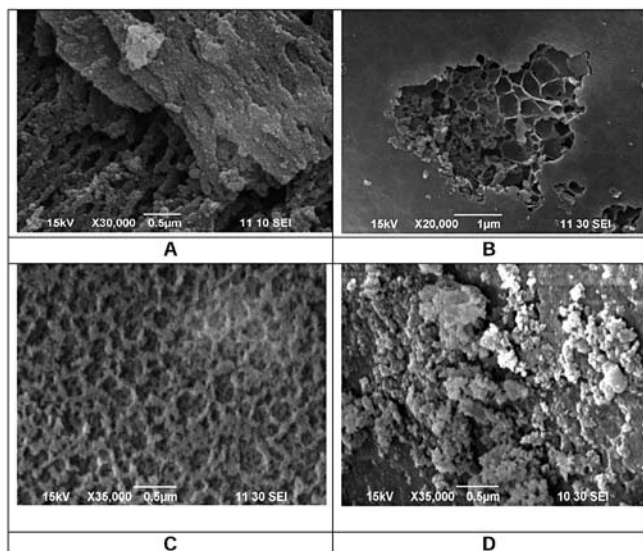
Analiza jakościowa polegała na wyznaczeniu czasów retencji poszczególnych produktów przez analizę pojedynczych substancji wzorcowych. Stopień przereagowania fenolu, i selektywność katalizatora liczono na podstawie zawartości poszczególnego fenolu w próbce w odniesieniu do całkowitej zawartości fenoli w próbce.

## Omówienie wyników

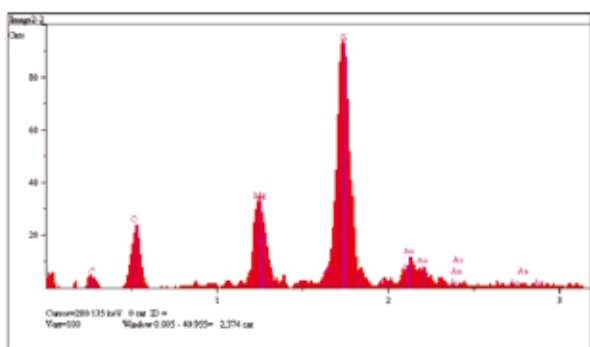
### Otrzymywanie katalizatorów na nośniku krzemionkowym

W prezentowanych badaniach osobnym zagadnieniem jest kwestia otrzymywania katalizatorów do reakcji otrzymywania 2,6-DMP w złożu fluidalnym. W opisanych syntezach otrzymano katalizatory krzemionkowe modyfikowane tlenkiem magnezu, tlenkiem żelaza, tlenkami miedzi i żelaza, tlenkami żelaza i chromu. Obecność tlenków

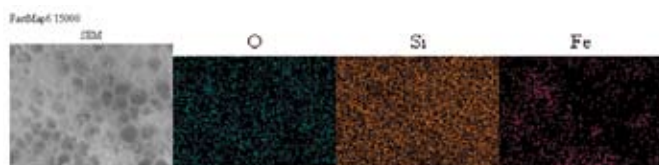
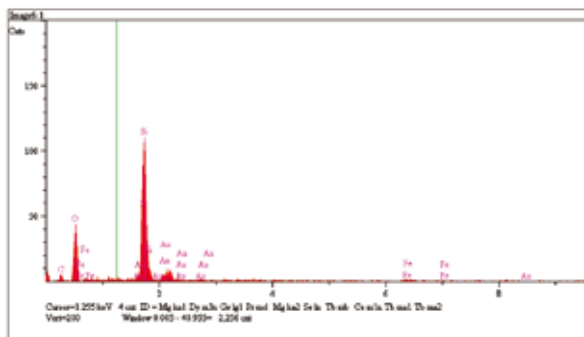
metali w otrzymanych związkach krzemionkowych została zbadana przy użyciu mikroskopu elektronowego. Przykładowe zdjęcia oraz wyniki badań katalizatorów zaprezentowano na rysunkach 4÷7.



