

Krzysztof Artur BOGDANOWICZ¹
Agnieszka IWAN²
Adam JANUSZKO³

SAMOŁADUJĄCY UKŁAD MAGAZYNOWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ JAKO SYSTEM WSPARCIA DLA TECHNOLOGII WOJSKOWYCH

1. Wstęp

W ramach prac Organizacji ds. Badań i Technologii NATO została zdefiniowana lista 20 technologii o szczególnym znaczeniu strategicznym, do których zaliczają się [1]:

- technologie kwantowe,
- przetwarzanie w “chmurze”,
- inteligentne systemy autonomiczne,
- sieci bezprzewodowe, sensory,
- tania noktowizja,
- energia skierowana (wiązkowa),
- mikrosatelity,
- rzeczywistość wirtualna i rozszerzona oraz interfejsy kognitywne,
- broń niekonwencjonalna,
- inteligentne materiały,
- nanorobotyka (nanotechnologie),
- nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe,
- systemy zasilania i magazynowania energii,
- biotechnologie,
- postęp w medycynie,
- sieci społecznościowe,
- naddźwiękowe platformy i napędy,
- zminiaturyzowane układy elektroniczne,
- technologie typu „Stealth” i przeciwdziałania im.

¹ dr, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. profesora Józefa Kosackiego

² profesor WITI dr hab., Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. profesora Józefa Kosackiego

³ profesor WITI dr hab. inż., Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. profesora Józefa Kosackiego

Wyróżnione technologie ściśle współgrają z priorytetowymi kierunkami badań naukowych wyznaczonymi przez Resort Obrony Narodowej [2]. Jeden z tych priorytetowych kierunków – „Systemy zasilania i magazynowania energii” – jest przedmiotem badań realizowanych w Wojskowym Instytucie Techniki Inżynierskiej we Wrocławiu w ramach pierwszej edycji Programu Badań Naukowych „Kościuszko” finansowanych przez Ministerstwo Obrony Narodowej pt. „Polimery ciekłokrystaliczne, jako elektrolity stałe w zintegrowanym samoładującym systemie magazynującym energię elektryczną”.

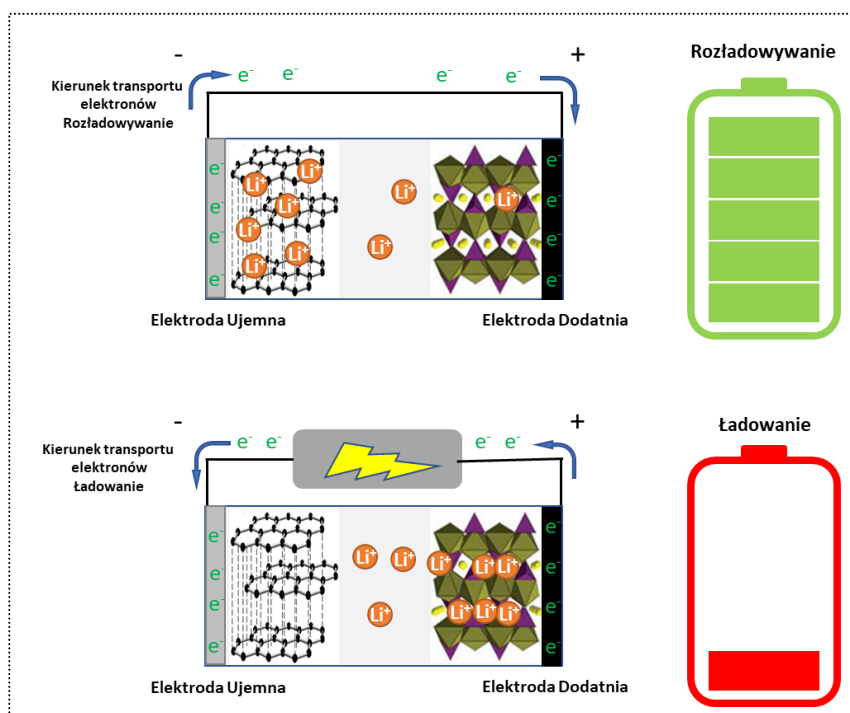
Stosowanie nowych technologii w celu ochrony i przetrwania na polu walki oraz w sytuacjach kryzysowych związane jest z potrzebą stałego i nieprzerwanego dostępu do źródła energii elektrycznej. Obecnie generacja niezbędnej energii elektrycznej wymaga głównie użycia konwencjonalnych paliw. Może to jednak okazać się problematyczne, a czasami wręcz niemożliwe, m.in. ze względu na potrzeby ciągłych dostaw paliwa. Poruszane aspekty stały się głównym powodem, dla którego armie na całym świecie zainteresowały się tematyką alternatywnych źródeł energii, głównie baterii słonecznych oraz sposobów jej magazynowania [3]. Są to tak zwane systemy sprzężone, w których akumulator połączony jest z ogniwem fotowoltaicznym. Tego rodzaju koncepcja nie tylko ma na celu zapewnić magazynowanie energii otrzymanej z ogniw słonecznych, ale również daje możliwość posiadania systemu wspomagającego ładowanie z wykorzystaniem energii słonecznej.

