

Autoreferat

Metody otrzymywania, modyfikacji oraz wykorzystania materiałów węglowych w systemach magazynowania i konwersji energii

Załącznik nr 3 do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

Dr inż. Katarzyna Lota

Poznań 2019

Spis treści

1. Dane osobowe	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	4
4. Opis osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę wniosku habilitacyjnego	5
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	5
4.2. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe (w kolejności występowania w autoreferacie).....	5
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.....	7
4.3.1. Wstęp.....	7
4.3.2. Omówienie prac stanowiących przedmiot rozprawy habilitacyjnej wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	8
4.3.3. Podsumowanie	20
4.3.4. Literatura	21
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych.....	22

1. Dane osobowe

Katarzyna Agnieszka Lota

Researcher ID: V-9779-2018

ORCID: 0000-0002-4973-1045

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- 2001 Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej,
Studia Magisterskie: Węglowa anoda ogniwa litowo - jonowego
Promotor: prof. dr hab. Jan Skowroński
Tytuł zawodowy: magister inżynier
Kierunek: Technologia Chemiczna w zakresie Technologii Nieorganicznej –
Chemiczne Źródła Prądu
- 2002 Politechnika Poznańska
Dyplom ukończenia *Podyplomowego Studium Pedagogicznego*
- 2006 Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Fizyki
Studia Magisterskie: Wyznaczanie przewodnictwa i energii aktywacji w układzie aceton
- cykloheksan i aceton – tetrachlorometan
Promotor: prof. dr hab. Maria Dutkiewicz
Tytuł zawodowy: magister
Zaoczne Studium Fizyki
- 2007 Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej
Studium Doktoranckie: Nanostruktury węglowe w zastosowaniach elektrochemicznych
Promotor: prof. dr hab. Elżbieta Frąckowiak
Recenzent: prof. dr hab. inż. Jacek Machnikowski (Politechnika Wrocławska)
Recenzent: prof. dr hab. Andrzej Lewandowski (Politechnika Poznańska)
Stopień naukowy: doktor nauk chemicznych w zakresie technologii chemicznej

(załącznik nr 2)

2014 Wyższa Szkoła Bankowa w Poznaniu, Wydział Finansów i Bankowości
Dyplom ukończenia studiów podyplomowych *Menedżer Projektu Badawczo –
Rozwojowego*

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

10. 2002 – 05. 2007

doktorantka na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

04.2007 - 06.2007

asystent - stażysta w Pracowni Akumulatorów Zasadowych,
Centralne Laboratorium Akumulatorów i Ogniw
ul. Forteczna 12, 61-362 Poznań

07.2007 – 12.2015

adiunkt w Pracowni Akumulatorów Zasadowych,
Instytut Metali Nieżelaznych Oddział w Poznaniu
Centralne Laboratorium Akumulatorów i Ogniw
ul. Forteczna 12, 61-362 Poznań

01.2016 – 31.03.2019

kierownik Zakładu Nowych Technologii Magazynowania Energii
Instytut Metali Nieżelaznych Oddział w Poznaniu
Centralne Laboratorium Akumulatorów i Ogniw
ul. Forteczna 12, 61-362 Poznań

01.04.2019 – do chwili obecnej

kierownik Zakładu Nowych Technologii Magazynowania Energii
Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Metali Nieżelaznych Oddział w Poznaniu

Centralne Laboratorium Akumulatorów i Ogniw
ul. Forteczna 12, 61-362 Poznań

4. Opis osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę wniosku habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym, wynikającym z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789):

jest cykl publikacji naukowych powiązanych tematycznie

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

„Metody otrzymywania, modyfikacji oraz wykorzystania materiałów węglowych w systemach magazynowania i konwersji energii”

4.2. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe (w kolejności występowania w autoreferacie)

[H1] Sierczyńska A., **Lota K.**, Lota G. “Effects of addition of different carbon materials on the electrochemical performance of nickel hydroxide electrode”

J. Power Sources 195 (2010) 7511-7516

IF₂₀₁₀ = 4,290; 5-letni IF=4,644.

[H2] Sierczyńska A., **Lota K.**, Mańczak R., Acznik I, Kopczyk, M., Lota G. „Wpływ dodatków węglowych na pojemność elektrod typu AB₅” Przemysł Chemiczny 96 (6) (2017) 1226-1230.

IF₂₀₁₇ = 0,399; 5-letni IF = 0,345.

[H3] Lota G., Sierczyńska A., Acznik I., **Lota K.**, “AB₅-type Hydrogen Storage Alloy Modified with Carbon Used as Anodic Materials in Borohydride Fuel Cells” International Journal of Electrochemical Science 9 (2014) 659 – 669.

IF₂₀₁₄ = 1,500, 5-letni IF: 1,731.

[H4] Graś M., Sierczyńska A., **Lota K.**, Acznik I., Lota G. “The modification of anode material for direct borohydride fuel cell” *Ionics* 22 (2016) 2539–2544.

IF₂₀₁₆ = 2,062; 5-letni IF = 1,893.

[H5] **Lota K.**, Sierczyńska A., Lota G. “Synthesis and electrochemical properties of carbon nanotubes obtained by pyrolysis of acetylene using AB₅ alloy” *J. Solid State Electrochem.* 14 (2010) 2209-2212.

IF₂₀₁₀ = 2,234; 5-letni IF = 2,348.

[H6] **Lota K.**, Lota G., Sierczyńska A., Acznik I. “Carbon/polypyrrole composites for electrochemical capacitors” *Synthetic Metals* 203 (2015) 44–48.

IF₂₀₁₅ = 2,299; 5-letni IF = 2,197.

[H7] Acznik I., **Lota K.**, Sierczyńska A., Lota G., “Carbon-Supported Manganese Dioxide as Electrode Material For Asymmetric Electrochemical Capacitors” *International Journal of Electrochemical Science*, 9 (2014) 2518 – 2534

IF₂₀₁₄ = 1,500; 5-letni IF = 1,731.

[H8] **Lota K.**, Sierczyńska A., Lota G. “Supercapacitors Based on Nickel Oxide/Carbon Materials Composites” *International Journal of Electrochemistry*, 2011 (2011), ID 321473, 6 pages, doi:10.4061/2011/321473

IF₂₀₁₁ = 0,000.

[H9] **Lota K.**, Sierczyńska A., I. Acznik, Lota G. “Effect of aqueous electrolytes on electrochemical capacitor capacitance” *CHEMIK* 2013, 67, 11, 1138–1145

IF₂₀₁₃ = 0,000.

