

Wstęp

Immobilizacja katalizatorów na nośnikach (heterogenizacja) ma na celu otrzymanie katalizatorów łączących w sobie cechy katalizatorów homogenicznych (wysoka aktywność, selektywność) i heterogenicznych (trwałość, łatwość oddzielenia ze środowiska reakcji oraz możliwość wielokrotnego użycia w kolejnych cyklach reakcyjnych). Jednym z najbardziej obiecujących kierunków w tej dziedzinie badań jest zastosowanie polimerów jako nośników [1]. Głównym czynnikiem, który powoduje, że matryce polimerowe stanowią interesującą alternatywę dla nośników nieorganicznych, jest możliwość kontroli struktury nośnika (wielkości i sztywności cząsteczek, gęstości grup kowalencyjnych katalizator), a co za tym idzie, kontroli własności nośnika, takich jak rozpuszczalność w środowisku reakcji, odporność chemiczna i termiczna, a także pojemność katalityczna, aktywność i selektywność otrzymanych katalizatorów. Szczególną grupę nośników stanowią polimery rozpuszczalne, które pozwalają prowadzić reakcje w środowisku homogenicznym, w związku z czym aktywność katalizatorów immobilizowanych może pozostawać na poziomie katalizatorów homogenicznych [2–6].

Katalizatory osadzone na polimerach mają wiele zalet w porównaniu z odpowiednikami homogenicznymi. Wydzielanie i odzyskiwanie katalizatora z produktu jest łatwe (przez prostą filtrację, wytrącanie, wirowanie lub chromatografię żelową). Możliwość wielokrotnego użycia pozwala na znaczące oszczędności kosztownego kompleksu metalu lub enzymu. Immobilizowany katalizator można łatwiej dozować i kontrolować jego stężenie, np. w reakcjach kombinatorycznych. Duża gęstość ligandów na powierzchni nośnika umożliwia syntezę wielofunkcyjnych katalizatorów, w których z nośnikiem związany jest więcej niż jeden składnik aktywny. Immobilizowane analogi związków toksycznych, wybuchowych lub posiadających przykry zapach są bezpieczniejsze i wygodniejsze w manipulacji niż odpowiednie produkty rozpuszczalne.

Ponadto, katalizatory osadzone na nośnikach pozwalają na stosowanie szerszej gamy rozpuszczalników, w mniejszym stopniu ulegają również niekorzystnym reakcjom ubocznym dezaktywującym katalizator, takich jak redukcja, autooksydacja, hydroliza. Możliwa jest stabilizacja bardzo reaktywnych, koordynacyjnie nienasyconych związków, które nie mogą istnieć w roztworze.

Pomimo tych zalet nośniki polimerowe nie są dotychczas stosowane na skalę masową w procesach przemysłowych. Główną przyczyną tego stanu rzeczy jest niedostateczna trwałość unieruchomionych katalizatorów i utrata aktywności w wyniku wypłukiwania metalu i/lub ligandu. Poza tym, układy immobilizowane często wykazują niższą aktywność katalityczną niż katalizatory homogeniczne, z powodu utrudnionej dostępności centrów aktywnych dla reagentów, efektów sterycznych matrycy, niekompatybilności rozpuszczalnika i nośnika lub niehomogeniczności wynikającej z tworzenia różnych wiązań między nośnikiem i kompleksem [5].

Synteza polimeru-nośnika polega na kopolimeryzacji monomerów funkcjonalizowanych odpowiednim ligandem lub na szczepieniu ligandów na wstępnie uformowanym nośniku polimerycznym. Najczęściej stosowane nośniki, to modyfikowany polistyren, polieter, poliolefiny, poliakrylany, poliwinylpiperolidon i inne [7]. Synteza katalizatorów na nośnikach polimerowych polega najczęściej na kowalencyjnym związaniu metalu z grupą funkcyjną na polimerze, w wyniku wymiany ligandów między rozpuszczalnym kompleksem metalu i polimerem.

Metody immobilizacji biokatalizatorów (enzymów) na polimerach są bardziej złożone i obejmują zakres od adsorpcji poprzez wiązanie kowalencyjne do pułapkowania i enkapsulacji w sieci polimerowej [8, 9].

