

# **Autoreferat**

**Beata Zielińska**

## **Tytuł**

**“Badania nad metodami otrzymywania i właściwościami materiałów  
używanych jako fotokatalizatory“**

## **1. Imię i Nazwisko**

**Beata Zielińska**

## **2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu pracy doktorskiej**

### **Wykształcenie i stopnie naukowe**

#### **- doktor**

Politechnika Szczecińska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, 12 maj 2003 r., dziedzina – nauki techniczne, dyscyplina – technologia chemiczna o specjalności technologia nieorganiczna i kataliza.

Tytuł pracy: „*Badanie fotokatalitycznego usuwania barwników organicznych z wody z użyciem zawiesiny  $TiO_2$* ”.

#### **- magister inżynier**

Politechnika Szczecińska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, 8 lipiec 1998 r., specjalność w zakresie – technologie ochrony środowiska i materiałów ekologicznych.

Tytuł pracy: „*Zagospodarowanie fosfogipsu do siarczanu potasu*”.

## **3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych**

### **01.10. 2003 - 31.08.2005**

Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk Przyrodniczych, Katedra Chemii i Ochrony Środowiska Wodnego, ul. Felczaka 3a, 71-412, Szczecin.

Pracownik naukowo - dydaktyczny, adiunkt

**01.09.2005 – 30.09.2005**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie (poprzednio Politechnika Szczecińska), Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Instytut Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska, ul. Pułaskiego 10, 70 – 322, Szczecin  
Pracownik naukowo - dydaktyczny, asystent

**01.10.2005 -**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie (poprzednio Politechnika Szczecińska), Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Instytut Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska, ul. Pułaskiego 10, 70 – 322, Szczecin  
Pracownik naukowo - dydaktyczny, adiunkt

**4. Wskazanie osiągnięcia naukowego / artystycznego<sup>1</sup> wynikającego z art.16 ust.2 ustawy z dnia 14 czerwca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 ze zm.).**

**A. Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego**

**Cykl publikacji na temat:**

**“Badania nad metodami otrzymywania i właściwościami materiałów używanych jako fotokatalizatory“.**

**B. (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa)**

[B-1] **B. Zielińska**, A.W. Morawski: TiO<sub>2</sub> photocatalysts promoted by alkali metals, **Appl. Catal. B.**, 55, 2005, 221–226

[B-2] **B. Zielińska**, E. Borowiak-Paleń (obecnie Mijowska), R.J. Kaleńczuk, Photocatalytic hydrogen generation over alkaline-earth titanates in the presence of electron donors, **Int. J Hydrogen Energy**, 33, 2008, 1797-1802

[B-3] **B. Zielińska**, M. Arabczyk, R.J. Kaleńczuk, Preparation of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> photocatalysts modified by alkali metals (Li, Na, K) and its photocatalytic performance, **Polish J Chem.**, 81, 2007, 1355-1362

[B-4] **B. Zielińska**, E. Borowiak-Paleń (obecnie Mijowska), R.J. Kaleńczuk, Preparation and characterization of lithium niobate as a novel photocatalyst in hydrogen generation, **J. Phys. Chem. Solids**, 69, 2008, 236-242

[B-5] **B. Zielińska**, J. Sreńscek-Nazzal, R.J. Kaleńczuk, Photocatalytic hydrogen generation over alkali niobates in the presence of organic compounds, **Polish J. Chem. Technol.**, 10, 4, 2008, 1-3

[B-6] **B. Zielińska**, R.J. Kaleńczuk, Preparation and characterization of alkali tantalates as photocatalysts in hydrogen generation, **Polish J Environ. Stud.**, 18(1b), 2009, 274-277

[B-7] **B. Zielińska**, R.J. Kaleńczuk, Comparison of NaNbO<sub>3</sub> AND NaTaO<sub>3</sub> as the photocatalysts in the reaction of hydrogen generation, **Polish J. Chem. Technol.**, 12, 2010, 33-35

[B-8] **B. Zielińska**, E. Borowiak-Paleń (obecnie Mijowska), R. J. Kaleńczuk, Preparation, characterization and photocatalytic activity of metal-loaded NaNbO<sub>3</sub>, **J. Phys. Chem. Solids**, 72, 2011, 117–123

[B-9] **B. Zielińska**, E. Borowiak-Paleń (obecnie Mijowska), R.J. Kaleńczuk, Synthesis, characterization and photocatalytic properties of lithium tantalate, **Mater. Charact.** 68, 2012, 71-76

[B-10] **B. Zielińska**, E. Borowiak-Paleń (obecnie Mijowska), R. J. Kaleńczuk, Synthesis and characterization of K-Ta mixed oxides for hydrogen generation in photocatalysis, **Int. J. Photoenergy**, Volume 2012, Article ID 525727, 7 pages

[B-11] **B. Zielińska**, M. Janus, R. J. Kaleńczuk, Preparation, characterization and photocatalytic activity of Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/LiNbO<sub>3</sub> composite, **Cent. Eur. J. Chem.**, 11(6) 2013, 920-926

[B-12] **B. Zielińska**, Photocatalytic hydrogen generation with Ag loaded LiNbO<sub>3</sub>, **Bull. Mater. Sci.**, 37(4) 2014, 911-916

[B-13] K. Cendrowski, X. Chen, **B. Zielińska**, R. J. Kaleńczuk, M. H. Rummeli, B. Buchner, R. Klingeler, E. Borowiak-Paleń (obecnie Mijowska), Synthesis, characterization, and photocatalytic properties of core/shell mesoporous silica nanospheres supporting nanocrystalline titania, *J Nanopart. Res.*, 13, 2011, 5899-5908

## **C. Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. prac/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania**

### ***C1. Wprowadzenie do rozprawy habilitacyjnej***

Procesy fotokatalityczne są od wielu lat badane pod względem wykorzystania ich między innymi do otrzymywania wodoru. Pierwsze doniesienia na ten temat pochodzą z 1972 roku. W tym roku Fujishima i Honda opisali fotoelektrochemiczny rozkład czystej wody do  $H_2$  i  $O_2$  przy zastosowaniu elektrody z  $TiO_2$ . Począwszy od 2000 roku można zaobserwować gwałtowny wzrost liczby publikacji naukowych dotyczących poszukiwania nowych katalizatorów lub modyfikowania istniejących katalizatorów dla reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru. Mimo ogromnej ilości badań nad zastosowaniem tego procesu, wiele zagadnień nie zostało jeszcze do końca rozwiązanych. Między innymi, wciąż poszukuje się skutecznej metody prowadzącej do zwiększenia wydajności reakcji fotokatalitycznej w kierunku wodoru. Ponadto, wadą tego procesu jest to, że wiele materiałów fotokatalitycznych traci swoją aktywność podczas długotrwałego naświetlania. Uniemożliwia to ich ponowne zastosowanie.

Mając na uwadze ten intensywny rozwój technologii związanych z otrzymywaniem czystego nośnika energii jakim jest wodór oraz kierując się coraz to liczniejszymi doniesieniami literaturowymi na ten temat, swoje zainteresowania badawcze, po ukończeniu doktoratu, ukierunkowałam na poszukiwanie nowych materiałów katalitycznych aktywnych w reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru.