Prace przewidziane w tym projekcie zakładają rozwój nowych technologii w zakresie produkcji i magazynowania energii elektrycznej w układzie sprzężonym organiczne ogniwo fotowoltaiczne-akumulator litowo-jonowy. Beneficjentami projektu są dr Krzysztof Bogdanowicz jako naukowiec powracający do kraju i Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej im. Profesora Józefa Kosackiego we Wrocławiu.

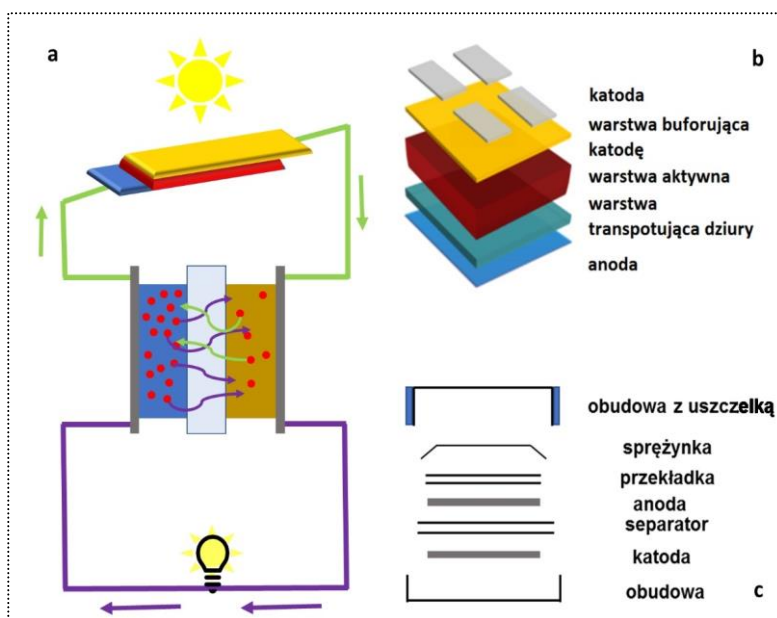
1.1. Akumulatory litowo-jonowe i ich rola w systemach samoładujących

Ogniwo galwaniczne to układ składający się z dwóch różnych półogniw (elektrod) będących w kontakcie z elektrolitem, połączonych ze sobą membraną półprzewodzącą lub kluczem elektrolitycznym. W wyniku zachodzących w układzie procesów fizyko-chemicznych powstaje energia elektryczna. W przypadku procesów odwracalnych możliwe jest przeprowadzenie ładowania ogniwa, czyli magazynowanie energii elektrycznej (rys. 1).

Technologia odwracalnych ogniw galwanicznych, w szczególności akumulatorów litowo-jonowych, daje szeroką możliwość zastosowania w różnego typu układach przenośnych, jak np. telefony komórkowe, samochody z napędem elektrycznym lub hybrydowym oraz układach stacjonarnych przy jednostkach produkujących energię elektryczną ze źródeł odwracalnych, jako system magazynowania energii elektrycznej. W ostatnim czasie zwraca się również uwagę na tak zwane systemy sprzężone np. fotoładujące, w których akumulator połączony jest z ogniwem fotowoltaicznym (rys. 2). Tego rodzaju koncepcja nie tylko ma na celu zapewnić magazynowanie energii otrzymanej z ogniw słonecznych, ale również daje możliwość posiadania systemu wspomagającego ładowanie z wykorzystaniem energii słonecznej. Ta ostatnia idea wydaje się być bardzo interesującą ze względu na potencjalne użycie w pojazdach napędzanych energią elektryczną.