Potencjalne korzyści związane z unieruchomieniem biokatalizatora, to przede wszystkim wyższa odporność na temperatury, zmiany pH i zatrucie/zanieczyszczenie katalizatora, łatwość wydzielenia ze środowiska reakcji i możliwość wielokrotnego użycia. Nierzadko obserwuje się także zwiększoną aktywność enzymu dzięki zmianom konformacyjnym, wymuszonym wiązaniem z polimerem, powodującym lepszą dostępność centrów katalitycznych.

Jednak proces immobilizacji enzymów ma także wady, takie jak konieczność opracowania sposobu unieruchomienia indywidualnie do każdego układu, dodatkowe koszty nośnika i odczynników oraz zwiększenie oporów transferu masy (ograniczenia dyfuzyjne). Trzeba podkreślić, że nie ma jednej uniwersalnej metody immobilizacji dla wszystkich enzymów lub dla wszystkich zastosowań danego enzymu. Wybór określonej procedury, nośnika, lub nawet odpowiedniego enzymu silnie zależy od wybranego procesu. Immobilizacja enzymu może być zbyt kosztowna i pracochłonna w przypadku, gdy enzym jest tani.

Polisiloksany jako nośniki katalizatorów

Polisiloksany jako nośniki katalizatorów wykazują bardzo ciekawe i obiecujące własności. Duża trwałość termiczna i chemiczna (z wyjątkiem mocnych kwasów i zasad), dobra rozpuszczalność w większości rozpuszczalników organicznych, a przede wszystkim wyjątkowa giętkość łańcucha powodująca szybkie zmiany konformacyjne, co ułatwia dostęp do grup funkcyjnych i miejsc aktywnych. Doskonałe własności powierzchniowe wskazują na przydatność polisiloksanów jako nośników katalizatorów reakcji na granicy faz. Łatwość modyfikacji grup bocznych daje elastyczność w doborze ligandów [10]. Możliwość otrzymania różnych topologii (liniowych, rozgałęzionych, szcotek, dendrymerów) pozwala na optymalizację struktury nośnika do wymagań procesu. Ponadto, hydrofobowy charakter polisiloksanów w połączeniu z hydrofilowością enzymów, nadaje połączeniom enzym-polisiloksan charakter amfifilowy, co powinno zwiększać ich rozpuszczalność w rozpuszczalnikach organicznych.

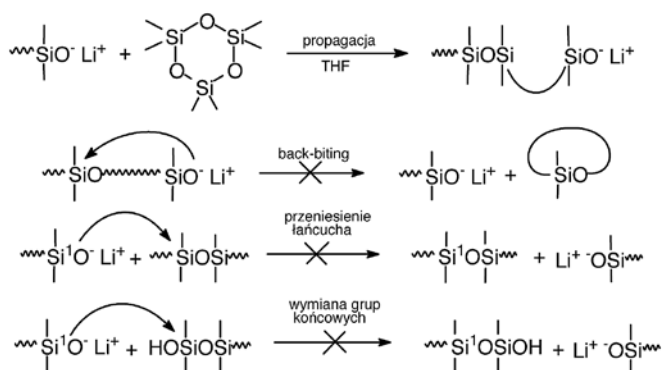
Rozpuszczalne polisiloksany jako nośniki katalizatorów nie były dotychczas systematycznie badane, a doniesienia na ten temat są nieliczne. Wszystkie dotyczą wiązania kompleksów metali. Nie ma doniesień na temat kowalencyjnego wiązania enzymów z rozpuszczalnymi polisiloksanami. Rodowe katalizatory hydroformulowania immobilizowane na polisiloksanach zostały opisane przez Farrella [11]. $\text{Cr}(\text{CO})_3$ osadzony na polifenylsiloksanie zastosowano jako stereoselektywny katalizator uwodornienia [12]. Kompleksy cyrkonowe osadzone na polisiloksanie testowane były jako katalizatory polimeryzacji olefin [13]. Chiralny kompleks wanaadu(IV) związany kowalencyjnie z polidimetylosiloksanem okazał się skutecznym katalizatorem w reakcjach Dielsa-Aldera [14]. We wszystkich przypadkach stosowano jedynie liniowe polisiloksany. Nieznana jest więc zależność aktywności katalitycznej i trwałości od topologii makrocząsteczek oraz od rodzaju i gęstości grup kowalencyjnych.