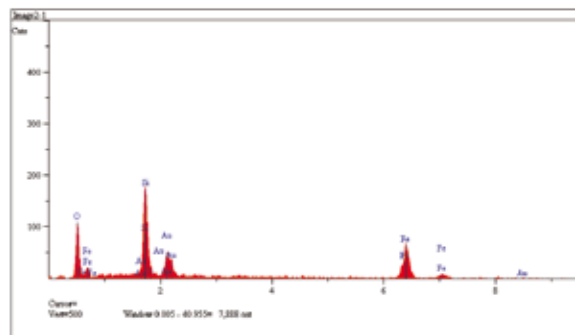
**Rys. 4.** Mikrofotografia SEM powierzchni katalizatora krzemionkowego modyfikowanego: **A** – tlenkiem magnezowym; **B** – tlenkiem żelazowym; **C** – tlenkiem żelazowym i miedziowym; **D** – tlenkiem żelazowym i chromu



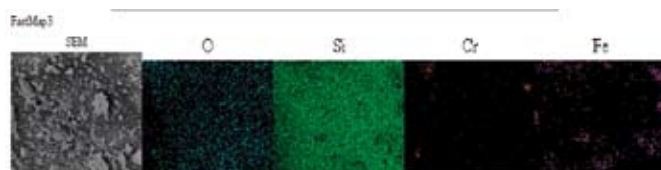
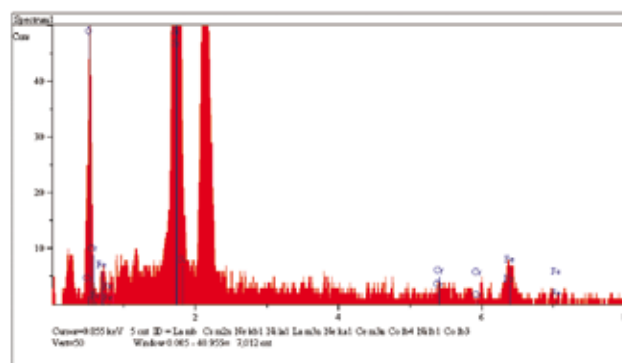
**Rys. 5.** Wyniki badania metodą EDS i mapowania obecności magnezu w próbce katalizatora krzemionkowego modyfikowanego tlenkiem magnezowym



**Rys. 6.** Wyniki badania metodą EDS i mapowania obecności żelaza w próbce katalizatora krzemionkowego modyfikowanego tlenkiem żelazowym



**Rys. 7.** Wyniki badań EDS i mapowania dla krzemionki ze zdyspergowanymi na powierzchni tlenkami żelaza i miedzi



**Rys. 8.** Wyniki badań EDS i mapowania dla krzemionki ze zdyspergowanymi na powierzchni tlenkami żelaza i chromu

Na podstawie badań metodą SEM można stwierdzić, że otrzymane katalizatory mają rozmiary ziaren w przedziale 10–120µm oraz bardzo rozwiniętą powierzchnię, co ilustrują mikrofotografie (Rys. 4) wykonane przy powiększeniu 30000x. Na mikrofotografii 4B wyraźnie widoczna jest jednorodna warstwa otaczająca mikrocząstki katalizatora oraz porowata struktura wewnętrzna pod warstwą wierzchnią. Występowanie tej jednorodnej warstwy może mieć znaczenie w przypadku odporności na scieranie powierzchni katalizatora, co jest związane z ciągłymi zderzeniami cząstek katalizatora w reakcji na złożu fluidalnym.

Wyniki badania metodą EDS zawartości magnezu w katalizatorze krzemionkowym modyfikowanym tlenkiem magnezowym przedstawiono na Rysunku 5. Jednorodność rozkładu magnezu w próbce tego katalizatora zobrazowano metodą mapowania. W widmach EDS (Rys. 5) wyraźnie widoczne jest pasmo charakterystyczne dla atomów magnezu. Wyniki badania metodą EDS zawartości żelaza w katalizatorze krzemionkowym modyfikowanym tlenkiem żelazowym przedstawiono (Rys. 6).

Jednorodny rozkład żelaza w próbce tego katalizatora zobrazowano metodą mapowania. W widmie EDS wykonanym dla zaznaczonego obszaru próbki widoczne są pasma charakterystyczne dla atomów żelaza. W przypadku naniesienia tlenków żelaza i miedzi nie obserwuje się obecności tlenku miedzi (Rys. 7), a w przypadku naniesienia tlenków żelaza i chromu obserwuje się obecność żelaza

i chromu, ale wyniki mapowania ukazują nierównomierny ich rozkład na powierzchni nośnika (Rys. 8). Prawdopodobnie wystąpiła aglomeracja cząstek żelaza i chromu.