### ***C2. Omówienie najważniejszych osiągnięć zawartych w pracach przedstawionych do habilitacji***

Pierwsze badania wchodzące w zakres rozprawy habilitacyjnej stanowiły prace wstępne nad

otrzymywaniem fotokatalizatorów w postaci tytanianów metali alkalicznych oraz ziem rzadkich (Li, Na, K, Sr oraz Ba) [B-1]. Zastosowanie syntezy łączącej impregnację tlenku tytanu (IV) (Tytanpol A11, Zakłady Chemiczne Police) w wodnych roztworach związków metali z kalcynacją w temperaturze 550°C (Li, Na, K oraz Ba) i 1200°C (Sr) prowadziło do uzyskania katalizatorów stanowiących mieszaniny anatazowej formy  $\text{TiO}_2$  i odpowiednich tytanianów:  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ ,  $\text{Na}_8\text{Ti}_5\text{O}_{14}$ ,  $\text{K}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13}$ ,  $\text{SrTiO}_3$  oraz  $\text{BaTiO}_3$ . Na podstawie testów fotokatalitycznych, stwierdziłam, że jedynie materiały zawierające tytaniany o strukturze perowskitów ( $\text{SrTiO}_3$  oraz  $\text{BaTiO}_3$ ) charakteryzowały się wyższą, w porównaniu do wyjściowego  $\text{TiO}_2$ , fotokatalityczną aktywnością.

Wychodząc od powyższych rezultatów w kolejnych badaniach skupiłam się nad syntezą tytanianów Ca, Sr oraz Ba o strukturze perowskitów –  $\text{ABO}_3$  [B-2]. Materiały te otrzymywałam w typowej reakcji w fazie stałej stosując jako substraty komercyjny tlenek tytanu (IV) (Tytanpol A11) oraz odpowiednie węglany ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ , temp. kalcynacji - 1000°C, stosunek molowy  $\text{Me}/\text{TiO}_2$  – 1:1). Produktami końcowym powyższej syntezy były oczekiwane tytaniany (IV) wapnia, baru oraz strontu ( $\text{CaTiO}_3$ ,  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{SrTiO}_3$ ). Materiały te wykazały się niewielką aktywnością fotokatalityczną w kierunku generowania wodoru, gdy źródłem tego gazu była czysta woda. Okazało się jednak, że zastosowanie prostych modelowych związków organicznych, charakteryzujących się tym, iż są dobrymi akceptorami fotogenerowanych dziur ( $\text{h}^+$ ) znacznie zwiększyło wydajność reakcji. Stwierdziłam, że wśród badanych materiałów,  $\text{SrTiO}_3$  charakteryzował się najwyższą aktywnością w reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru, gdy do środowiska reakcji wprowadzałam 2-propanol. Ilość otrzymanego wodoru była dwukrotnie wyższa dla  $\text{SrTiO}_3$  niż wyjściowego  $\text{TiO}_2$ . Na podstawie przeprowadzonych badań dowiodłam, że ilość wydzielonego w reakcji wodoru w decydującym stopniu zależy od rodzaju zastosowanego organicznego donora elektronów. Udowodniłam, że spośród badanych modelowych związków organicznych (metanol, 2-propanol, kwas mrówkowy, kwas octowy oraz formaldehyd), kwas mrówkowy jest najbardziej efektywnym donorem elektronów. Ilość generowanego  $\text{H}_2$  w obecności  $\text{HCOOH}$  była 12-krotnie większa niż dla kwasu octowego i 2-propanolu. Określiłam również optymalną zawartość fotokatalizatora  $\text{SrTiO}_3$  wynoszącą 0,1 g na 0,8 dm<sup>3</sup> modelowego roztworu kwasu mrówkowego.

W kolejnym etapie badań skupiłam się nad technologią otrzymywania alkalicznych niobianów i tantalanów również o strukturze perowskitów (podobnie jak w przypadku tytanianów). Pierwsze badania dotyczące syntezy tych związków przedstawiłam w artykule opublikowanym

w czasopiśmie *Polish Journal of Chemistry* [**B-3**]. Aktywność otrzymanych materiałów badałam w reakcji fotokatalitycznego usuwania fenolu z wody. Następnie określiłam wpływ temperatury kalcynacji na właściwości fizykochemiczne (morfologia, skład fazowy, powierzchnia właściwa, energia pasma wzbronionego) oraz aktywności fotokatalityczne w kierunku generowania wodoru takich związków jak: tantal (V) litu ( $\text{LiTaO}_3$ ), niobian (V) litu ( $\text{LiNbO}_3$ ), tantal (V) sodu ( $\text{NaTaO}_3$ ), niobian (V) sodu ( $\text{NaNbO}_3$ ) oraz tantal (V) potasu ( $\text{KTaO}_3$ ) [**B-4**, **B-7**, **B-9**, **B-10**]. Do otrzymywania powyższych materiałów zaproponowałam syntezę prowadzoną w dwóch etapach: (1) impregnacja  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  lub  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  w wodnych roztworach odpowiednich wodorotlenków metali (2) kalcynacja otrzymanych osadów w zakresie temperatur od  $450^\circ\text{C}$  to  $800^\circ\text{C}$ .

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń stwierdziłam, że w temperaturze  $550^\circ\text{C}$  obok  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  zaczyna się tworzyć  $\text{LiNbO}_3$  (*poniżej  $550^\circ\text{C}$  obecny jedynie nieprzereagowany  $\text{Nb}_2\text{O}_5$* ) [**B-4**]. Materiał składający się z czystej fazy  $\text{LiNbO}_3$  otrzymałam po 20 godzinach kalcynacji w temperaturze  $550^\circ\text{C}$  [**B-12**]. Powyżej temperatury  $550^\circ\text{C}$  obok  $\text{LiNbO}_3$  pojawia się nowa forma niobianowa –  $\text{LiNb}_3\text{O}_8$ . Udowodniłam, że jednym z parametrów, który ma istotny wpływ na ilość wydzielonego w reakcji wodoru jest stężenie organicznego donora elektronów. **Osiągnięciem tego etapu badań jest weryfikacja hipotezy odnośnie wyjaśnienia powyższych rezultatów: początkowy wzrost ilości wydzielonego w reakcji fotokatalitycznej wodoru wraz ze wzrostem stężenia kwasu mrówkowego (od  $1 \text{ mmol/dm}^3$  do  $100 \text{ mmol/dm}^3$ ) wytłumaczyłam współzawodnictwem pomiędzy cząsteczkami wody, a cząsteczkami kwasu mrówkowego o dziury ( $\text{h}^+$ ) generowane w paśmie walencyjnym fotokatalizatora.** Cząsteczki wody znajdujące się w roztworze kwasu mrówkowego w reakcji z dziurami ulegają rozkładowi do rodników hydroksylowych ( $\text{OH}^\cdot$ ) i jonów  $\text{H}^+$ . Uzyskane w ten sposób rodniki hydroksylowe w dalszych reakcjach powodują powstawanie tlenu ( $\text{O}_2$ ). Tlen obecny w środowisku reakcji konkuruje natomiast z jonami  $\text{H}^+$  o elektrony znajdujące się w paśmie przewodnictwa fotokatalizatora. Dalszy spadek ilości wydzielonego wodoru wraz ze wzrostem stężenia  $\text{HCOOH}$  (od  $100 \text{ mmol/dm}^3$  do  $1000 \text{ mmol/dm}^3$ ) jest spowodowany prawdopodobnie przez wzrost adsorpcji  $\text{HCOOH}$  na powierzchni fotokatalizatora. Zjawisko to powoduje ograniczony dostęp promieniowania UV do powierzchni katalizatora, czego konsekwencją jest spadek ilości otrzymanego  $\text{H}_2$ .