W dotychczasowych pracach Autorów zbadano zastosowania rozpuszczalnych polisiloksanów o różnych topologiach, od liniowych, poprzez gwiaździste do hiperrozgałęzionych, z różnymi grupami funkcyjnymi do immobilizacji metali przejściowych [15–17] oraz enzymów [18].

Synteza funkcyjnych polisiloksanów o dobrze określonych strukturach

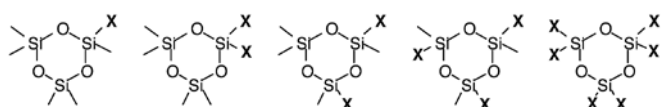
W przypadku gdy kontrola budowy makrocząsteczki nie jest niezbędna, polisiloksany najprościej otrzymać przez równoważenie mieszaniny oligomerów otrzymanych w procesie hydrolizy chlorosilanów (jest to najtańsza metoda syntezy tych polimerów) [19]. Jeśli topologia i wielkość makrocząsteczek nośnika ma znaczenie, zastosowanie syntezy metodą polimeryzacji kontrolowanej staje się konieczne.

Najlepiej rozpoznaną metodą pozwalającą na kontrolę struktury otrzymanych polisiloksanów jest anionowa polimeryzacja z otwarciem pierścienia cyklotrisiloksanów (Rys. 1) [20, 21]. Dzięki naprężeniom w pierścieniu, rozerwanie wiązania Si-O i addycja do rosnącego łańcucha jest znacznie szybsza niż konkurencyjne procesy przeniesienia łańcucha (Rys. 1). Niezwykle ważny jest także odpowiedni dobór układu inicjującego. Jednym z najprostszych i najczęściej stosowanych jest układ BuLi/THF. W optymalnych warunkach, w kinetycznie kontrolowanym etapie procesu, otrzymać można polimer z wydajnością ponad 90%. Uzyskany polimer ma ciężar cząsteczkowy odpowiadający proporcji użytego monomeru do inicjatora i charakteryzuje się wąskim rozrzutem ciężarów [19].

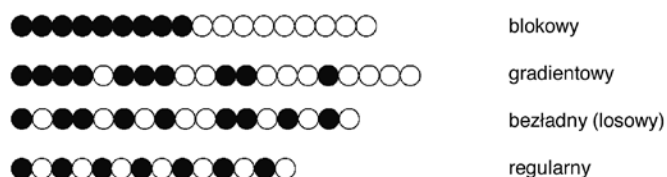


Rys. 1. Kontrolowana anionowa polimeryzacja z otwarciem pierścienia cyklotrisiloksanów

Zastosowanie różnych funkcyjnych monomerów pozwala na kontrolę gęstości i rozkładu grup bocznych w łańcuchu (Rys. 2). W kontrolowanej kopolimeryzacji funkcyjnych cyklotrisiloksanów z heksametylocyklotrisiloksanem można dodatkowo sterować rozkładem grup funkcyjnych wzdłuż łańcucha. W zależności od warunków reakcji, można otrzymać polimer o rozkładzie ligandów bezładnym, blokowym, gradientowym lub naprzemiennym (Rys. 3) [22].