**Otrzymywanie 2,6-DMP w fazie fluidalnej**

Otrzymane katalizatory i przemysłowy katalizator TZC-3/1 przetestowane były w reakcjach syntezy 2,6-DMP w fazie fluidalnej. Rozmiar ziaren katalizatora TZC-3/1 mieścił się w granicach 10–100µm, czyli podobnie jak otrzymane katalizatory na nośniku krzemionkowym. Po załadowaniu 50g dowolnego katalizatora krzemionkowego wysokość jego warstwy w stanie niesfluidyzowanym wynosiła prawie 100mm, natomiast katalizatora TZC-3/1 prawie 125mm.

Wyniki wskazują, że przy użyciu katalizatora zawierającego tlenek magnezu na nośniku krzemionkowym możliwe jest otrzymywanie 2,6-DMP w temp. 703K. Stopień przereagowania fenolu był w granicach 90%, a selektywność w stosunku do 2,6-DMP w granicach 40%. Dla poprawy tych rezultatów następnymi eksperymenty przeprowadzono w wyższych temperaturach. Wyniki eksperymentów zamieszczono w Tablicy 2.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że podwyższenie temperatury reakcji od 703 do 723K ma niewielki wpływ na stopień przereagowania fenolu. Dalsze podniesienie temperatury do 733K pozwala na prawie 100% przereagowanie fenolu.

Porównując wyniki dotyczące selektywności katalizatora w stosunku do 2,6-DMP obserwuje się jego wzrost wraz ze wzrostem temperatury przy jednoczesnym spadku zawartości krezoli, co świadczy o ich dalszym przereagowaniu do dwu i trój podstawionych fenoli.

Drugim testowanym katalizatorem był katalizator krzemionkowy z naniesionym tlenkiem żelaza. Opierając się na wynikach wcześniej przeprowadzonych badań dla złoża stacjonarnego, takie związki chemiczne są aktywne w omawianej reakcji już w temp. 603K i wykazują się przereagowaniem fenolu bliskim 90%, gdy reakcja jest prowadzona na złożu stacjonarnym. Ponieważ użycie tlenku żelaza ze względów ekonomicznych jest uzasadnione, dlatego otrzymano i przetestowano katalizator zawierający tlenek żelaza.

Wyniki eksperymentów pokazują, że dla szybkości podawania substratów wynoszącej 0,000005kg/s i przy 0,02kg katalizatora, reakcja zaczyna przebiegać z zauważalną wydajnością dopiero w 653K. W tej temperaturze otrzymuje się głównie o-krezol przy niewielkim przereagowaniu fenolu. Zwiększenie ilości katalizatora do 0,04kg pozwala na przebieg reakcji w 633K i w tych warunkach pojawia się 2,6-dimetylofenol. Dalsze podnoszenie temperatury reakcji do 673K umożliwia wzrost przereagowania fenolu o 15%. Przy dalszym wzroście temperatury następuje już spadek przereagowania fenolu, a selektywność katalizatora pozostaje na podobnym poziomie. Głównym produktem tych reakcji, oprócz nieprzereagowanych substratów, jest o-krezol.

Następny katalizator, oprócz tlenku żelaza(III), powinien zawierać naniesiony tlenek miedzi. Badania EDS nie potwierdziły obecności miedzi, czyli można przyjąć, że została naniesiona bardzo mała ilość albo w ogóle nie został osadzony ten tlenek. Katalizator ten pokazał jednak, że możliwe jest prowadzenie reakcji już w 583K, jednak otrzymano wtedy niewielkie przereagowanie fenolu i niewielką zawartość 2,6-dimetylofenolu. Podniesienie temperatury reakcji do 623K pozwoliło na poprawę tych wyników. Poprawę wyników uzyskano również poprzez zmniejszenie szybkości podawania roztworu, czyli zmniejszając obciążenie katalizatora. Rezultat w granicach 20% przereagowania nie jest zbyt imponujący, dlatego wykonano dalszą modyfikację katalizatora.

Kolejny nośnik miał immobilizowane na powierzchni tlenki żelaza i chromu. Otrzymany materiał wykazał minimalną aktywność w omawianej reakcji i także dopiero po znacznym zmniejszeniu obciążenia katalizatora.