Kolejna seria badań dotyczyła otrzymywania niobianu (V) sodu ( $\text{NaNbO}_3$ ) oraz tantal (V) sodu ( $\text{NaTaO}_3$ ) [**B-7**]. Obie fazy tworzą się obok nieprzereagowanych tlenków  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  i  $\text{Ta}_2\text{O}_5$

w próbkach kalcynowanych już w temperaturze 450°C. Wraz ze wzrostem temperatury kalcynacji zawartość fazy niobianowej i tantalanej w próbkach rośnie. Ma to jednak negatywny wpływ na aktywność fotokatalityczną otrzymanych materiałów. Stwierdziłam, że ilość wydzielonego wodoru malała wraz ze wzrostem temperatury kalcynacji. Efekt ten można wyjaśnić postępującym wraz ze wzrostem temperatury spadkiem powierzchni właściwej BET otrzymanych materiałów. **Porównując obie serie katalizatorów zaobserwowałam, że najwyższą fotokatalityczną aktywność posiadał materiał otrzymany w temperaturze 450°C i stanowiący mieszaninę NaTaO<sub>3</sub> i Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oraz charakteryzujący się największą powierzchnią właściwą BET.**

Wychodząc od tlenku tantalu (V) oraz wodorotlenku litu otrzymałam serię materiałów o różnym składzie fazowym [B-9]. Przy początkowym wzroście temperatury kalcynacji w zakresie 450-600°C uzyskane próbki stanowiły mieszaniny dwóch faz o różnej zawartości procentowej: Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oraz LiTaO<sub>3</sub>. Czysty tantal (V) litu otrzymałam powyżej temperatury 600°C. Udowodniłam, że spośród wielu właściwości fotokatalizatora (wielkość cząstek, skład fazowy, powierzchnia właściwa) wpływających na jego aktywność decydującym był skład fazowy. Materiał o najwyższej fotokatalitycznej aktywności otrzymałam w temperaturze 550°C, a jego skład wyznaczony na podstawie analizy dyfraktometrycznej był następujący: 85% LiTaO<sub>3</sub> oraz 15% nieprzereagowanego Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. **Uzyskane wyniki wskazywały na to, że rozdział fotogenerowanych elektronów i dziur pomiędzy dwoma fazami był efektywny, dzięki czemu proces rekombinacji wytworzonych nośników ładunku został ograniczony.**

W kolejnym etapie badań skupiłam się nad syntezą katalizatorów opartych na Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i KOH [B-10]. W zależności od temperatury kalcynacji otrzymałam grupę materiałów o zróżnicowanym składzie fazowym. Materiały kalcynowane w zakresie temperatur 500-650°C były mieszaniną nieprzereagowanego Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oraz KTaO<sub>3</sub>. W temperaturze 700°C, obok KTaO<sub>3</sub> i Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tworzyła się nowa faza tantalowa – K<sub>2</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>11</sub>. Natomiast katalizatory otrzymywane w przedziale temperatur 750-900°C zawierały dwie fazy KTaO<sub>3</sub> oraz K<sub>2</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>11</sub>. **Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń dowiodłam, że aktywność otrzymanych materiałów jest silnie powiązana z temperaturą ich otrzymywania, a co za tym idzie z ich składem. Ilość generowanego wodoru konsekwentnie malała wraz ze wzrostem temperatury kalcynacji. Efekt ten związany był z (1) wzrostem wielkości cząstek oraz (2) zmniejszeniem się powierzchni właściwej BET otrzymanych materiałów, wraz z podwyższaniem temperatury wygrzewania.** Ponadto, zanotowałam drastyczny spadek aktywności katalizatorów będących mieszaniną KTaO<sub>3</sub>



oraz  $K_2Ta_4O_{11}$ . **Uzyskane wyniki pozwoliły mi stwierdzić, że  $K_2Ta_4O_{11}$  nie jest efektywnym katalizatorem dla reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru.**

Dwie przedstawione w autoreferacie prace dotyczyły porównania aktywności alkalicznych niobianów [B-5] i tantalanów [B-6] w reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru. Uzyskane wyniki badań pokazały, że z grupy niobianów otrzymywanych w temperaturze  $550^\circ\text{C}$  najwyższą aktywnością charakteryzował się materiał zawierający w swoim składzie niobian (V) sodu ( $\text{NaNbO}_3$ ) [B-5]. Porównując natomiast aktywności fotokatalityczne tantalanów udowodniłam, że najwyższą wydajność reakcji fotokatalitycznego generowania wodoru uzyskałam dla katalizatora składającego się z 85 %  $\text{LiTaO}_3$  oraz 15%  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  [B-6, B-9].

Kolejna seria badań dotyczyła modyfikacji wybranych niobianów i tantalanów alkalicznych metalami grup przejściowych [B-8, B-11, B-12]. Określiłam między innymi wpływ dodatku związków takich metali jak Ag, Fe, Co i Ni na aktywność fotokatalityczną  $\text{NaNbO}_3$  [B-8]. Na podstawie szczegółowej charakterystyki (XRD, TEM, EDX, Raman) stwierdziłam, że wszystkie otrzymane katalizatory charakteryzują się wysoką krystalicznością oraz zawierają nową fazę tlenkową, odpowiednio  $\text{Ag}_2\text{O}$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{NiO}$  oraz  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Udowodniłam, że dodatek srebra (0,5% wagowego) w postaci  $\text{Ag}_2\text{O}$  skutecznie podnosi aktywność  $\text{NaNbO}_3$  w reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru. Tlenki pozostałych metali nie dały oczekiwanego wzrostu aktywności. **Efekt ten powiązałam z elektroujemnością poszczególnych metali. Srebro posiada wyższą wartość elektroujemności w porównaniu do niobu (różnica elektroujemności najwyższa spośród badanych metali), dzięki czemu transport fotogenerowanych elektronów do  $\text{Ag}_2\text{O}$  jest ułatwiony. Efektem jest zahamowanie negatywnego wpływu rekombinacji par elektron-dziura. Na podstawie otrzymanych rezultatów można postawić tezę, że centrum aktywnym dla reakcji redukcji  $\text{H}^+$  do  $\text{H}_2$  jest  $\text{Ag}_2\text{O}$ .**