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie procesów ładowania i rozładowywania zachodzących w odwracalnym ogniwie galwanicznym



Rys. 2. a) Schemat przedstawiający działania sprzężonego ogniwa słonecznego z ogniwem galwanicznym, b) architektura ogniwa słonecznego, c) elementy typowej baterii pastylkowej

Tego typu rozwiązanie zapewniłoby dodatkowy dostęp do energii elektrycznej, zwiększając zasięg pojazdów bez potrzeby ładowania akumulatora z zewnętrznego źródła. W takich rozwiązaniach, próbowano baterię litowo-jonową połączyć z nieorganicznym ogniwem słonecznym (krzemowym), ogniwem słonecznym barwnikowym (tzw. DSSC), polimerowym ogniwem słonecznym o architekturze objętościowej (z ang. *bulk heterojunction BHJ*) oraz ogniwem perowskitowym uzyskując wydajność (PCE) przemiany i magazynowania odpowiednio $PCE_{\text{przemiany}} = 15\%$, $PCE_{\text{magazynowania}} = 97\%$ i $PCE = 14,5\%$ dla ogniwa krzemowego, $PCE_{\text{magazynowania}} = 41\%$ i $PCE = 0,82\%$ dla ogniwa barwnikowego, oraz $PCE_{\text{przemiany}} = 1,85\%$ dla ogniwa BHJ połączonego z baterią litowo-polimerową i $PCE_{\text{przemiany}} = 5,49\%$ dla ogniwa BHJ połączonego z akumulatorem litowo-jonowym, zaś dla ogniwa perowskitowego połączonego z akumulatorem litowo-jonowym $PCE_{\text{przemiany}} = 7,8\%$ [4-7].

2. Polimery ciekłokrystaliczne, jako elektrolity stałe w zintegrowanym samoladującym systemie magazynującym energię elektryczną- założenia projektu

Celem projektu jest konstrukcja autonomicznego zintegrowanego systemu samoladującego, zbudowanego w oparciu o nowo otrzymane polimery ciekłokrystaliczne o właściwościach jono-przewodzących, jako stałe elektrolity i selektywne separatory membrany odwracalnych ogniw galwanicznych (tzw. baterii), bazując na technologii litowo-jonowej, oraz sprzężenie otrzymanych ogniw z organicznymi ogniwami fotowoltaicznymi.

Wykorzystując najnowsze odkrycia z badań nad polimerami ciekłokrystalicznymi możliwe jest zaprojektowanie struktury chemicznej związków polimerowych, tak aby posiadały zdolność do samoorganizacji i uporządkowania w postaci kolumn oraz zdolnych do przewodzenia kationów np. litu [8-10]. Zaproponowana idea użycia polimerów ciekłokrystalicznych niebędących jonomerami w dziedzinie ogniw galwanicznych jest pomysłem pionierskim w realizowanym projekcie. Zakłada się, że transport nośników ładunku w elektrolicie stałym będzie zachodził głównie na zasadzie koordynacji z atomami azotu, tlenu i siarki obecnymi w łańcuchu głównym polimeru. Takie rozwiązanie powinno zapewnić zwiększoną wytrzymałością na uszkodzenia mechaniczne oraz zapewnić elastyczność.

Istotnym elementem prac w projekcie jest skonstruowanie polimerowych ogniw fotowoltaicznych na podłożu szklanym o różnej architekturze ITO/PEDOT:PSS (lub MoO_x)/PTB7:PC₇₁BM/bez lub z PFN/Al, gdzie PTB7 to poly[[4,8-bis[(2-ethylhexyl)oxy]benzo[1,2-b:4,5-b']dithiophene-2,6-diyl][3-fluoro-2-[(2-ethylhexyl)carbonyl]-thieno[3,4-b]thiophenediyl]], a PC₇₁BM to ester metylowy kwasu [6,6]-fenylo-C71-masłowego. Jako warstwę transportującą dziury planujemy zastosować PEDOT: PSS lub MoO_x . Planujemy zbadać wpływ międzywarstwy PFN (poly[(9,9-bis(3'-(N,N-dimethylamino)propyl)-2,7-fluorene)-alt-2,7-(9,9-dioctylfluorene)]) na parametry fotowoltaiczne ogniw słonecznych [11-13].