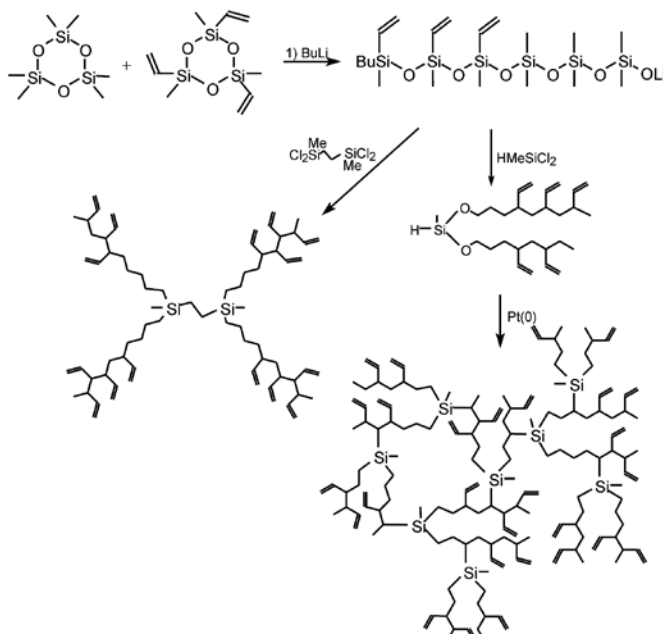


Rys. 2. Funkcyjne cyklotrisiloksany o różnej liczbie grup funkcyjnych



Rys. 3. Możliwe rozkłady ligandów w łańcuchu

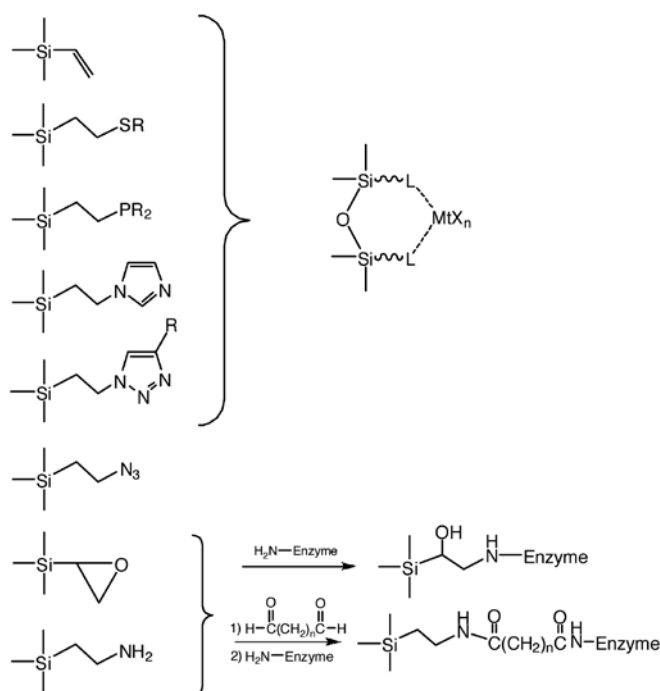
Dotychczas omówiono metody kontrolowanej syntezy liniowych polisiloksanów. Wykorzystując odczynniki funkcyjne, reagujące z aktywnymi końcami łańcucha polimeru można otrzymać bardziej złożone struktury makrocząsteczkowe, gwiazdowe lub hiperrozgałęzione (Rys. 4) [15, 23].



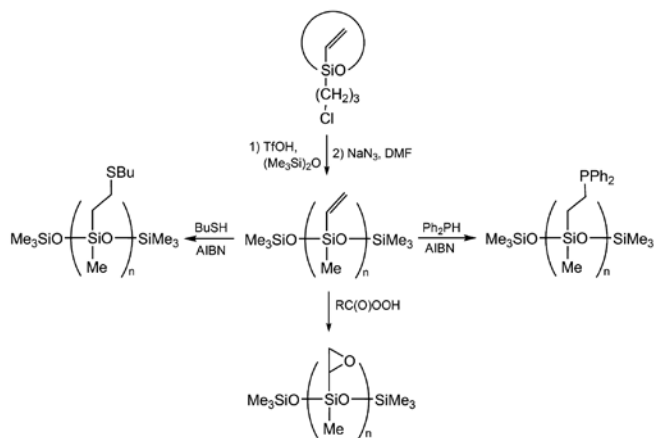
Rys. 4. Synteza złożonych topologii polisiloksanowych