Otrzymałam i scharakteryzowałam również serię materiałów w postaci  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{LiNbO}_3$  [B-11] oraz  $\text{Ag}_2\text{O}/\text{LiNbO}_3$  [B-12] różniących się zawartością kobaltu i srebra (0,5-4% wagowych). Udowodniłam, że modyfikacja  $\text{LiNbO}_3$  zarówno przez  $\text{Co}_3\text{O}_4$  jak i  $\text{Ag}_2\text{O}$  zwiększyła jego aktywność fotokatalityczną w kierunku generowania wodoru. Najwyższą aktywnością wykazały się materiały zawierające 3% wag. Co oraz 2% wag. Ag. **Szczególnym osiągnięciem tego etapu badań jest postawienie hipotez wyjaśniających mechanizm rozdziału fotogenerowanych elektronów i dziur dla katalizatora  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{LiNbO}_3$  [B-11]. Dowiodłam, że położenie pasma**

przewodnictwa (CB) oraz pasma walencyjnego (VB) dla  $\text{Co}_3\text{O}_4$  poniżej pasm przewodnictwa i walencyjnego  $\text{LiNbO}_3$  sprzyja transferowi elektronów z CB  $\text{LiNbO}_3$  do CB  $\text{Co}_3\text{O}_4$  oraz transferowi dziur z VB  $\text{Co}_3\text{O}_4$  do VB  $\text{LiNbO}_3$ . Taka budowa elektronowa otrzymanego kompozytu powoduje, że ładunki dodatnie gromadzą się głównie na  $\text{LiNbO}_3$  (centra utleniania), a ujemne na  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (centra redukcji). **Ten efektywny transport elektronów i dziur pomiędzy dwiema fazami hamuje proces rekombinacji prowadząc do wysokiej aktywności otrzymanych kompozytów  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{LiNbO}_3$  w kierunku generowania wodoru.** Uzyskane rezultaty można również w przypadku obu kompozytów ( $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{Ag}_2\text{O}/\text{LiNbO}_3$ ) powiązać z elektroujemnością. Zarówno srebro (1,93) jak i kobalt (1,88) posiadają wyższą wartość elektroujemności w porównaniu do niobu (1,60), co sprzyja łatwiejszemu transferowi fotogenerowanych elektronów z  $\text{LiNbO}_3$  do  $\text{Co}_3\text{O}_4$  jak i  $\text{Ag}_2\text{O}$ . Oba tlenki spełniają rolę centrów aktywnych dla reakcji redukcji  $\text{H}^+$  do gazowego wodoru.

Badalam również możliwość zastosowania struktur typu rdzeń-otoczka w procesach fotokatalitycznego otrzymywania wodoru oraz rozkładu fenolu [B-13]. Materiał zbudowany był z mezoporowatych nanosfer krzemionkowych stanowiących rdzeń i otoczki z tlenku tytanu (IV) -  $m\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ . **Otrzymano katalizator o właściwościach fotokatalitycznych lepszych niż komercyjny  $\text{TiO}_2$ -P25.  $m\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  charakteryzował się wyższą fotokatalityczną aktywnością zarówno w reakcji fotokatalitycznego rozkładu fenolu, jak i generowania wodoru.** Ten pozytywny wynik można wytłumaczyć przede wszystkim większą powierzchnią właściwą  $m\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  ( $157 \text{ m}^2/\text{g}$ ) w stosunku do  $\text{TiO}_2$ -P25 ( $52 \text{ m}^2/\text{g}$ ).

### C3. Podsumowanie-elementy nowości naukowej

Wyniki otrzymane w trakcie realizacji badań włączonych w zakres przedstawionej rozprawy habilitacyjnej pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Zapropnowałam metodę otrzymywania nowych fotokatalizatorów opartych na niobianach i tantalach metali alkalicznych [B-3, B-4, B-7, B-9, B-10].
- Określiłam wpływ temperatury kalcynacji ( $450\text{-}800^\circ\text{C}$ ) na skład fazowy katalizatorów zawierających w swoim składzie niobiany oraz tantalany metali alkalicznych oraz

ich aktywność fotokatalityczną w kierunku generowania wodoru [**B-4, B-7, B-9, B-10**].

- Udowodniłam, że aktywność materiałów opartych na niobianach i tantalanych metali alkalicznych jest silnie powiązana z temperaturą ich otrzymywania [**B-4, B-7, B-9, B-10**]. Wykazałam, że wśród wielu właściwości fotokatalizatora tj. wielkość cząstek, skład fazowy, powierzchnia właściwa, determinujących jego aktywność, decydującym był skład fazowy.
- Dowiodłam, że zastosowanie prostych związków organicznych tj. metanol, 2-propnol, kwas mrówkowy, kwas octowy oraz formaldehyd, będących akceptorami fotogenerowanych dziur, znacznie zwiększa wydajność reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru [**B-2**].
- Wykazałam, że rodzaj oraz stężenie organicznego donora elektronów ma decydujący wpływ na wydajność reakcji fotokatalitycznego generowania wodoru. Udowodniłam również, że spośród przebadanych związków, kwas mrówkowy jest najbardziej efektywnym donorem elektronów [**B-2**].
- Sformułowałam hipotezę dotyczącą wyjaśnienia wpływu stężenia organicznego donora elektronów na wydajność reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru [**B-4**].
- Określiłam wpływ dodatku związków metali tj. Ag, Fe, Co i Ni na aktywność fotokatalityczną niobianu (V) sodu ( $\text{NaNbO}_3$ ). Udowodniłam, że spośród badanych metali jedynie dodatek srebra (0,5% wag.) w postaci  $\text{Ag}_2\text{O}$  zwiększył aktywność  $\text{NaNbO}_3$  w reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru [**B-8**].
- Wykazałam, że modyfikacja niobianu (V) litu ( $\text{LiNbO}_3$ ) tlenkami:  $\text{Co}_3\text{O}_4$  oraz  $\text{Ag}_2\text{O}$  zwiększa jego aktywność fotokatalityczną w kierunku generowania wodoru [**B-11, B-12**].
- Sformułowałam hipotezę wyjaśniającą mechanizm rozdziału fotogenerowanych elektronów i dziur dla katalizatora  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{LiNbO}_3$  [**B-11**].

## **D. Najważniejsze wyniki prac o charakterze aplikacyjnym zostały zgłoszone do opatentowania:**

[D.1] **B. Zielińska**, R. Kaleńczuk, E. Mijowska, **2015**, Katalizator do fotokatalitycznego otrzymywania wodoru i sposób wytwarzania katalizatora do fotokatalitycznego otrzymywania wodoru. Zgłoszenie patentowe UP RP, nr **P.412393**

[D.2] **B. Zielińska**, R. Kaleńczuk, M. Aleksandrak, E. Mijowska, **2015**, Katalizator do usuwania barwników organicznych i sposób otrzymywania katalizatora do usuwania barwników organicznych. Zgłoszenie patentowe UP RP, nr **P.412394**.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych, dydaktycznych, współpracy naukowej oraz działalności popularyzującej naukę.**

### ***5a. Osiągnięcia naukowo-badawcze***

Po ukończeniu (1993) VII Liceum Ogólnokształcącego im. K.K. Baczyńskiego w Szczecinie (profil matematyczno – fizyczny), rozpoczęłam studia na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej na kierunku Ochrona Środowiska. W 1998 roku uzyskałam tytuł magistra inżyniera w zakresie technologii ochrony środowiska i materiałów ekologicznych. Pracę magisterską pod tytułem „Zagospodarowanie fosfogipsu do siarczanu potasu” wykonałam pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Barbary Grzmił. Wyniki uzyskane podczas realizacji pracy magisterskiej zostały przedstawione na 42 Zjeździe Naukowym PTCh i SITPChem (Zał. 4, punkt III, poz. B1.1).