[H10] **Lota K.**, Acznik I., Sierczyńska A., Lota G. “The capacitance properties of activated carbon obtained from chitosan as the electrode material for electrochemical capacitors” *Materials Letters* 173 (2016) 72-75.

IF₂₀₁₆ = 2,572; 5-letni IF = 2,426.

[H11] Acznik I., **Lota K.**, Sierczyńska A., Improvement of power – energy characteristic of the Li-ion capacitor by structure modification of the graphite anode, MRS Communications 7 (2) (2017) 245-252.

IF₂₀₁₇ = 3,008; 5-letni IF = 2,653.

[H12] Acznik I., **Lota K.**, The influence of the graphite structure changes on the high-energy electrochemical capacitor performance, Journal of Solid State Electrochemistry 21(12) (2017) 3599-3610.

IF₂₀₁₇ = 2,509; 5-letni IF = 2,348.

[H13] Lota G., K. Fic K., Acznik I., **Lota K.** "Graphene materials in energy storage applications" in: M. Aliofkhaeaei, N. Ali, W.I. Milne, C.S. Ozkan, S. Mitura, J.L. Gervasoni (Eds.), "Graphene Science Handbook – Application and Industrialization" CRC Press Taylor& Francis Group, 2016, Chapter 25, Volume 6, pp. 377-390; ISBN 9781466591332

IF = 0,000.

[H14] **Lota K.**, Sierczyńska A., Acznik I., Kopczyk M., Lota G. „Kondensator asymetryczny typu C/MnO₂” Przemysł Chemiczny 96 (6) (2017) 1232-1235.

IF₂₀₁₇ = 0,399; 5-letni IF = 0,345.

Szczegółowy wykaz ww. publikacji wraz z analizą parametryczną i oceną wkładu własnego został zamieszczony w załączniku nr 5.

4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.3.1. Wstęp

Materiały węglowe ze względu na ilość form znajdują szerokie zastosowanie w magazynowaniu i konwersji energii. Ze względu na interesujące właściwości wynikające z ich tekstury, struktury, rozwiniętej powierzchni rzeczywistej, przewodnictwa, rodzaju i ilości heteroatomów wbudowanych w matrycę węglową znajdują zastosowanie w wielu obszarach

elektrochemii [1]. Mogą być stosowane jako nośniki dla katalizatorów w procesach utleniania np. w ogniwach paliwowych, lub też jako komponenty materiałów elektrodowych w nowoczesnych chemicznych źródłach prądu np. ogniwach odwracalnych lub w kondensatorach elektrochemicznych.

Od początku mojej pracy naukowej, realizowanej już w trakcie trwania doktoratu pod opieką pani profesor Elżbiety Frąckowiak, zajmowałam się nanomateriałami węglowymi w celu ich potencjalnego wykorzystania jako składników elektrod kondensatorów elektrochemicznych. Prowadziłam badania nad wykorzystaniem nanostruktur węglowych jako składników kompozytów z udziałem polimerów przewodzących, tlenków metali, czy też kompozytów węgiel/węgiel otrzymanych w procesie karbonizacji prekursorów bogatych w heteroatomy. Wytwarzane materiały zostały poddane charakteryzacji fizykochemicznej oraz szczegółowej analizie elektrochemicznej. Wytwarzałam wielościennie nanorurki węglowe zarówno w procesie katalitycznego rozkładu acetyleny jak i wykorzystując technikę repliki. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora kontynuowałam prace związane z wytwarzaniem zarówno nanostruktur węglowych, przede wszystkim nanorurek węglowych, ale i węgla aktywnych otrzymanych w procesie karbonizacji i aktywacji biopolimerów. Celem prowadzonych badań było zastosowanie różnorodnych materiałów węglowych w celu poprawy charakterystyk elektrochemicznych materiałów elektrodowych układów do magazynowania i konwersji energii.

4.3.2. Omówienie prac stanowiących przedmiot rozprawy habilitacyjnej wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Podjęcie pracy w Centralnym Laboratorium Akumulatorów i Ogniw w Pracowni Akumulatorów Zasadowych w 2007 r., pozwoliło mi na poznanie tematyki związanej z akumulatorami niklowo-wodorkowymi (Ni-MH). Doświadczenie zdobyte podczas doktoratu zaowocowały pracą [H1], w której zaproponowałam zbadanie wpływu dodatku różnych materiałów węglowych na parametry pracy wodorotlenku niklu. Wodorotlenek niklu jest stosowany jako materiał aktywny elektrod dodatnich akumulatorów alkalicznych. Akumulatory niklowo-wodorkowe, w których elektrodę dodatnią stanowi układ NiOOH/Ni(OH)₂, a elektrodę ujemną układ M/MH, są wykorzystywane jako źródła energii elektrycznej dla pojazdów hybrydowych (HEVs) oraz są uznawane za alternatywne źródła

mocy dla pojazdów elektrycznych. Pojemność akumulatorów niklowo-wodorkowych zależy od pojemności elektrody dodatniej i wykorzystania materiału aktywnego. W celu zwiększenia przewodnictwa wodorotlenku stosuje się dodatki, takie jak kobalt lub jego związki [2]. W tym samym celu stosowane są materiały węglowe, najczęściej grafit lub sadza acetylenowa. W pracy [H1] przedstawiliśmy wpływ dodatku pięciu różnych materiałów węglowych, w tym dwóch rodzajów nanorurek węglowych poddanych procesowi modyfikacji oraz standardowo wykorzystywanego grafitu łuskowego. Wszystkie materiały węglowe zostały dodane w tym samym 7% stosunku masowym do materiału aktywnego elektrody dodatniej. Wykorzystałam dwa rodzaje handlowych nanorurek węglowych, charakteryzujących się czystością powyżej 90%. W celu usunięcia ewentualnych pozostałości katalizatora nanorurki węglowe oczyszczałam w stężonym, gorącym kwasie solnym. W zależności od rodzaju modyfikowanych nanorurek węglowych roztwór kwasu solnego zawierał zanieczyszczenia w postaci jonów niklu, żelaza, kobaltu czy też manganu. Proces ten doprowadził nie tylko do usunięcia metalicznych pozostałości, ale także do zmiany powierzchni rzeczywistej materiału węglowego. Najwyższą wartością powierzchni BET - 220 m²/g charakteryzowały się modyfikowane nanorurki węglowe o średnicy zewnętrznej 10 – 15 nm, najniższą zaś grafit łuskowy 5 m²/g. Zastosowanie dodatku nanorurek węglowych pozwoliło na stworzenie przewodzącej sieci, która przeciwdziałała spulchnianiu i odpadaniu masy czynnej. Elektrody z dodatkiem nanorurek węglowych o średnicy 110 – 170 nm charakteryzowały się najwyższymi i stabilnymi wartościami uzyskanych pojemności. Proces modyfikacji nanorurek o średnicy zewnętrznej 10 – 15 nm poprawił parametry elektrochemiczne elektrody niklowej z ich dodatkiem, prawdopodobnie w wyniku usunięcia resztek katalizatora – żelaza, którego obecność w postaci α -FeOOH może prowadzić do powstania konkurencyjnej reakcji na elektrodzie niklowej. Proces modyfikacji spowodował wzrost hydrofilowości materiału, a jednocześnie usunięcie pozostałości katalizatora w postaci kobaltu (stosowanego dodatku do masy czynnej elektrody) mogło wpłynąć na obniżenie parametrów pojemnościowych. Przeprowadzone badania potwierdziły, że nanorurki o średnicy zewnętrznej 110 – 170 nm posiadają najbardziej odpowiednią strukturę by zminimalizować wewnętrzny opór oraz zwiększyć wydajność procesu ładowania i wyładowania wysokimi prądami, przy jednoczesnej poprawie wykorzystania materiału aktywnego i napięcia wyładowania.