Wprowadzanie grup wiążących katalizator

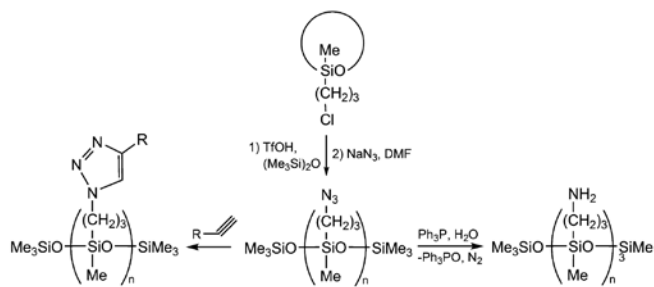
Jak wspomniano, polisiloksan posiadający grupy wiążące katalizator otrzymuje się albo na drodze polimeryzacji monomeru zawierającego odpowiednie grupy, albo najpierw otrzymuje się polimer z grupami prekursorowymi, które następnie zamienia się na właściwe ligandy poprzez reakcje na polimerze [24]. Jedną z najczęściej stosowanych grup prekursorowych jest grupa winylowa (Rys. 5) [10, 22, 24]. Grupa ta, oprócz podatności na modyfikacje jest również ligandem efektywnie wiążącym metale przejściowe. W pracach Autorów wykorzystano tę grupę, zarówno jako grupę kotwiczącą metale jak i jako prekursor do syntezy ligandów siarczkowych i fosfonowych, oraz funkcji epoksydowych do wiązania enzymu (Rys. 6). Coraz większe znaczenie jako grupa prekursorowa zyskuje grupa azydkowa, przede wszystkim ze względu na zastosowanie w tzw. *click chemistry* [25]. Przekształcenia grupy N₃ doprowadziły do otrzymania ligandów triazolowych i aminowych (Rys. 7).



Rys. 5. Grupy funkcyjne wiążące katalizator i prekursorowe wykorzystywane do wprowadzania właściwego ligandu



Rys. 6. Modyfikacje grupy winylowej



Rys. 7. Modyfikacje grupy azydkowej

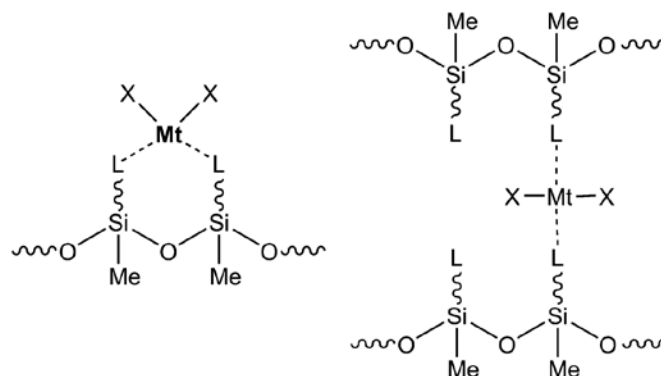
Immobilizacja katalizatorów

Immobilizacja metali na otrzymanych polisiloksanach z grupami winylowymi, butylosiarczkowymi i difenylfosfinowymi polegała na wymianie ligandów rozpuszczalnych kompleksów palladu, $\text{PdCl}_2(\text{PhCN})_2$, i rodu, $[\text{RhCl}(\text{CO})_2]_2$, z odpowiednim polimerem w toluenie. Miarą postępu reakcji wymiany było odbarwienie roztworu i pojawienie się osadu polimeru. Metal może być wiązany wewnątrzcząsteczkowo przez dwa sąsiednie ligandy w łańcuchu lub międzycząsteczkowo przez ligandy z dwóch łańcuchów polimeru. Prawdopodobne struktury kompleksów z polimerami pokazano na Rysunku 8. Wiązania międzycząsteczkowe powodują sieciowanie polimeru, a więc jego nierozpuszczalność, ale jest to proces odwracalny, bowiem w środowisku reakcji wiązania koordynacyjne mogą ulec zerwaniu. Immobilizowane katalizatory analizowano za pomocą spektroskopii dalekiej podczerwieni, ^{29}Si NMR, fluorescencji rentgenowskiej (XRF) oraz spektroskopii fotoelektronowej (XPS). W przypadku palladu wszystkie metody wykazały obecność metalu w polimerach. Zawartość rodu była zbyt mała, by IR i NMR pokazały jednoznacznie jego obecność. Spektroskopia XRF natomiast potwierdziła zawartość obu metali w polimerach, zgodną z obliczoną teoretycznie. Na podstawie widm XPS można stwierdzić, że stopień utlenienia metalu po immobilizacji nie ulega zmianie. Analizy termogravimetryczne (TGA) wykazały, że polisiloksany po immobilizacji metali zachowują trwałość do 200°C .