**Wydajność i selektywność katalizatorów**

Kataliz.	Ilość katalizatora	Czas reakcji	Temp. reakcji	Przepływ azotu	Szybkość podawania roztworu	Stopień przereagowania fenolu*	Selektywność	
							o-krezol	2,6-DMP
	kg	s	K	dm <sup>3</sup> /s	kg/s	%	%	%
SiO <sub>2</sub> + MgO	0,02	5400	703	0,0003	0,000005	88	38	38
	0,02	5400–10800	703	0,0003	0,000005	93	34	42
	0,02	5400	723	0,0003	0,000005	82	38	47
	0,02	5400–14400	723	0,0003	0,000005	90	33	54
	0,02	5400–14400	733	0,0003	0,000005	99,5	2	58
SiO <sub>2</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	5400–14400	653	0,0003	0,000005	2,3	~100	~0
	0,04	5400–14400	633	0,0003	0,000005	3,5	95,2	4,8
	0,04	5400–14400	653	0,0003	0,000005	9,9	94,1	5,9
	0,04	5400–14400	673	0,0003	0,000005	19,4	91,5	8,5
	0,04	5400–14400	693	0,0003	0,000005	12,5	91,8	8,2
	0,04	5400–14400	703	0,0003	0,000005	8,0	91,8	8,2
	0,04	5400–14400	723	0,0003	0,000005	9,8	91,0	9,0
SiO <sub>2</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0346	10800–14400	583	0,0003	0,0000037	2,3	98,3	1,7
	0,0346	10800–14400	603	0,0003	0,0000037	8,4	94,9	5,1
	0,0346	7200–10800	623	0,0003	0,0000037	20,1	92,9	6,5
	0,0346	10800–14400	583	0,0003	0,0000019	12,5	91,4	8,0
	0,0346	10800–14400	603	0,0003	0,0000019	20,9	88,7	10,7
TZC-3/1	0,05	7200–14400	603	0,0003	0,0000019	98,2	11,3	85,8
	0,05	7200–14400	603	0,0003	0,0000017	99,4	5,5	90,4
	0,05	7200–14400	603	0,0014	0,0000017	89,4	26,5	70,0
	0,05	7200–14400	583	0,0003	0,0000025	35,6	78,2	20,2

\* W tablicy pominięto % zawartość innych fenoli

Poszukując lepszego złoża fluidalnego, które będzie aktywne w reakcji otrzymywania 2,6-DMP, przetestowano pył katalizatora przemysłowego TZC-3/1. Katalizator ten (w postaci tabletek) umożliwił grupie badającej tę reakcję na złożu stacjonarnym, otrzymanie bardzo dobrych wyników. Jak zaprezentowano w Tablicy 2, rzeczywiście złożo fluidalne złożone z jego pyłu, przy małym obciążeniu, pozwala na prawie 100% przereagowanie fenolu przy selektywności w stosunku do 2,6-dimetylofenolu ok. 90%. Dodatkowo, dla pyłu katalizatora TZC-3/1 można zaobserwować wpływ przepływu gazu obojętnego na parametry otrzymanych produktów. W przypadku zwiększenia przepływu otrzymuje się bardziej rozcieńczony układ i obserwuje się spadek stopnia przereagowania fenolu i selektywności w stosunku do 2,6-DMP. Zwiększona zawartość o-krezolu świadczy o tym, że przy tej prędkości przepływu, czas kontaktu z katalizatorem był krótszy i o-krezol nie zdążył ten przereagować do 2,6-DMP.

## Podsumowanie

Naniesienie tlenku magnezu na nośnik krzemionkowy umożliwia przereagowanie prawie 100% fenolu w reakcji z metanolem. W wyniku prowadzonych syntez, na tym złożu fluidalnym otrzymać można prawie 60% zawartości 2,6-DMP w produktach. Katalizator ten jest najbardziej aktywny ze wszystkich przebadanych, a wyniki także można otrzymać przy największym spośród badanych obciążeniu katalizatora. Wadą tego złoża jest najwyższa temperatura jego pracy oraz nienajwyższa selektywność w stosunku do 2,6-DMP. Podobną aktywność otrzymano w temp. 603K dla przemysłowego katalizatora TZC-3/1, ale w tym przypadku zastosowano znacznie mniejsze obciążenie w porównaniu do tego z tlenkiem magnezu. Selektywność tego złoża jest bardzo dobra i sięga zawartości 90% 2,6-DMP w produktach reakcji. Pozostałe zsyntezowane katalizatory nie wykazały tak dobrej aktywności ani selektywności, co omawiane poprzednio, choć w przypadku naniesienia na powierzchnie nośnika krzemionkowego tlenków żelaza i chromu przyczyną mogła być aglomeracja cząsteczek tlenków żelaza i chromu, i w efekcie nierównomierny ich rozkład na powierzchni.