Kluczowym elementem realizowanego projektu jest wytypowanie akumulatora litowo-jonowego ze stałym elektrolitem o najlepszych parametrach elektrycznych i połączenie go z polimerowym ogniwem słonecznym o najwyższej sprawności i stabilności w różnych warunkach atmosferycznych, oraz wyznaczenie parametrów układu ogniwo-akumulator litowo-jonowy. Prowadzone będą również prace nad kontrolowaniem napięcia między ogniwem słonecznym a akumulatorem litowo-

jonowym oraz prace nad połączeniem szeregowym lub równoległym ogniwa słonecznego z akumulatorem litowo-jonowym.

Prace w projekcie zostały podzielone na następujące zadania badawcze:

Zad. 1. Synteza nowych monomerów, charakterystyka ich struktury chemicznej oraz własności termicznych i ciekłokrystalicznych.

Zad. 2. Synteza i charakterystyka polimerów, określenie ich właściwości ciekłokrystalicznych oraz analiza zależności pomiędzy udziałem elastycznych i nieelastycznych elementów struktury polimeru a wielkością kanału jonowego.

Zad. 3. Wytworzenie warstw na bazie polimerów i termicznie indukowana samoorganizacja polimeru w celu uzyskania kolumn cząsteczek zorientowanych prostopadle do powierzchni warstwy. Proces orientacji zostanie zbadany metodą rentgenograficzną. Morfologia wytworzonych warstw zostanie określona technikami skaningowej mikroskopii elektronowej i mikroskopii sił atomowych.

Zad. 4. Określenie relacji pomiędzy właściwościami elektrochemicznymi a architekturą półogniw zawierających nowe materiały jono-przewodzące. Określone zostaną takie podstawowe parametry jak: stabilność elektrochemiczna, opór wewnętrzny każdego z elementów i całych baterii, pojemność całkowita ładunku zmagazynowanego, maksymalna wartość napięcia, pomiary impedancji elektrochemicznej i gęstość ładunku w stosunku do cyklu ładowania-rozładowywania w celu doboru najbardziej optymalnego ogniwa litowo-jonowego.

Zad. 5. Określenie wpływu dodatku związków jonowych i ich ilości na właściwości jono-przewodzące nowych elektrolitów stałych stosując impedancje elektrochemiczną.

Zad. 6. Charakterystyka przejść międzyfazowych pomiędzy nowymi elektrolitami stałymi i elektrodami przy użyciu impedancji elektrochemicznej i spektroskopii ramanowskiej.

Zad. 7. Konstrukcja akumulatora litowo-jonowego oraz jego charakterystyka. Kontrola wytrzymałości elektrochemicznej w trakcie cykli ładowania-rozładowywania przy zmiennych wartościach natężenia prądu i zmiennej temperaturze poprzez dobieranie odpowiednich proporcji pomiędzy poszczególnymi składnikami części przewodzącej jony (grubość warstwy przewodzącej, ilość soli w matrycy polimerowej). Optymalizacja warunków operacyjnych dla akumulatora, w zależności od rodzaju materiałów elektrodowych.