Po ukończeniu studiów (1998 rok) zdałam egzamin na Studia Doktoranckie na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej. W ich trakcie, pod kierunkiem prof. dr hab. inż. A. Waldemara Morawskiego, prowadziłam badania w Instytucie Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska. W pracy badawczej skupiłam się nad porównaniem aktywności fotokatalitycznej dwóch typów tlenku tytanu (IV): Degussa P25 (Niemcy) i Tytanpol A11 (Zakłady Chemiczne Police) w reakcji fotokatalitycznego usuwania barwników organicznych z wody. Otrzymane wyniki zostały opublikowane w czasopiśmie: *Applied Catalysis*

*B, Journal of Photochemistry and Photobiology A (Zał. 4, punkt II, pozycje A1.1 - A1.3), Gaz Woda i Technika Sanitarna (Zał. 4, punkt II, poz. E1.1) oraz przedstawione na jednej konferencji naukowej (Zał. 4, punkt III, poz. B1.2). W ramach Studium Doktoranckiego wykonałam w latach 1998-2001 360 godzin zajęć dydaktycznych – laboratoryjnych ze studentami Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej z przedmiotów: Technologie uzdatniania wody i ścieków, Analiza wody i ścieków, Przemysłowe laboratorium technologiczne, Technologie minimalizacji odpadów i zanieczyszczeń, Projekt technologiczny w ochronie środowiska, Wybrane zagadnienia z nowoczesnych technik zarządzania przedsiębiorstwem oraz Podstawy informatyki. Ponadto byłam zaangażowana w opiekę nad studentami wykonującymi prace magisterskie pod kierunkiem prof. dr hab. inż. A. W. Morawskiego. Byłam również wykonawcą w trzech projektach badawczych finansowanych przez Komitet Badań Naukowych (Zał. 4, punkt II, poz. J1.1-J1.3).*

12 maja 2003 roku obroniłam pracę doktorską pt. „Fotokatalityczne usuwanie barwników organicznych z wody z użyciem zawiesiny  $\text{TiO}_2$ ” i uzyskałam stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie technologia chemiczna o specjalności technologia chemiczna nieorganiczna i kataliza.

Od 1 października 2003 roku do 31 sierpnia 2005 roku byłam zatrudniona w Katedrze Chemii i Ochrony Środowiska Wodnego (Wydział Nauk Przyrodniczych - WNP) Uniwersytetu Szczecińskiego (US) na stanowisku adiunkta. W okresie tym prowadziłam ćwiczenia laboratoryjne z zakresu chemii ogólnej i analitycznej oraz chemii organicznej dla studentów następujących kierunków studiów: Biologia, Biotechnologia oraz Ochrona Środowiska. Czynnie brałam również udział w działalności organizacyjnej Katedry jak i Wydziału. W trakcie zatrudnienia na US pełniłam obowiązki opiekuna I roku Biologii WNP. Zajmowałam się również aktualizacją strony internetowej Katedry Chemii i Ochrony Środowiska Wodnego oraz opracowaniem jej wersji angielskojęzycznej. Byłam również zaangażowana w prace związane z BHP w laboratoriach należących do Zakładu. W związku z wejściem nowej ustawy w sprawie oznakowania opakowań substancji i preparatów niebezpiecznych zajmowałam się przygotowaniem nowych spełniających wymogi ustawy etykiet oraz etykietowaniem odczynników chemicznych. Pracując na US nadal współpracowałam z zespołem prof. dr hab. inż. A.W. Morawskiego. Kontynuowałam prace badawcze zapoczątkowane podczas doktoratu. Zajmowałam się przede wszystkim wykorzystaniem czystego  $\text{TiO}_2$  (Tytanpol A11), jak również  $\text{TiO}_2$  modyfikowanego litem, sodem, potasem, strontem

oraz borem do reakcji fotokatalitycznego usuwania barwników organicznych. Uzyskane na tym etapie wyniki badań opublikowane zostały w czasopismach: *Applied Catalysis B*, *Gaz Woda i Technika Sanitarna* oraz *Przegląd Włókienniczy* (Zał. 4, punkt I, poz. B-1 oraz punkt II, poz. E2.1 - E2.2).

Od 1 września 2005 roku jestem zatrudniona w Instytucie Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska (Zakład Nanotechnologii) Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie początkowo na etacie asystenta, a obecnie na stanowisku adiunkta. Moja aktywność naukowa, prowadzona pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Ryszarda J. Kaleńczuka nadal związana jest z procesami fotokatalitycznymi. Głównym zagadnieniem moich badań jest poszukiwanie nowych fotokatalizatorów dla reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru.

Jako katalizator do fotokatalitycznego otrzymywania wodoru zastosowałam między innymi mieszaninę trójskładnikową o różnej zawartości procentowej poszczególnych składników, zawierającą tantal(V) litu ( $\text{LiTaO}_3$ ), tlenek tantalu(V) ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) oraz tlenek kobaltu(II) kobaltu(III) ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ). Uzyskane wyniki badań pokazały, że zastosowanie katalizatorów wieloskładnikowych, jest korzystne z punktu widzenia wydajności reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru. Udowodniłam, że materiały wzbogacone w swoim składzie o tlenek kobaltu(II) kobaltu(III) charakteryzowały się wyższą fotokatalityczną aktywnością, niż katalizatory zawierające dwa składniki:  $\text{LiTaO}_3$  oraz  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ . Otrzymane w tym etapie badań rezultaty zostały zgłoszone do opatentowania [Zał. 4, punkt II, poz. C-1].

Równoległe do powyższych badań prowadziłam doświadczenia nad zastosowaniem  $\text{TiO}_2$  (Tytanpol A11 oraz Degussa P25) do usuwania barwników organicznych z wody przy udziale światła widzialnego (Zał. 4, punkt II, poz. A2.1). Badałam również możliwość wykorzystania nanodrutów tytanowych w fotokatalizie. Materiały te otrzymano przy wykorzystaniu reakcji hydrotermicznej. Produktem powyższej syntezy były nanodruły stanowiące mieszaninę dwóch faz:  $\text{Na}_2\text{TiO}_3$ , i  $\text{H}_2\text{Ti}_5\text{O}_{11}\cdot\text{H}_2\text{O}$ . Określiłam wpływ temperatury kalcynacji (400-600°C) na właściwości fizykochemiczne oraz aktywność fotokatalityczną w reakcji usuwania barwników organicznych z wody otrzymanych nanomateriałów. Udowodniłam, że kalcynacja uzyskanych materiałów w zakresie temperatur 400 - 600°C nie niszczy struktury nanodrutów ale towarzyszy jej przemiana fazowa (400°C, 500°C -  $\text{TiO}_2(\text{B})$ , 600°C - mieszanina  $\text{TiO}_2(\text{B})$  i anatazu). Uzyskane wyniki pozwoliły mi stwierdzić, że proces kalcynacji otrzymanych hydrotermicznie nanostruktur



jest kluczowym etapem prowadzącym do uzyskania wysoko aktywnych fotokatalizatorów w formie nanodrutów tytanowych. Uzyskane rezultaty opublikowano w *Journal of Alloys and Compound* oraz *Materials Science-Poland* (Zał. 4, punkt II, poz. A2.2 i A2.3).