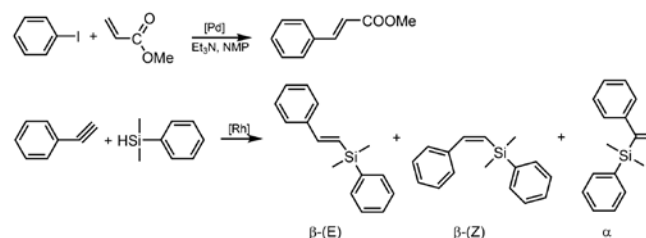
Spośród różnych prób kowalencyjnego związania modelowego enzymu (lipaza z *Candida rugosa*) z polisiloksanami, najbardziej interesujące wyniki dała reakcja z grupami epoksydowymi (Rys. 5). Polisiloksan podstawiony grupami epoksydowymi otrzymano w wyniku utlenienia grup winylowych kwasem nadkarboksylowym (Rys. 6) [26]. Jednak kontrola procesu immobilizacji była bardzo trudna i osadzone enzymy wykazywały nieprzewidywalne własności katalityczne. Aktywność enzymów badano za pomocą modelowej reakcji hydrolizy palmitynianu p-nitrofenolu.

Znacznie lepsze efekty uzyskano stosując kompleksy palladu i rodu immobilizowane na polisiloksanach. Katalizatory te były testowane w modelowych reakcjach: Hecka-Mizoroki [15] i Suzuki [16] (Pd) i hy-

drosilowaniu (Rh) [17] (Rys. 9). W obu przypadkach aktywności katalityczne immobilizowanych metali były porównywalne z katalizatorami homogenicznymi. Wyodrębnione katalizatory palladowe zachowywały swoją aktywność, mimo częściowej utraty palladu, co najmniej do 10 cykli reakcji. Katalizatory rodowe były dużo mniej trwałe. Z reguły traciły aktywność po pierwszym cyklu reakcyjnym. Spektroskopia XRF wykazywała utratę ok. 90% rodu. Najlepsze wyniki dla obu układów osiągnęto stosując polimery liniowe jako nośniki. Polisiloksany o strukturach rozgałęzionych były mniej efektywne. Można to wyjaśnić trudniejszą dostępnością centrów metalicznych, związanych z wewnętrznymi fragmentami łańcuchów polisiloksanu. W konsekwencji aktywne były tylko grupy położone w zewnętrznej części cząsteczki polimeru. Nie obserwowano istotnych różnic aktywności w zależności od ligandów wiążących metal, z jednym wyjątkiem: ligandy siarczkowe znacznie obniżały aktywność katalizatorów rodowych. Jest to prawdopodobnie wynik zatrucia katalizatora. Aktywność katalizatorów rodowych badano w trzech rozpuszczalnikach o różnej polarności: toluenie, tetrahydrofuranie i dichloroetanie. Postęp reakcji i udziały produktów mierzono za pomocą chromatografii gazowej. Nie obserwowano zasadniczych różnic w aktywnościach badanych kompleksów w zależności od rozpuszczalnika. Natomiast selektywność hydrosilowania znacząco zależała od struktury nośnika i od rozpuszczalnika. Wpływ struktury nośnika na selektywny przebieg reakcji można zaobserwować szczególnie wyraźnie w przypadku reakcji prowadzonych w toluenie i dichloroetanie. Wraz ze wzrostem rozgałęzienia polimeru powstaje więcej formy β -(E), jednocześnie obserwuje się wzrost frakcji α (Rys. 9). Proporcje produktów zależą także od ligandów przy krzemie. W przypadku winylosiloksanów dominującym produktem jest izomer β -(Z) (70–80%). Ligandy siarczkowe i fosfinowe powodują że izomery β -(Z) i β -(E) powstają w porównywalnych ilościach.