pozytywne wyniki uzyskane w trakcie badań skłoniły mnie do podjęcia badań nad możliwością wykorzystania komercyjnych nanorurek węglowych o średnicy 110 – 170 nm do

modyfikacji składu ujemnej elektrody wykonanej z wieloskładnikowego stopu odwracalnie absorbującego wodór dla ogniw niklowo – wodorkowych (Ni-MH) [H2]. Materiał czynny elektrody MH można ogólnie opisać wzorem A_xB_y , który oznacza wzajemny stosunek pierwiastków wchodzących w skład grupy A do pierwiastków wchodzących w skład grupy B. Najpowszechniej, w ogniwach Ni – MH stosowane są stopy typu AB_5 , gdzie w skład grupy A wchodzi najczęściej takie metale jak: lantan, cer, prazeodym i neodym, natomiast w skład grupy B: nikiel, kobalt, mangan i glin [3]. W celu zbadania wpływu dodatków węglowych na właściwości elektrochemiczne wykonaliśmy elektrody o składzie 90% stopu i 10% dodatków (2,5; 5,0 i 10% wag). Jako dodatki elektrodowe zastosowaliśmy handlowy: nikiel karbonylkowy, grafit łuskowy oraz wielościennie nanorurki węglowe o średnicy zewnętrznej 110 – 170 nm. Homogeniczną mieszaninę uzyskałam stosując mielenie wysokoenergetyczne, którego warunki prowadzenia procesu nie spowodowały rozkładu fazy krystalograficznej stopu typu $CaCu_5$, podobnie jak w przypadku dodatków węglowych, które zachowały swoją wyjściową strukturę, co potwierdziła analiza rentgenostrukturalna. Częściowe zastąpienie niklowego dodatku (mającego za zadanie zwiększać przewodnictwo między ziarnami stopu) materiałami węglowymi pozwoliło na stosowanie wyższych reżimów prądowych, nawet do 2C, przy nieznacznej utracie pojemności. Największe wartości pojemności podczas procesu wyładowania uzyskano dla materiałów elektrodowych zawierających niewielki 2,5% dodatek nanorurek węglowych. Materiały te wykazywały największą pojemność także przy gęstości prądowej 2C, zachowując prawie 80% wartości wyjściowej. W przypadku elektrody niemodyfikowanej, przy najwyższej gęstości prądowej było to niecałe 60%. Dodatek materiałów węglowych pozwolił na szybsze osiągnięcie maksymalnych wartości pojemności już w pierwszych cyklach pracy. Pozytywne efekty, związane z lepszą dyfuzją wodoru, prawdopodobnie wynikają z większej liczby kanałów wytworzonych dzięki cylindrycznemu kształtowi nanorurek węglowych oraz zwiększeniu powierzchni rzeczywistej elektrody.

Tematyka związana z materiałem elektrody ujemnej – tj. wieloskładnikowym stopem odwracalnie absorbującym wodór typu AB_5 była przeze mnie kontynuowana w kontekście potencjalnego wykorzystania w ogniwach paliwowych [H3 i H4]. W ostatnich latach technologie związane z ogniwami paliwowymi, zwłaszcza z ogniwami z bezpośrednim utlenianiem borowodoru (DBFC – Direct Borohydride Fuel Cells) są intensywnie rozwijane, przede wszystkim ze względu na dużą wartość energii ogniw (związaną z wartością SEM 1,64 V przekraczającą o 0,4 V wartość innych niskotemperaturowych ogniw paliwowych), a także

ze względu na łatwość przechowywania i transportu paliwa w formie stałej. W celu zwiększenia możliwości szerokiego stosowania prowadzone są badania, mające na celu poprawę wydajności materiału anodowego, składającego się z katalizatora osadzonego na nośniku węglowym. Ogniwa typu DBFC nie wymagają klasycznych, drogich katalizatorów, takich jak platyna, ze względu na możliwość wykorzystania katalizatorów opartych na bazie niklu. Wieloskładnikowe stopy, takie jak AB₅ działają zarówno jako katalizator, jak i jako materiał absorbujący wodór bezpośrednio z paliwa [4]. Ze względu na fakt, iż występuje konkurencyjna reakcja hydrolizy borowodorku na materiałach stopowych, w praktyce jako materiały anodowe stosuje się stopy wodochłonne poddane procesom modyfikacji. W pracy [H3] wyznaczyliśmy właściwości elektrochemiczne anody wykonanej z wieloskładnikowego stopu typu AB₅: LaMmNi_{3,55}Al_{0,30}Mn_{0,40}Co_{0,75} modyfikowanego materiałami węglowymi. Kompozyty z niewielką ilością węgla (0,4-1,3%) otrzymałam wykorzystując dwie metody. Pierwsza, opracowana metoda polegała na wytworzeniu nanorurek węglowych na stopie w wyniku rozkładu acetyleny z fazy gazowej. Natomiast porowaty depozyt materiału węglowego otrzymano poprzez karbonizację polimerów wytworzonych bezpośrednio na ziarnach stopu. W wyniku tych modyfikacji węglem poprawie uległy właściwości elektrosorpcyjne wodoru. Modyfikowany materiał elektrodowy charakteryzował się również mniejszą polaryzacją omową. We wszystkich przypadkach modyfikacja materiałami węglowymi doprowadziła do zwiększenia powierzchni rzeczywistej wytworzonego materiału. Nanostruktury węglowe otrzymałam w wyniku polimeryzacji i karbonizacji alkoholu polifurfurylowego oraz w wyniku rozkładu acetyleny. Otrzymane depozyty miały formę włókien. Zaobserwowaliśmy, że tylko określone formy węgla zwiększają aktywność anody opartej o stop typu AB₅. Cylindryczna morfologia otrzymanych nanowęgli ułatwia dyfuzję paliwa w porównaniu do porowatej warstwy depozytu węglowego otrzymanego przez karbonizację polimerów: polianiliny i polipirolu. Prowadzone prace nad modyfikacją materiału anodowego zaowocowały również zgłoszeniem patentowym [5], a 30.06.2016 roku został udzielony patent (PL 221921) na proponowane rozwiązanie. Ochronie podlega sposób wytwarzania kompozytowego materiału elektrodowego, polegający na modyfikowaniu stopu wodorochłonnego typu AB₅, w dwuetapowym procesie: wstępnej redukcji w atmosferze mieszaniny wodoru i argonu a następnie w procesie termicznego rozkładu acetyleny na ziarnach stopu. Dzięki takiej modyfikacji osiągnęliśmy zwiększenie wydajności reakcji utleniania borowodorków oraz nastąpiła poprawa wykorzystania gazowego wodoru przez stop w wyniku sorpcji w strukturę kompozytu.