Jedną z głównych przyczyn niskiej efektywności materiałów fotokatalitycznych jest szybka rekombinacja fotogenerowanych elektronów ( $e^-$ ) i dziur ( $h^+$ ). Stąd też, działania mające na celu ograniczenie procesu rekombinacji są istotne dla fotokatalizy. Wykorzystanie materiałów nanokompozytowych zamiast pojedynczych półprzewodników jest jedną z możliwości sprzyjających efektywnemu rozdzieleniu tych nośników ładunku. W nanokompozytach elektrony i dziury mogą przemieszczać się od jednego składnika nanokompozytu (półprzewodnik) do drugiego (inny półprzewodnik, metal, tlenki metali, siarczki metali, materiały węglowe itp.), dzięki czemu ich rozdział jest lepszy i wzrasta prawdopodobieństwo zajścia reakcji charakterystycznych dla procesów fotokatalitycznych.

Bazując na powyższych założeniach uczestniczyłam również w badaniach nad syntezą i zastosowaniem nanokompozytów  $TiO_2$ /grafen w fotokatalizie. Otrzymany materiał wykazywał lepszą fotokatalityczną aktywnością w stosunku do czystego  $TiO_2$ . Efekt ten związany jest z obecnością grafenu, który charakteryzuje się (1) wysoką powierzchnią właściwą oraz (2) wysokim przewodnictwem w związku z czym jest akceptorem fotogenerowanych podczas reakcji fotokatalitycznej elektronów. Efektywny transfer elektronów z pasma przewodnictwa półprzewodnika do grafenu sprzyja rozdzieleniu dziur i elektronów, co z kolei prowadzi do wzrostu wydajności reakcji fotokatalitycznej. Zbadano również wpływ grubości płatków zredukowanego tlenku grafenu oraz wielkości i krystaliczności nanocząstek  $TiO_2$  osadzonych na grafenie na aktywność fotokatalityczną otrzymanych nanokompozytów. Wyniki opublikowano w czasopismach: *Journal of Material Science*, *Material Science of Poland*, *International Journal of Material Research* oraz *Applied Surface Science* (Zał. 4, punkt II, poz. A2.4-A2.7).

Prowadziłam również badania nad syntezą nowych nanokompozytów zawierających w swoim składzie grafen oraz niobian (V) i tantal (V) sodu. Opracowałam nową metodę otrzymywania nanokompozytu grafen- $NaTaO_3/Ta_2O_5$  [Zał. 4, punkt II, poz. C-2], polegającą na działaniu fal ultradźwiękowych (48 godzin) na mieszaninę zawierającą tlenek grafenu (GO) oraz katalizator  $NaTaO_3-Ta_2O_5$  w etanolu i następnie redukcji GO w obecności sacharozy do zredukowanego tlenku grafenu ( $100^\circ C$ ). Otrzymany katalizator charakteryzował się wysoką aktywnością fotokatalityczną w reakcji usuwania barwników organicznych, zwłaszcza błękitu

metylenowego z wody z udziałem światła ultrafioletowego w porównaniu do niewielkiej aktywności wyjściowej mieszaniny tantalana (V) sodu/tlenek tantalu (V). Porównałam również aktywność fotokatalityczną nanokompozytów grafen/ $\text{NaNbO}_3$  oraz grafen/ $\text{NaTaO}_3$  w reakcji fotokatalitycznego usuwania barwników organicznych z wody. Uzyskane na tym etapie rezultaty przedstawione zostały na I Krajowej Konferencji „Grafen i inne materiały 2D” (Szczecin, 27-29 września 2015) (*Zał. 4, punkt III, poz. B2.31*). Otrzymane nowe katalizatory posiadają również znaczny potencjał zastosowania w reakcji fotokatalitycznego otrzymywania wodoru.

Obecnie zaangażowana jestem w prace badawcze nad wykorzystaniem nowych układów molekularnych opartych na palladzie i mezoporowatych nanosferach węglowych do magazynowania wodoru. Na tym etapie badań otrzymywano udekorowane palladem uporządkowane oraz nieuporządkowane mezoporowate nanosfery węglowe. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że rozmiar nanocząstek, zawartość oraz rozkład średnic Pd mają decydujący wpływ na właściwości sorpcyjne otrzymanych układów. Uzyskane wyniki opublikowano w czasopiśmie: *Nanoscale Research Letters* oraz *Chemical Physics Letters* (*Zał. 4, punkt II, poz. A2.8 i A2.10*).

W latach 2008-2009 przebywałam początkowo na zwolnieniu lekarskim, a następnie na urlopie macierzyńskim. Skorzystałam również z możliwości pracy w wymiarze  $\frac{1}{2}$  etatu w ramach urlopu wychowawczego. Okres mojej nieobecności w pracy łącznie wyniósł około 1,5 roku.

W trakcie zatrudnienia w ZUT kierowałam jednym projektem badawczym finansowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2010 (Nr grantu - N523 025 32/0983, Tytuł grantu – „*Badanie procesu fotokatalitycznego otrzymywania wodoru w środowisku ścieków organicznych*”) (*Zał. 4, punkt II, poz. J2.1*). Brałam również udział jako wykonawca w realizacji 8 grantów badawczych (*Zał. 4, punkt II, poz. J2.3-J2.10*). Obecnie jestem głównym wykonawcą w grantie NCN pt. „*Badania nad procesem magazynowania wodoru na nowych układach molekularnych opartych na palladzie i mezoporowatych nanosferach węglowych*” (czas realizacji 2013-2016) (*Zał. 4, punkt II, punkt J2.2*).

Za swoją działalność naukową w roku 2012 nagrodzona zostałam nagrodą Rektora ZUT trzeciego stopnia.

Jako Członek Komitetu Organizacyjnego brałam również udział w przygotowaniu I i II Sympozjum nt.: “Postępy w badaniach i zastosowaniach fotokatalizatorów na bazie ditlenku tytanu



(TiO<sub>2</sub>-Szczecin 2011) oraz (TiO<sub>2</sub>-Szczecin 2014)” odbywających się w Szczecinie w dniach 9-10 maja 2011 oraz 8-9 lipca 2014. Byłam również sekretarzem organizacyjnym Komitetu Organizacyjnego I Krajowej Konferencji „Grafen i inne materiały 2D” (27-29 września 2015) (Zał. 4, punkt III, poz. C1-C3).

W listopadzie 2015 roku zostałam członkiem Wydziałowej Komisji Wyborczej, ZUT na wybory 2016-2020. Powierzono mi funkcję Wiceprzewodniczącej Komisji (Zał. 4, punkt III, poz. I7).