Rys. 8. Prawdopodobne struktury kompleksów metali z polisiloksanem



Rys. 9. Modelowe reakcje do testów aktywności katalitycznej palladu i rodu osadzonych na polisiloksanach

Wnioski

Funkcyjne polisiloksany wyposażone w grupy boczne winylowe, siarczkowe, fosfinowe i imidazolowe okazały się dobrymi nośnikami dla palladu, dając trwałe i aktywne katalizatory, których aktywność w reakcji Hecka-Mizoroki była porównywalna z aktywnością homogenicznego kompleksu. Immobilizacja rodu dostarczyła również bardzo aktywnych katalizatorów reakcji hydrosilowania, które jednak były

nietrwałe z powodu intensywnego wymywania metalu z powierzchni nośnika. Selektywność hydrosililowania zależała od topologii nośnika, rodzaju ligandów i – w mniejszym stopniu – od rozpuszczalnika. Dla obydwu testowanych metali najlepsze wyniki osiągnano stosując jako nośniki polimery liniowe. Polisiloksany o strukturach rozgałęzionych były mniej efektywne. Można to wyjaśnić trudniejszą dostępnością centrów metalicznych związanych z wewnętrznymi fragmentami łańcuchów polisiloksanu. Reakcja modelowego enzymu (lipaza z *Candida rugosa*) z polisiloksanem z grupami epoksydowymi dała związki kowalencyjne enzym-polisiloksan. Jednak kontrola procesu immobilizacji była bardzo trudna, a związane z polisiloksanami enzymy wykazywały nieprzewidywalną, przypadkową aktywność katalityczną w modelowej reakcji hydrolizy estru.

Praca w części finansowana z grantu MNiSW nr N N204 131435.

Literatura

1. *Polymer-Supported Catalysts and Reagents*. ChemFiles, 2011, **5**, 16. (<http://www.sigmaaldrich.com/chemistry/drug-discovery.html>)
2. Bergbreiter, D. E.: *Using Soluble Polymers To Recover Catalysts and Ligands*. Chemical Reviews 2002, **102**, 3345–3384.
3. Bergbreiter, D. E., Tian J., Hongfa C.: *Using Soluble Polymer Supports To Facilitate Homogeneous Catalysis*. Chemical Reviews 2009, **109**, 530–582.
4. Dickerson, T. J., Reed N. N., Janda K. D.: *Soluble Polymers as Scaffolds for Recoverable Catalysts and Reagents*. Chemical Reviews 2002, **102**, 3325–3344.
5. End, N., Schöning K.-U.: *Immobilized Catalysts in Industrial Research and Application*. Topics in Current Chemistry 2004, **242**, 241–271.
6. Fan, Q.-H., Li Y.-M., Chan A. S. C.: *Recoverable Catalysts for Asymmetric Organic Synthesis*. Chemical Reviews 2002, **102**, 3385–3465.
7. Uozumi, Y.: *Recent Progress in Polymeric Palladium Catalysts for Organic Synthesis*. Topics in Current Chemistry 2004, 77–112.
8. End, N., Schöning K.-U.: *Immobilized Biocatalysts in Industrial Research and Production*. Topics in Current Chemistry 2004, **242**, 273–317.
9. Cao, L., *Carrier-bound Immobilized Enzymes*. Wiley-VCH 2005.
10. Boutevin, B., Guida-Pietrasanta F., Ratsimihety A., *Side group modified polysiloxanes*, in *Silicon-Containing Polymers, The Science and Technology of Their Synthesis and Applications*, R.G. Jones, W. Ando, and J. Chojnowski, Editors. 2000, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht. p. 79–112.
11. Farrell, M. O., van Dyke C. H., Boucher L. J., Metlin S. J.: *Preparation and properties of rhodium(I) complexes of phosphinated poly(methylsiloxanes)*. Journal of Organometallic Chemistry 1979, **172**, 367–376.
12. Awl, R. A., Frankel E. N., Friedrich J. P., Swanson C. L.: *Tricarbonylchromium-complexed phenylsiloxane polymers as stereoselective hydrogenation catalysts: Preparation and properties*. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry 1980, **18**, 2663–2676.
13. Arai, T., Ban H. T., Uozumi T., Soga K.: *Syntheses of poly(siloxan)-supported zirconocene catalysts and application to olefin polymerizations*. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry 1998, **36**, 421–428.
14. Keller, F., Weinmann H., Schurig V.: *Chiral Polysiloxane-Fixed Metal 1,3-Diketones (Chirasil-Metals) as Catalytic Lewis Acids for a Hetero Diels-Alder Reaction – Inversion of Enantioselectivity Upon Catalyst-Polymer Binding*. Chemische Berichte 1997, **130**, 879–885.
15. Cypryk, M., Pospiech P., Strzelec K., Wasikowska K., Sobczak J. W.: *Soluble polysiloxane-supported palladium catalysts for the Mizoroki-Heck reaction*. Journal of Molecular Catalysis A-Chemical 2010, **319**, 30–38.
16. Borkowski, T., Zawartka W., Pospiech P., Mizerska U., Trzeciak A. M., Cypryk M., Tylus W.: *Reusable functionalized polysiloxane-supported palladium catalyst for Suzuki-Miyaura cross-coupling*. Journal of Catalysis 2011, **282**, 270–277.
17. Cypryk, M., Pospiech P., Strzelec K.: *Rhodium catalysts immobilized on polysiloxanes. Activity in hydrosilylation*. w przygotowaniu 2013.
18. Pospiech, P., Cypryk, M., Basińska, T.: *Polysiloxanes as Supports for Enzymes*. *Polymers for Advanced Technologies*, 2-5.X.2011, Łódź, Program and Short Abstracts, P-64, str. 74.
19. Chojnowski, J., Cypryk M.: *Synthesis of Linear Polysiloxanes*, in *Silicon-Containing Polymers, The Science and Technology of Their Synthesis and Applications*, R.G. Jones, W. Ando, and J. Chojnowski, Editors. Kluwer Academic Publishers 2000, 3–41.
20. Chojnowski, J.: *Kinetically Controlled Ring-Opening Siloxane Polymerization*. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers 1991, **1**, 299–325.
21. Cypryk, M.: *General Review on Polysiloxane Synthesis*, R. DeJaeger and M. Gleria, Editors. NOVA Science Publishers 2007, 1–59.
22. Chojnowski, J., Cypryk M., Fortuniak W., Różga-Wijas K., Ścibiorek M.: *Controlled synthesis of vinylmethylsiloxane-dimethylsiloxane gradient, block and alternate copolymers by anionic ROP of cyclotrisiloxanes*. Polymer 2002, **43**, 1993–2001.
23. Chojnowski, J., Cypryk M., Fortuniak W., Ścibiorek M., Różga-Wijas K.: *Synthesis of branched polysiloxanes with controlled branching and functionalization by anionic ring-opening polymerization*. Macromolecules 2003, **36**, 11, 3890–3897.
24. Cypryk, M., Delczyk B., Pospiech P., Strzelec K.: *Modifications of siloxane polymers*. Polimery 2007, **52**, 496–502.
25. Bräse, S., Gil C., Knepper K., Zimmermann V.: *Organic Azides: An Exploding Diversity of a Unique Class of Compounds*. Angewandte Chemie International Edition 2005, **44**, 33, 5188–5240.
26. Bauer, J., Hüsing N., Kickelbick G.: *Synthesis of new types of polysiloxane based surfactants*. Chemical Communications 2001, 137–138.