Dalsze modyfikacje materiałów anodowych prowadziliśmy stosując niewielki 3% dodatek dwóch rodzajów materiałów węglowych: tj. grafitu i nanorurek węglowych oraz krzemu [H4]. W tym przypadku nie osadzałam materiałów na ziarnach stopu, lecz w celu uzyskania jednorodnej mieszaniny stosowaliśmy mielenie wysokoenergetyczne. Udowodniliśmy, iż dodatek materiałów węglowych zwiększa przewodnictwo materiału elektrodowego. Przeprowadziliśmy również badania mające na celu optymalizację składu elektrolitu, w wyniku których zastosowaliśmy roztwór 0,5 M NaBH₄ w 6 M KOH. Jedną z podstawowych zalet borowodorku sodu jest jego niższa cena w porównaniu do borowodorku potasu. Natomiast wodorotlenek potasu charakteryzuje się wyższym przewodnictwem w odniesieniu do NaOH. Mimo niewielkiej ilości dodatku wynoszącej 3% oraz cylindrycznej strukturze wykorzystanych nanorurek węglowych zaobserwowaliśmy znaczące obniżenie gęstości upakowania ziaren stopu w piance niklowej prowadzące do rozpulchnienia materiału elektrodowego podczas badań. Materiał elektrodowy o takim składzie charakteryzował się mniejszym oporem przejścia ładunku w porównaniu do pozostałych dodatków. Niestety następowało intensywne gazowanie po zanurzeniu anody w roztworze borowodorku, które powodowało ubytek masy czynnej anody. Z zastosowanych przez nas dodatków modyfikujących elektrody najlepszy okazał się grafit. Poprawił przewodnictwo materiału elektrodowego i stopień wykorzystania paliwa do 27%, podczas gdy dla dodatku nanorurek wynosił on 26%. Dodatek krzemu, który miał zahamować niepożądaną hydrolizę borowodorku, ze względu na niską aktywność katalityczną obniżył wykorzystanie paliwa do 19%, podczas gdy dla elektrody wykonanej tylko ze stopu i niklu wydajność wykorzystania paliwa wynosiła 23%.

Ze względu na zaobserwowane możliwości wykorzystania wieloskładnikowego stopu odwracalnie absorbującego wodór typu AB₅ jako katalizatora do produkcji wielościennych nanorurek węglowych w pracy [H5] zaproponowałam sposób syntezy materiału i jego potencjalne wykorzystanie w kondensatorach elektrochemicznych. Kondensatory elektrochemiczne są to urządzenia do magazynowania energii, które cechują się wysokimi gęstościami mocy, długim cyklem życia oraz bardzo krótkim czasem ładowania/wyładowania. Uważa się, że mogą wypełnić lukę między akumulatorami charakteryzującymi się dużą gęstością energii a konwencjonalnymi kondensatorami elektrolitycznymi o wysokich gęstościach mocy. Wydajność kondensatorów elektrochemicznych jest określana głównie

przez właściwości pojemnościowe materiałów elektrodowych, dlatego większość badań koncentruje się na opracowaniu nowych materiałów [6].

Przeprowadzone przeze mnie syntezы dotyczące wytwarzania nanorurek węglowych na stopie AB₅ wykazały, że temperatura wynosząca 600°C jest niewystarczająca do otrzymania materiału węglowego w zadawalających ilościach. Dlatego też, następnie prowadziłam proces w 700°C, co pozwoliło na otrzymanie odpowiedniej ilości depozytu węglowego. W celu usunięcia powierzchniowych tlenków na katalizatorze zastosowano wstępny proces termicznej redukcji w mieszaninie wodoru i argonu. Po procesie rozkładu acetyleny z fazy gazowej na ziarnach stopu, katalizator był usuwany w stężonym kwasie solnym. W zależności od długości trwania procesu rozkładu acetyleny na ziarnach stopu oraz warunków prowadzenia pierwszego etapu procesu uzyskałam nanomateriały węglowe różniące się polem powierzchni rzeczywistej (od 50 m²/g do 109 m²/g) oraz ilością otrzymanego depozytu. Zewnętrzna średnica wytworzonych nanorurek węglowych mieściła się w zakresie od 30 do 50 nm. Warto podkreślić, iż stop o cząstkach wielkości mikrometrów może służyć do wytwarzania materiałów o średnicy nanometrów. Wytworzone nanorurki węglowe posiadały około 30 – 35 warstw grafenowych oraz zawierały wąski kanał centralny o średnicy ok. 2,0 – 2,5 nm. Z materiałów przygotowaliśmy elektrody do kondensatorów elektrochemicznych i wyznaczaliśmy ich pojemności w środowisku zasadowym oraz kwaśnym. Nanorurki węglowe jako materiał elektrodowy kondensatorów elektrochemicznych dają małe wartości pojemności, ok. 10 F/g, jednakże ze względu na bardzo dobre przewodnictwo mogą pracować przy znacznym obciążeniu (w naszym przypadku było to aż 20 V/s). Pozwala to na wykorzystanie ich jako dodatku do materiałów elektrodowych. Niestety, ich relatywnie wysoki koszt wytworzenia, ze względu na zastosowany katalizator i dwuetapowy proces syntezy, ogranicza ich praktyczne zastosowanie.