Prace realizowane w ramach projektu rozwojowego „Kompleksowa technologia wytwarzania polimerów konstrukcyjnych na bazie poli(tlenku fenylenu).” Nr: WND-POIG.01.03.01-14-058/09. Projekt współfinansowany przez Unię europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.”

## Literatura

1. Wang F. L., Tsai T. F.: *Catalysis Today* 1998, 44, 259.
2. Patent nr US 2002/0128432 A1, USA.
3. Ke J.H., Zena J.M., Wang F.L.: *Journal of the Chinese Chemical Society* 2004, 51, 6, 1407.
4. Patent nr US 1975/3,901,947, USA.
5. Patent nr US 1969/3,446,856, USA.
6. Patent nr PL 170672 B1, Polska.
7. Patent nr PL 169794 B1, Polska.

\*dr Dariusz JAMANEK ukończył studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego (1998). W 2009 r. uzyskał stopień doktora. Jest pracownikiem Instytutu Chemii Przemysłowej im. prof. Ignacego Mościckiego w Warszawie. Specjalność – reakcje alkilacji prowadzone w fazie fluidalnej.  
e-mail: dariusz.jamanek@ichp.pl

dr hab. Maria ZIELECKA, prof. IChP w roku ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego (1973). W 1999 r. uzyskała stopień doktora a w 2012 r. stopień doktora habilitowanego. Jest zastępcą dyrektora ds. naukowo-badawczych w Instytucie Chemii Przemysłowej im. prof. Ignacego Mościckiego. Specjalność – chemia i technologia związków krzemooorganicznych.

doc. dr inż. Zbigniew WIELGOSZ ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej (1960). Był wieloletnim zastępcą dyrektora oraz kierownikiem Zakładu Polimerów Konstrukcyjnych i Specjalnych w Instytucie Chemii Przemysłowej w Warszawie. Obecnie na emeryturze. Specjalność – technologia tworzyw sztucznych.

Krystyna CYRUCHIN ukończyła Technikum Chemiczne w Piastowie (1978). Jest specjalistą II stopnia zatrudnioną w Laboratorium Polimerów Krzemu w Zakładzie Technologii i Przetwórstwa Polimerów Instytutu Chemii Przemysłowej. Specjalność – technologia związków krzemu.

mgr. Blanka KĘPSKA ukończyła studia na Uniwersytecie Warszawskim na Wydziale Chemii (2008). Pracowała jako specjalista i asystent w Zakładzie Technologii i Przetwórstwa Polimerów Instytucie (Zespół Polimerów Krzemu) Chemii Przemysłowej im. prof. Ignacego Mościckiego w Warszawie. Obecnie jest w trakcie realizacji pracy doktorskiej.

mgr inż. Magdalena WENDA – asystent w Instytucie Chemii Przemysłowej im. Prof. Ignacego Mościckiego w Zakładzie Technologii i Przetwórstwa Polimerów, Laboratorium Polimerów Krzemu. W 2008 r. ukończyła studia magisterskie na Politechnice Radomskiej im. Kazimierza Pułaskiego, Wydział Materiałoznawstwa Technologii i Wzornictwa, kierunek: technologia chemiczna, specjalność: Polimery. W trakcie realizacji pracy doktorskiej.

dr inż. Agnieszka GÓRSKA ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej (2002). W 2013 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych. Jest asystentem w Zakładzie Technologii Organicznej i Procesów Rozdziału w Instytucie Chemii Przemysłowej im. prof. Ignacego Mościckiego w Warszawie. Specjalność – procesy katalityczne.

mgr inż. Joanna KRAKOWIAK ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej (1998). Jest specjalistą w Zakładzie Technologii Organicznej i Procesów Rozdziału w Instytucie Chemii Przemysłowej im. prof. Ignacego Mościckiego w Warszawie. Specjalność – analityka.

dr Aneta ŁUKOMSKA jest absolwentką Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego. Pracuje na stanowisku adiunkta w Laboratorium Badawczym POLMATIN w Zakładzie Elektrochemii. Specjalność naukowa: elektrochemia stosowana, skaningowa mikroskopia elektronowa, nanomateriały.

mgr inż. Piotr BARAN ukończył studia na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej (2000). W 2001 r. został kierownikiem, a następnie dyrektorem Wydziału Produkcji Katalizatorów w Zakładach Azotowych Tarnów, obecnie Grupa Azoty. Specjalność – technologia nieorganiczna.