### **5b. Współpraca z instytucjami i ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą**

W 2006 roku nawiązałam współpracę z następującymi jednostkami: **Fachhochschule Stralsund - University of Applied Sciences** (prof. dr inż. Janusz Szymczyk), **Politechnika Koszalińska** (prof. dr hab. Michał Jasiulewicz) **Szczeciński Park Naukowo-Technologiczny** (prof. Jerzy Soldek, Tadeusz Urbaniak i Katarzyna Papierkowska). Uczestniczyłam w spotkaniach roboczych odbywających się zarówno w Stralsundzie, jak również na Politechnice Szczecińskiej oraz w siedzibie Szczecińskiego Parku Naukowo-Technologicznego. Podjęta inicjatywa miała na celu utworzenie na terenie Euroregionu Pomerania Sieci „Baltic Bio Energy Net (BaBET)”. Całość stanowić miała podstawę do budowania nowej specjalności technicznej w zakresie bioenergii Euroregionu Pomerania. W ramach współpracy miał zostać złożony wniosek do programu INTERREG IIIA. Niestety, ze względu na wycofanie się partnera ze strony niemieckiej podjęta inicjatywa upadła na etapie składania wniosku (Zał. 4, punkt III, poz. A7).

Ponadto uczestniczyłam w badaniach prowadzonych w ramach współpracy z zespołem badawczym prof. Ruedigera Klingelera z Instytutu Fizyki im. Kirchhoffa Uniwersytetu w Heidelbergu, prof. M. H. Rummeli i prof. B. Büchner z Leibniz Institute for Solid State and Materials Research. Badania dotyczyły wykorzystania mezoporowatych sfer krzemionkowych z dodatkiem tlenku tytanu (IV) jako fotokatalizatorów w procesach fotokatalitycznych. Wynikiem tej współpracy jest publikacja w czasopiśmie *Journal of Nanoparticle Research* (Zał. 4, punkt I, poz. B-14).

Prowadzę również badania we współpracy z dr inż. Beatą Schmidt (Instytut Polimerów, ZUT w Szczecinie) nad wykorzystaniem polimerów przewodzących w fotokatalizie. Otrzymane wyniki prezentowano na 1 konferencji (*Zał. 4, punkt III, poz. B2.19*).

Nawiązałam również współpracę z dr inż. Ireneuszem Ochmianem (Katedra Ogrodnictwa, ZUT w Szczecinie). W ramach współpracy prowadzone są badania nad oceną wpływu promieniowania ultrafioletowego na jakość i czystość biologiczną moszczu winogronowego i wina. Otrzymane do tej pory wyniki przedstawione zostały na dwóch konferencjach (*Zał. 4, punkt II, poz. L2.6 oraz punkt III, poz. B2.29*).

Uczestniczyłam również w badaniach prowadzonych we współpracy z dr inż. Karolem Fijałkowskim z Katedry Immunologii, Mikrobiologii i Chemii Fizjologicznej Wydziału Biotechnologii i Hodowli Zwierząt ZUT w Szczecinie oraz dr hab. inż. Rafałem Rakoczym, prof. ZUT z Instytutu Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska ZUT w Szczecinie. Wynikiem współpracy jest wspólna publikacja pt. „Time dependent influence of rotating magnetic field on bacterial cellulose”. Praca ta została opublikowana w *International Journal of Polymer Science* (*Zał. 4, punkt II, poz. A2.9*).

Moje doświadczenie oraz wiedzę w zakresie procesów fotokatalitycznego usuwania zanieczyszczeń organicznych z wody jak i otrzymywania wodoru zostało zauważone przez Redaktorów renomowanych międzynarodowych czasopism naukowych. Wykonałam **19** recenzji publikacji naukowych dla następujących czasopism: *Applied Catalysis A, Materials Science and Engineering B, International Journal of Hydrogen Energy, Chemical Engineering Journal, Ceramics International, Journal of Physics and Chemistry of Solids, Journal of Alloys and Compounds, Recent Patents on Materials Science, ACS Applied Materials and Interfaces, Transactions on Ultrasonic, Ferroelectrics and Frequency Control, Journal of Taiwan Institute of chemical Engineers, Journal of Photochemistry and Photobiology B*. (*Zał 4. punkt III, poz. P1-P12*).

Ponadto, od 2010 roku jestem redaktorem działowym z uprawnieniami do decydowania o przyjmowaniu prac do druku w czasopiśmie naukowym z listy filadelfijskiej *Polish Journal of Chemical Technology* (IF<sub>2014</sub> = 0,536). Do moich obowiązków należy wstępna ocena nadesłanych prac, prowadzenie korespondencji z autorami publikacji oraz poszukiwanie recenzentów. Ocenie mojej podlega również techniczna strona nadesłanych do czasopisma artykułów (*Zał. 4. punkt III, poz. G1*).

### **5c. Działalność dydaktyczna**

Znaczną część swojej aktywności w ZUT poświęcam pracy dydaktycznej. Przygotowałam szereg autorskich materiałów dydaktycznych do prowadzenia wykładów, ćwiczeń audytoryjnych i laboratoriów. Prowadziłam i prowadzę wykłady, ćwiczenia audytoryjne oraz laboratoria dla studentów I i II stopnia Technologii Chemicznej (TCH), I i II stopnia Nanotechnologii (NanoT), I stopnia Towaroznawstwa oraz Ochrony Środowiska (OŚ- studia magisterskie) (Zał. 4, punkt III, pozycja I8). Prowadziłam również ćwiczenia laboratoryjne w języku angielskim z przedmiotu „Industrial Chemistry” dla studentów zagranicznych, studiujących w PS w ramach programu „Erasmus”.

Ponadto, byłam odpowiedzialna za organizację zajęć dla studentów IV roku Ochrony Środowiska w Zespole Elektrowni Dolna Odra – Szczecin Pomorzany w ramach przedmiotu „Technologie ochrony powietrza i oczyszczania gazów przemysłowych”. Studenci mogli zapoznać się z zasadami działania jedynej w Europie instalacji jednoczesnego odsiarczania i odazotowania spalin z zastosowaniem wiązki elektronów (Zał. 4, punkt III, poz. I6).

Ponadto byłam opiekunem naukowym 7 oraz recenzentem 18 prac magisterskich i inżynierskich (Zał. 4, punkt III, poz. J). Siedmiokrotnie byłam również przewodniczącą komisji egzaminu dyplomowego.

### **5d. Działalność popularyzująca naukę**

Biorę czynnie udział w popularyzacji nauki w środowisku naukowym, jak również wśród uczniów szkół podstawowych, gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych.

W trakcie prowadzenia badań naukowych szczególną uwagę zwracam na to, by uzyskane rezultaty prezentowane były na renomowanych konferencjach naukowych. Wyniki otrzymane w trakcie swojej pracy badawczej przedstawiłam na 31 krajowych i międzynarodowych

konferencjach tematycznych. Rezultaty prezentowane były w formie referatów ustnych (6) (*Zał. 4, punkt II, poz. L2.1-L2.6*) i prezentacji plakatowych (33) (*Zał. 4, punkt III, poz. B2.1-B2.33*).