Wykazana właściwość nanorurek węglowych związana z dobrą propagacją ładunku została wykorzystana w kolejnej pracy [H6], w której wytworzyłam kompozyty z polimerem przewodzącym – polipirolem. Dwa rodzaje nanorurek węglowych o średnicy zewnętrznej 10 – 15 nm i 110 – 170 nm oraz sadza acetylenowa zostały wykorzystane do otrzymania kompozytów metodą chemicznej polimeryzacji. Zawartość dodatków węglowych w trzech typach kompozytów wynosiła od 15 do 40% wagowych. Proporcje składników zmieniałam w celu uzyskania kompozytu o optymalnych właściwościach. Zdjęcia wykonane za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej ukazały kuliste cząsteczki polimeru, tworzące

aglomeraty na powierzchni zwartego szkieletu sadzy i nanorurek o średnicy 10 – 15 nm, natomiast kompozyty z nanorurkami o średnicy 110 – 170 nm wykazywały strukturę cylindrów pokrytych cząstkami polipirolu. Wytworzone przeze mnie kompozyty jak również polipirol - w celach porównawczych, zostały przebadane przez nas jako materiały elektrodowe do kondensatorów elektrochemicznych. Wykazaliśmy, że we wszystkich wytworzonych kompozytach dodatek materiału węglowego poprawia propagację ładunku w materiale elektrody oraz znacząco zmniejsza ubytek pojemności wraz ze wzrostem stosowanych reżimów prądowych czy prędkości przesuwu potencjału. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż pojemności materiałów kompozytowych wyznaczone były dla całkowitej masy materiału elektrody, a nie tylko dla polipirolu, składnika kompozytu, który odpowiada za uzyskiwane wysokie wartości pojemności. Najwyższe wartości pojemności uzyskano dla kompozytu z kilkunastoprocentową zawartością nanorurek węglowych o średnicy 10 – 15 nm. Przeprowadzone badania cyklicznego ładowania/wyładowania oraz wyznaczona zależność pojemności od częstotliwości za pomocą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej przed badaniami jak i po badaniach cyklicznych, również potwierdziły dużą stabilność materiałów elektrodowych. Zjawisko poprawy otrzymanych charakterystyk elektrochemicznych było szczególnie widoczne przy stosowaniu przez nas obciążeń prądowych powyżej 10 A/g. Materiały kompozytowe mogły być obciążane prądami o gęstości 50 A/g, co stanowi zadawalający wynik. Oczywiście, należy podkreślić, iż rodzaj zastosowanego dodatku węglowego, jak również jego zawartość, znacząco wpływa na uzyskane wyniki.

Badania nad kompozytami składającymi się z materiałów węglowych i materiałów wykazujących właściwości pseudopojemnościowe zostały opisane w pracy [H7]. W ramach prowadzonych prac wytworzyłam materiały elektrodowe składające się z hydratowanego tlenku manganu oraz różnych materiałów węglowych. Opracowałam metodę otrzymywania kompozytów w procesie chemicznego wytrącania dwutlenku manganu na ziarnach węgla aktywowanego oraz nanorurkach węglowych. Wytworzone kompozyty o zmiennym składzie (od ok. 40 do 60% wagowych) dwóch rodzajów nanorurek węglowych o średnicach zewnętrznych 7 – 15 nm i 110 – 170 nm i jednego węgla aktywowanego zostały zbadane przeze nas w układach symetrycznych i asymetrycznych, gdzie zastosowaliśmy je jako elektrody dodatnie. Węgiel aktywowany o rozwiniętej powierzchni rzeczywistej, który zastosowaliśmy jako elektrodę ujemną, wytworzyłam w wyniku karbonizacji i aktywacji chemicznej ligniny. W układach symetrycznych najlepsze wyniki uzyskaliśmy dla kompozytu z węglem

aktywowanym i 60% zawartością dwutlenku manganu. Nieznacznie niższe wartości pojemności uzyskaliśmy dla kompozytu z nanorurkami o średnicy zewnętrznej 7 – 15 nm. Te dwa rodzaje kompozytów były dalej badane przez nas jako elektrody dodatnie w układach asymetrycznych. Asymetryczna budowa kondensatora z wykorzystaniem kompozytów z dwutlenkiem manganu jako elektrod dodatnich i węgla aktywowanego jako elektrody ujemnej pozwoliła na rozszerzenie napięcia pracy i osiągnięcie gęstości energii powyżej 20 Wh/kg. Połączenie dwóch różnych materiałów elektrodowych charakteryzujących się odmiennym mechanizmem magazynowania energii pozwoliło na zmianę nadpotencjału wydzielania wodoru i tlenu, co przełożyło się na możliwość rozszerzenia napięcia pracy w elektrolicie wodnym, do 1,7 V. Jednakże, nadmierne rozszerzenie napięcia pracy układu skutkuje obniżeniem uzyskiwanych pojemności, dlatego też wyznaczone napięcie pracy musi być wypadkową czynników wpływających na cykliczną pracę całego układu. Na uzyskiwane charakterystyki pojemnościowe materiałów elektrodowych wpływ ma nie tylko skład procentowy, ale również morfologia, powierzchnia rzeczywista, przewodnictwo, właściwości hydrofilowo/hydrofobowe poszczególnych składników kompozytu. W pracy udowodniliśmy, że dla układów asymetrycznych zbudowanych z wytworzonych materiałów kompozytowych i węgla aktywowanego, optymalny zakres napięciowy podczas pracy cyklicznej wynosi 1,2 V.

Kolejnym rodzajem kompozytów otrzymanych do zastosowania jako materiał elektrodowy w kondensatorach elektrochemicznych były kompozyty tlenek niklu/węgiel aktywowany opisane w pracy [H8]. Opracowana przeze mnie metoda otrzymywania kompozytów na materiale węglowym, zakładała wytworzenie wodorotlenku niklu w procesie chemicznego wytrącania na ziarnach węgla aktywnego, a zastosowanie procesu kalcynacji w 300 °C, pozwoliło na przekształcenie wodorotlenku w tlenek niklu. Przygotowałam kompozyty o różnej proporcji tlenku niklu do materiału węglowego. W celu potwierdzenia zarówno składu jak i struktury wytworzonych materiałów, kompozyty zostały szczegółowo scharakteryzowane za pomocą dyfraktometrii rentgenowskiej oraz skaningowej mikroskopii elektronowej. Największa różnica w morfologii otrzymanych kompozytów była obserwowana dla materiału z 34% zawartością tlenu. Kompozyty po procesie kalcynacji charakteryzowały się większą powierzchnią rzeczywistą niż przed obróbką termiczną z widocznym wzrostem mikroporowatości. W pracy poddaliśmy szczegółowej analizie elektrochemicznej wszystkie otrzymane kompozyty, a także w celach porównawczych przeprowadziliśmy badania układów składających się tylko z węgla aktywowanego i tlenku niklu. Wykonaliśmy badania