Prof. dr hab. Marek CYPRYK jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej (1974). Doktorat otrzymał w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN (1982). Obecnie pracuje w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN na stanowisku profesora, kierownika Samodzielnej Pracowni Modelowania Komputerowego. Zainteresowania naukowe: chemia polimerów, modelowanie molekularne. Jest autorem 10. rozdziałów w monografiach, 85. artykułów w prasie naukowo-technicznej i autorem lub współautorem 130. referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych.

e-mail: mcypryk@cbmm.lodz.pl, tel. +48 42 680 314

Dr Piotr POSPIECH jest absolwentem Wydziału Chemii Uniwersytetu Łódzkiego (2005). Obecnie pracuje w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN. Zainteresowania naukowe: chemia polimerów, synteza organiczna. Jest współautorem 9. artykułów w czasopismach naukowych i autorem lub współautorem 32. referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych.

CHEMIK nauka • technika • rynek

2014 PRENUMERATA

CHEMIK nauka-technika-rynek, to m.in.:

- publikacje naukowo-techniczne, problemowe, przeglądowe
- opinie ludzi nauki i przemysłu – warto wiedzieć, co inni mają do powiedzenia
- rzetelne źródło informacji o firmach, inwestycjach, konferencjach, targach naukowo-technicznych

[www.miesiecznikchemik.pl/prenumerata](http://www miesiecznikchemik.pl/prenumerata)