W 2006 roku brałam udział w konferencji naukowej organizowanej przez Polską Izbę Gospodarczą Energii Odnawialnej (PIGEO) i Stowarzyszenie Absolwentów Politechniki Szczecińskiej pt. „Odnawialne źródła energii w działalności naukowej i biznesowej na Pomorzu Zachodnim”. Celem spotkania było zapoznanie się z możliwościami wykorzystania wyników badań prowadzonych przez szczecińskie jednostki naukowe z zakresu energii odnawialnej i alternatywnej w działalności biznesowej przedsiębiorstw z branży energetycznej. Spotkanie zakończyło się podpisaniem porozumienia o współpracy pomiędzy PIGEO a Akademią Rolniczą i Politechniką Szczecińską (*Zał. 4, punkt II, poz. L2.1*).

Zaproszona zostałam również do udziału w VI Zachodniopomorskim Festiwalu Nauki. W ramach tej inicjatywy uczestniczyłam w „Spotkaniu z Nauką w Mieszkowicach”. W panelu przygotowanym dla młodzieży gimnazjalnej i licealnej wygłosiłam wykład na temat wodoru jako alternatywnego nośnika energii. Przedstawiłam możliwości otrzymywania i wykorzystania wodoru. Omówiłam również obawy związane z jego stosowaniem (*Zał. 4, punkt III, poz. 14*). Brałam również udział w Dyskusji Panelowej przygotowanej dla mieszkańców Szczecina i dotyczącej tematu – „Alternatywne-odnawialne źródła energii”. Ponadto dla uczniów szczecińskich szkół wygłosiłam wykład pt. „Wodór paliwem przyszłości” (*Zał. 4, punkt III, poz. 15*).

Systematycznie brałam również czynny udział w promowaniu mojego macierzystego Zakładu, Wydziału i Uczelni. Ścisłe współpracowałam z prof. dr hab. inż. Marią Tomaszewską, Pełnomocnikiem Dziekana ds. Promocji WTiCh. W ramach tych działań między innymi zajmowałam się przygotowaniem i aktualizacją nowych informatorów dla potencjalnych kandydatów WTiCh, aktualizacją informatora ACADEMOS oraz organizacją dni otwartych w Instytucie Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska. W 2008 roku (od stycznia do sierpnia) w zastępstwie za prof. dr hab. inż. Marię Tomaszewską przejęłam obowiązki Pełnomocnika Dziekana w zakresie promocji Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej. Wielokrotnie uczestniczyłam w spotkaniach dotyczących organizacji promocji w Biurze Promocji PS oraz targach promocyjnych. W ramach tej działalności między innymi brałam udział w organizacji Nocy Naukowca 2008. Ponadto byłam koordynatorem cyklu wizyt pracowników WTiCh w szkołach ponadgimnazjalnych prezentujących ofertę studiów na WTiCh (*Zał. 4, punkt III, poz. 12, 13*).

## **6. Sumaryczne zestawienie dorobku naukowego**

Mój dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje **25** opublikowanych artykułów, w tym **23** artykuły zostały opublikowanych w czasopismach z listy filadelfijskiej. Przed obroną doktoratu do mojego dorobku weszły **3** publikacje w czasopismach znajdujących się na liście filadelfijskiej. Łączny IF dla prac opublikowanych po doktoracie wynosi **35,628** (IF z roku publikacji) oraz **42,693** (IF<sub>5-letni</sub>). Całkowity IF dla mojego całego dorobku naukowego wynosi **44,437** (IF z roku publikacji) oraz **60,222** (IF<sub>5-letni</sub>). Całkowita liczba cytowań według bazy Web of Science (26.02.2016) wszystkich publikacji, których jestem autorką lub współautorką wynosi **317** (bez autocytowań **289**). Indeks Hirscha moich prac równy jest **9**.

*Beata Zielińska*

## 7. Wykaz dorobku naukowego

Zestawienie liczbowe czasopism w których opublikowano prace naukowe:

Nazwa czasopisma	Rok wydania	Liczba publikacji	IF <sup>a)</sup>	IF <sup>b)</sup>	Suma punktów MNiSW <sup>c)</sup>	Liczba cytowań (26.02.2016)
<b>Przed uzyskaniem stopnia doktora</b>						
Appl. Catal. B.	2001	2	3,643	7,490	45	56
	2003		3,473	7,490	45	39
J. Photochem. Photobiol. A	2003	1	1,693	2,549	25	39
Gaz, Woda i Technika Sanitarna	2001	1	-	-	11	-
<b>Suma<sup>1</sup></b>		<b>4</b>	<b>8,809</b>	<b>17,529</b>	<b>126</b>	<b>134</b>
<b>Po uzyskaniem stopnia doktora</b>						
Appl Catal B.	2005	1	3,809	7,490	45	32
Int J Hydrogen Energy	2008	1	3,452	3,659	30	52
Polish J Chem	2007	1	0,483	0,38	15	2
J Phys Chem Solids	2008	2	1,103	1,918	25	14
	2011		1,632	1,918	25	13
Polish J Chem Technol	2008	3	-	0,455	15	5
	2010		0,333	0,455	15	0
	2006		-	0,455	15	0
Polish J Environ Stud	2009	1	0,947	0,888	15	0
Mater Charact	2012	1	1,880	2,250	35	6
Int J Photoenergy	2012	1	2,663	1,720	25	2
Cent Eur J Chem	2013	1	1,167	1,210	25	1
Bull Mater Sci	2014	1	1,017	1,284	20	0
J Nanopart Res	2011	1	3,287	2,649	30	15
Mater Sci-Poland	2010	2	-	0,519	15	1
	2012		0,366	0,519	15	3
J Alloy Compd	2011	1	2,289	2,716	35	5
J Mater Sci	2012	1	2,163	2,320	30	23
Int J Mater Res	2014	1	0,397	0,731	25	0
Appl Surface Sci	2015	1	2,538	2,735	35	9
Nano Res Lett	2015	1	3,010	2,779	30	0
Int J Polymer Sci	2016	1	1,195	1,68	25	0
Chem Phys Lett	2016	1	1,897	1,963	25	0
Gaz, Woda i Technika Sanitarna	2004	1	-	-	11	0
Przegląd Włókienniczy-Włókno, Odzież, Skóra	2005	1	-	-	8	0
<b>Suma<sup>2</sup></b>		<b>25</b>	<b>35,628</b>	<b>42,693</b>	<b>589</b>	<b>183</b>
<b>Suma<sup>1</sup>+Suma<sup>2</sup></b>		<b>29</b>	<b>44,437</b>	<b>60,222</b>	<b>715</b>	<b>317</b>

<sup>a)</sup> Sumaryczny Impact Factor wg bazy Journal Citation Reports (JCR) zgodnie z rokiem ukazania się pracy

<sup>b)</sup> 5-letni Impact Factor wg bazy Journal Citation Reports (JCR) zgodnie z rokiem, w którym przygotowano zestawienie (2014)

<sup>c)</sup> liczba punktów wg wykazu czasopism naukowych MNiSW (z dnia 31.12.2015r.)