elektrochemiczne w układach dwu i trój-elektrodowych. Przedział potencjałowy pracy elektrody dodatniej wykonanej z kompozytu z 7% zawartością tlenku niklu był szerszy w porównaniu do elektrody ujemnej, natomiast uzyskiwane pojemności były niższe. Uzyskane wyniki pokazały, że kompozyt z niewielką, kilku procentową zawartością tlenku niklu charakteryzował się najwyższymi wartościami pojemności, ok. 20% wyższymi w porównaniu do węgla aktywowanego. Węgiel aktywowany pełni rolę przewodzącego podłoża dla tlenku niklu, który charakteryzuje się dość znacznym oporem. Dodatkowo, wykazaliśmy że ze względu na uzyskane wyniki w układzie trójelektrodowym, materiał kompozytowy może zostać wykorzystany przy budowie kondensatora o asymetrycznej konfiguracji elektrod.

Stosowanie węgli aktywowanych o rozwiniętej powierzchni, posiadających porowatą strukturę, która zwiększa efektywne wykorzystanie powierzchni elektrody, a także nanorurek węglowych w kontekście wykorzystania w kondensatorach elektrochemicznych skłoniło mnie do podjęcia prac związanych z doбором elektrolitu wodnego [H9]. Powszechnie znany jest fakt, iż na uzyskiwane pojemności oprócz rozwiniętej powierzchni rzeczywistej ma wpływ geometria i rozmiar porów z uwzględnieniem ich średniej wielkości, zwilżalność elektrody, a także obecność elektroaktywnych grup funkcyjnych na powierzchni węgla [7]. W aplikacyjnym znaczeniu prowadzonych badań nad nowymi materiałami elektrodowymi jak i stosowanymi elektrolitami, ważne jest aby kondensatory charakteryzowały się nie tylko dużymi pojemnościami i trwałością cykliczną ale również niskim kosztem. W pracy poddałam analizie wpływ elektrolitów wodnych na uzyskiwane pojemności kondensatorów elektrochemicznych na przykładzie dwóch węgla aktywowanych (handlowego oraz wytworzonego w procesie karbonizacji i aktywacji chemicznej ligniny), a także nanorurek węglowych o średnicy zewnętrznej 7 – 15 nm. Wykorzystanie materiałów elektrodowych z porowatością dobraną do rozmiarów jonów elektrolitu może poprawić elektrochemiczne charakterystyki kondensatora, ponieważ wpływ na uzyskiwane pojemności ma odpowiedni rozmiar porów. Natomiast napięcie pracy i oporność urządzenia zależą w głównej mierze od stosowanego elektrolitu. W pracy wykorzystano cztery wodne roztwory soli nieorganicznych (1M Na₂SO₄, 1M Na₂SO₃, K₂SO₄, 1M MgSO₄), a także w celach porównawczych 1M H₂SO₄ i 6M KOH jako elektrolity do kondensatorów elektrochemicznych. W celu porównania własności wytypowanych elektrolitów wyznaczyliśmy ich przewodnictwo właściwe wykorzystując metodę elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej oraz konduktometrię. Najwyższym przewodnictwem charakteryzują się roztwory kwasu siarkowego i wodorotlenku potasu,

czterokrotnie wyższym w porównaniu do roztworów soli, najniższym zaś 1M MgSO_4 . Materiały węglowe różniły się polem powierzchni rzeczywistej oraz porowatością. Węgłe aktywowane należą do materiałów mikroporowatych, natomiast nanorurki węglowe należą do materiałów mezoporowatych. Materiały różniły się również zawartością węgla wyznaczoną za pomocą analizy elementarnej. Ze względu na obecność heteroatomów i grup funkcyjnych, w węglach aktywowanych zawartość procentowa węgla jest mniejsza niż w przypadku nanorurek węglowych, co z kolei może przekładać się na uzyskiwane większych wartości pojemności i poprawę hydrofilowość materiału elektrodowego. Dla węgla otrzymanego w wyniku chemicznej aktywacji karbonizowanej ligniny najwyższe wartości pojemności uzyskano w roztworze 1M Na_2SO_3 , pomimo ponad 4 – krotnie mniejszego przewodnictwa tego elektrolitu w porównaniu do 1 M H_2SO_4 i 6 M KOH . Zależności takiej nie zaobserwowano dla komercyjnego węgla aktywowanego i nanorurek węglowych. Świadczyć to może o optymalnej strukturze porów węgla dla tego elektrolitu a także o występowaniu potencjalnych reakcji pseudopojemnościowych. Wartość przewodnictwa roztworów elektrolitów nie jest jedynym czynnikiem determinującym uzyskiwane pojemności. Wpływ ma również dopasowanie rzeczywistych rozmiarów jonów elektrolitu do porów materiału elektrodowego.

Tematykę wytwarzania węgli aktywowanych jako materiałów elektrodowych do kondensatorów elektrochemicznych kontynuowałam w pracy [H10]. W tym celu wykorzystałam biopolimer - chitozan. Chitozan jest kopolimerem, otrzymywanym jako pochodna chityny, która może pochodzić ze szkieletów zewnętrznych krewetek, krabów, krylu itp., a jednocześnie drugim najbardziej popularnym polimerem naturalnym po celulozie [8]. Materiał w pierwszym etapie skarbonizowałam w inertej atmosferze azotu, a następnie poddałam procesowi aktywacji chemicznej z wykorzystaniem wodorotlenku potasu w stosunku wagowym 1:4 w temperaturze 750, 800 i 850°C. Wykazałam że, karbonizacja chitozanu prowadzi do powstania porowatego węgla o dużej ok. 9% zawartości azotu. Chemiczna aktywacja materiału prowadzi do rozwinięcia powierzchni rzeczywistej (BET) wzrostu zawartości węgla, ale również do utraty znacznej ilości azotu. Węgiel powstały w wyniku karbonizacji chitozanu charakteryzował się podobną morfologią do wyjściowego biopolimeru. Natomiast proces aktywacji powodował widoczną fragmentację i powstanie cząstek o nieregularnym kształcie. Karbonizacja i chemiczna aktywacja chitozanu doprowadziła do powstania materiału węglowego o bardzo rozwiniętej powierzchni rzeczywistej ponad 2800 m^2/g z wyjściowego materiału o powierzchni 1 m^2/g . Zwiększenie temperatury aktywacji do

800 i 850°C prowadziło do dalszej destrukcji porowatej struktury węgla i zmniejszenia powierzchni rzeczywistej do 2400 m²/g. Właściwości pojemnościowe dla węgla o najbardziej rozwiniętej powierzchni sprawdziliśmy w wodnych roztworach kwasu siarkowego, wodorotlenku potasu i siarczanu sodu. Przygotowaliśmy również kondensator bazujący na elektrolicie organicznym, tj. wykorzystaliśmy roztwór 1M TEABF₄ w węglanie propylenu. Materiał węglowy otrzymany z karbonizowanego i aktywowanego chitozanu charakteryzował się dobrymi właściwościami pojemnościowymi zwłaszcza w środowisku kwaśnym, wynika to z rozwiniętej powierzchni rzeczywistej wytworzonego materiału, natomiast zastosowanie elektrolitu organicznego, pozwoliło na rozszerzenie napięcia pracy układu do 2,5 V i na uzyskanie wyższych wartości energii. Węgiel aktywowany, w wodnym elektrolicie, przy zastosowanej gęstości prądu 0,1 A/g charakteryzował się pojemnościami 295 F/g, oraz dobrą trwałością cykliczną. Ubytek pojemności po 5000 cykli ładowania/wyładowania wyniósł tylko 1%. Dla pozostałych elektrolitów zaobserwowano niższe wartości pojemności, z nieznacznym jej spadkiem podczas cyklicznego ładowania/wyładowania.

Prace nad wytwarzaniem i wykorzystaniem węgli aktywnych uzyskanych w procesie karbonizacji i aktywacji biopreursorów były przeze mnie kontynuowane w pracach [H11 i H12]. Ze względu na stosunkowo niską gęstość energii jaką cechują się kondensatory elektrochemiczne w porównaniu do akumulatorów, od 2001 roku prowadzone są badania mające na celu poprawę ich parametrów poprzez połączenie z zaletami akumulatorów litowo-jonowych [9]. Hybrydowe rozwiązanie, zakłada możliwość wykorzystania jako elektrody ujemnej materiałów grafitowych, stosowanych w akumulatorach litowo-jonowego i węgla aktywowanego o rozwiniętej powierzchni, jako elektrody dodatniej. W pracach porównaliśmy właściwości elektrochemiczne układów wykorzystujących jako elektrodę ujemną grafit, tlenek grafitu otrzymany modyfikowaną metodą Hummersona oraz zredukowany tlenek grafitu otrzymany metodą termiczną jak i chemiczną za pomocą hydrazyny i borowodorku sodu. Przeprowadzone przez nas badania wykazały, iż modyfikacja grafitu pozwala na stosowanie wyższych reżimów prądowych ze względu na zmiany w mechanizmie magazynowania ładunku w wytworzonych materiałach. Wykazaliśmy, że elektroda grafitowa ogranicza wydajność kondensatorów litowo-jonowych z powodu faradajowskiego charakteru magazynowania ładunku. Natomiast zredukowany tlenek grafitu wykazuje pojemność zarówno z ładowania podwójnej warstwy elektrycznej jak i z procesów faradajowskich. Niestety materiał ten, posiada również wady takie jak wysoka nieodwracalna pojemność w pierwszym cyklu, która wpływa

na wydajność całego systemu. Dokonaliśmy również przeglądu literaturowego wartości gęstości energii i mocy uzyskiwanych dla kondensatorów hybrydowych zbudowanych z różnych materiałów elektrodowych i porównaliśmy z wynikami uzyskanymi przez nas.

Wykorzystanie materiałów grafenowych w zastosowaniach elektrochemicznych, ze szczególnym uwzględnieniem systemów magazynowania i konwersji energii było tematem pracy [H13]. Rozdział, którego jestem współautorem poświęcony jest przeglądowi urządzeń do magazynowania energii, w których materiały grafenowe znajdują zastosowanie. Szczególną uwagę poświęciliśmy kondensatorom elektrochemicznym. Opisaliśmy również zastosowanie grafenu i jego kompozytów w technologii akumulatorów litowo-jonowych, a także w ogniw paliwowych, jako nośnika katalizatorów. Praca zawiera dane doświadczalne zaczerpnięte z literatury oraz osiągnięte przez autorów.

Ostatnia z prac [H14] wchodząca w skład osiągnięcia naukowego była podsumowaniem wykorzystania węgla aktywowanych i wielościennych nanorurek węglowych jako materiałów elektrodowych bądź też składników elektrod w układzie modelowym. W pracy tej dokonaliśmy porównania właściwości pojemnościowych kondensatora asymetrycznego typu C/MnO₂ w różnych układach badawczych. Jako materiał elektrody ujemnej wykorzystałam węgiel aktywowany (którego pojemność wynika przede wszystkim z wykorzystania podwójnej warstwy elektrycznej na granicy faz elektroda/elektrolit), natomiast elektrodę dodatnią stanowił kompozyt dwutlenku manganu (który to charakteryzuje się szybkimi i odwracalnymi reakcjami redoks) z ok. 10% zawartością wielościennych nanorurek węglowych otrzymanych wg. patentu [10]. W wyniku prowadzonych prac opracowaliśmy modele kondensatorów asymetrycznych o różnej ilości elektrod w układzie równoległym, co umożliwiło zwiększenie pojemności oraz możliwość obciążania badanych układów większymi prądami. Dodatkowo, asymetryczna budowa kondensatora elektrochemicznego, pozwala na rozszerzenie napięciowego przedziału pracy kondensatora w wodnych elektrolitach, co prowadzi do uzyskania znacznie większych energii w porównaniu do układów symetrycznych. Wyniki wykonanych badań elektrycznych dla układów modelowych typu „pouch” skorelowaliśmy z wynikami uzyskanymi dla układów badawczych typu Swagelok[®]. Na tej podstawie zoptymalizowaliśmy budowę i parametry pracy kondensatora pod względem zależności pomiędzy maksymalną gęstością prądową a ilością elektrod, przy zachowaniu określonej wartości pojemności podczas cyklicznego ładowania i wyładowania. W przypadku kondensatorów w układach badawczych typu Swagelok[®] pojemność liczona jest na średnią masę aktywną pojedynczej elektrody, natomiast w

modelowych układach na całkowitą masę urządzenia. Najwyższe wartości pojemności uzyskaliśmy dla kondensatora elektrochemicznego z największą ilością elektrod. Wykazaliśmy, że wzrost ilości elektrod w kondensatorze modelowym nie wpłynął na pogorszenie charakterystyk prądowych.

4.3.3. Podsumowanie

Przeprowadzone przeze mnie syntezy oraz modyfikacje materiałów węglowych pozwoliły na wykorzystanie nanorurek węglowych oraz węgla aktywnych w celu poprawy działania systemów do magazynowania i konwersji energii.

- W ogniwie niklowo-wodorkowym dodatek materiałów węglowych pozwolił na szybsze osiągnięcie maksymalnych wartości pojemności już w pierwszych cyklach pracy. Dodatkowo, poprawił dyfuzję wodoru dzięki cylindrycznemu kształtowi nanorurek węglowych.
- W ogniwach paliwowych z bezpośrednim utlenianiem borowodoru metalu dodatek nanomateriałów węglowych wpłynął na zwiększenie powierzchni kontaktu elektroda/elektrolit.
- Udowodniono, że wieloskładnikowy stop odwracalnie absorbujący wodór typu AB₅ może zostać wykorzystany jako katalizator do produkcji wielościennych nanorurek węglowych. Dobór odpowiednich parametrów syntezy pozwala na otrzymanie materiału o optymalnym składzie depozytu węglowego oraz charakteryzującego się dobrą propagacją ładunku.
- Użycie nanorurek węglowych w połączeniu z materiałami pseudopojemnościowymi umożliwiło uzyskanie większych wartości pojemnościowych w wyniku poprawy przewodnictwa materiału elektrodowego oraz wpłynęło na poprawę właściwości mechanicznych kompozytów.
- Dobór odpowiednich parametrów procesu karbonizacji i aktywacji chemicznej pozwolił na wytworzenie węgla o rozwiniętej powierzchni rzeczywistej. Wytworzone węgle zostały użyte jako materiał elektrodowy w kondensatorach symetrycznych, asymetrycznych oraz hybrydowych.

4.3.4. Literatura

- [1] Frackowiak E., Béguin F. "Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors" *Carbon* 39 (2001) 937–950.
- [2] Yang Ch. "Synthesis and characterization of active materials of Ni(OH)₂ powders, *Int. J. Hydrogen Energy* 27 (2002) 1071–1081.
- [3] M. Tliha, C. Khaldi, S. Boussami, N. Fenineche, O. El-Kedim, H. Mathlouthi, J. Lamloumi, "Kinetic and thermodynamic studies of hydrogen storage alloys as negative electrode materials for Ni/MH batteries: a review" *J. Solid State Electrochem.* 2014, 18, 577-593.
- [4] B. Liu, S. Suda "Hydrogen storage alloys as the anode materials of the direct borohydride fuel cell" *J. Alloys Compd.*, 454 (2008) 280-285.
- [5] G. Lota, A. Sierczyńska, K. Lota Patent PL 221921 „Sposób wytwarzania materiału anodowego do ogniw paliwowych z bezpośrednim utlenianiem borowodorku metalu” 30.06.2016 WUP 06/16
- [6] Li X., Wei B. "Supercapacitors based on nanostructured carbon" *Nano Energy* 2 (2013) 159-173.
- [7] Sun G., Song W., Liu X., Long D., Qiao W., Ling L. "Capacitive matching of pore size and ion size in the negative and positive electrodes for supercapacitors" *Electrochim. Acta* 56 (2011) 9248– 9256.
- [8] Qin C, Li H, Xiao Q, Liu Y, Zhu J, Du Y. Water-solubility of chitosan and its antimicrobial activity. *Carbohydr Polym* 63 (2006) 367-374.
- [9] Amatucci GG., Badway F., Du Pasquier A., Zheng T. "An asymmetric hybrid nonaqueous energy storage cell" *J. Electrochem. Soc.* 148 (2001) A930–A939.
- [10] K. Lota, G. Lota, A. Sierczyńska, Patent PL 224289 „Sposób wytwarzania katalizatora" 30.12.2016 WUP 12/16.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Równolegle do badań zawartych w cyklu prac stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego brałam udział w badaniach dotyczących preparatyki oraz charakteryzacji elektrochemicznej materiałów elektrodowych do kondensatorów elektrochemicznych, do elektrosorpcji wodoru, a także do ogniw niklowo-wodorkowych i litowo-jonowych. Badania zostały przedstawione w 11 publikacjach w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports oraz w dwóch spoza bazy. Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora byłam współautorem 4 publikacji w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports oraz w dwóch spoza bazy. Brałam również udział w pracach badawczych dotyczących wykorzystania nanorurek węglowych jako dodatku do poliamidu, określeniu parametrów prowadzenia procesów syntezy sferycznego β -Ni(OH)₂ do produkcji wysokowydajnych chemicznych źródeł prądu oraz opracowaniu składu masy ujemnej Ni-MH na zlecenie zewnętrznych podmiotów.

Brałam również udział w projektach badawczych finansowanych z MNiSW, funduszy strukturalnych POIG, NCN oraz NCBR zarówno jako kierownik (4) jak również jako wykonawca (5).

W roku 2012 uzyskałam stypendium dla wybitnych, młodych naukowców przyznane przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, byłam również kilkakrotnie nagradzana w ramach konkursów prowadzonych przez Instytut Metali Nieżelaznych na najlepszą publikację i wynalazek.

Brałam aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych, gdzie przedstawiałam wyniki swoich prac w postaci prezentacji ustnych (12) i plakatowych (7).

Do osiągnięć dydaktycznych i w zakresie popularyzacji nauki zaliczam wykład dla studentów Wydziału Technologii Chemicznej PP pt. „Cykl życia akumulatora – wyzwania w dobie wzrostu ilości chemicznych źródeł prądu na rynku” oraz warsztaty połączone z pokazami chemicznymi dla uczniów szkoły podstawowej. Sprawowałam opiekę w Instytucie nad stażami (8 osób - 3 miesięczne staże) realizowanymi w ramach projektów z Politechniki Poznańskiej, dyplomantami wykonującymi swoją pracę w Instytucie (9 osób), a także nad praktykantami (8 osób).

Recenzowałam publikacje w czasopismach międzynarodowych i krajowych (41).

Jestem współautorem 5 patentów krajowych, z których 3 dotyczą materiałów elektrodowych: do kondensatora elektrochemicznego, do ogniw Ni/MH oraz ogniw

paliwowych z bezpośrednim utlenianiem borowodorku. Pozostałe dwa patenty dotyczą sposobu wytwarzania wielościennych nanorurek węglowych. Jestem również współautorem 3 zgłoszeń patentowych.

Szczegółowy wykaz ww. publikacji wraz z oceną wkładu własnego oraz pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych został zamieszczony w załączniku nr 5.

Poznań 23.04.2019
Katarzyna Lota