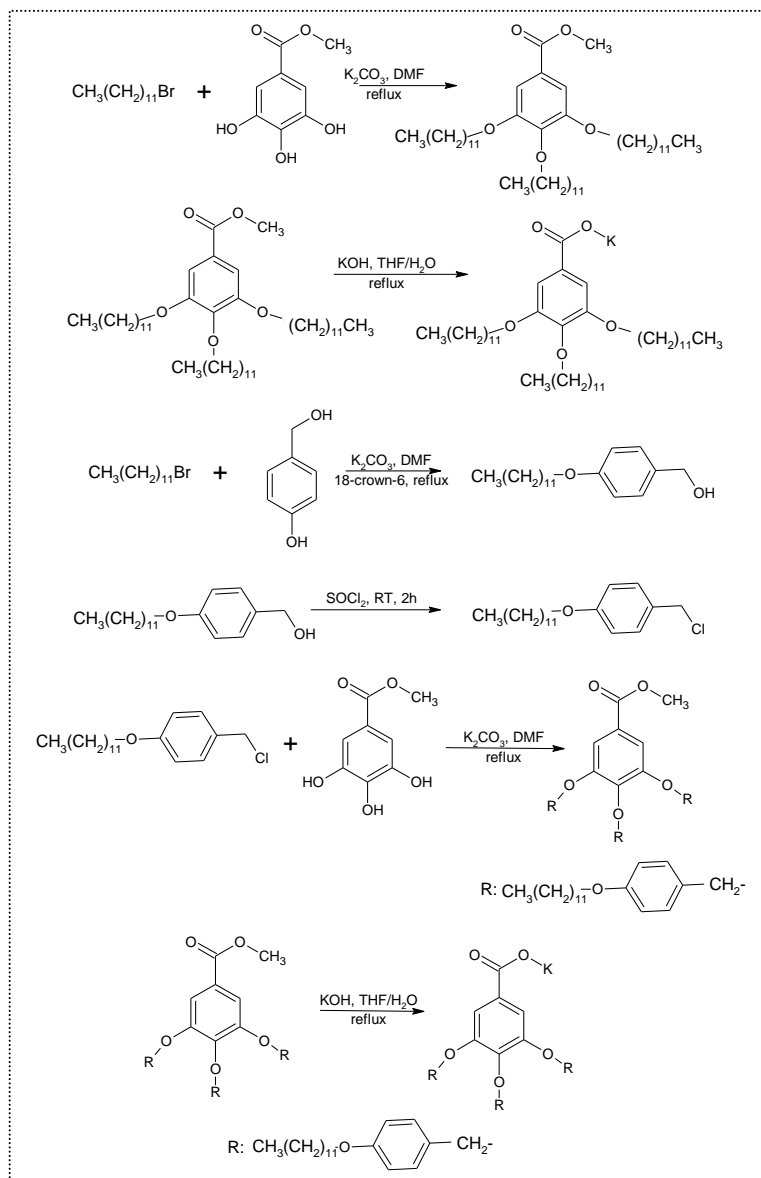
Zad. 8. Konstrukcja polimerowych ogniw słonecznych na podłożu szklanym o różnej architekturze ITO/PEDOT:PSS (lub MoO_x)/PTB7:PC₇₁BM/bez lub z PFN/Al oraz ich charakterystyka prądowo-napięciowa z użyciem, jako źródła światła lampy ksenonowej. Warstwy organiczne będą nanoszone poprzez zastosowanie techniki wirowania z roztworu, natomiast elektroda aluminiowa zostanie naniesiona poprzez wykorzystanie metody naporowywania termicznego.

Zad. 9. Połączenie akumulatora litowo-jonowego ze stałym elektrolitem o najlepszych parametrach elektrycznych z polimerowym ogniwem słonecznym o najwyższej sprawności i stabilności w warunkach atmosferycznych, oraz wyznaczenie parametrów układu ogniwo-bateria litowo-jonowa.

Zad. 10. Prace nad kontrolowaniem napięcia między ogniwem słonecznym a akumulatorem litowo-jonowym oraz nad połączeniem szeregowym lub równoległym ogniwa słonecznego z akumulatorem litowo-jonowym w celu minimalizacji strat energii i maksymalizacji wydajności.

3. Prace wykonane w ramach pierwszego etapu

Realizację projektu rozpoczęto zgodnie z harmonogramem 1 marca 2017 roku. Obecnie zrealizowano prace przewidziane w Etapie I, które uwzględniają syntezę 19 związków małowcząsteczkowych o różnej budowie chemicznej, otrzymanych w poszczególnych etapach syntez grup mezogenicznych oraz monomerów według mechanizmu reakcji substytucji nukleofilowej S_N1 i S_N2 (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Schemat syntez grup mezogenicznych

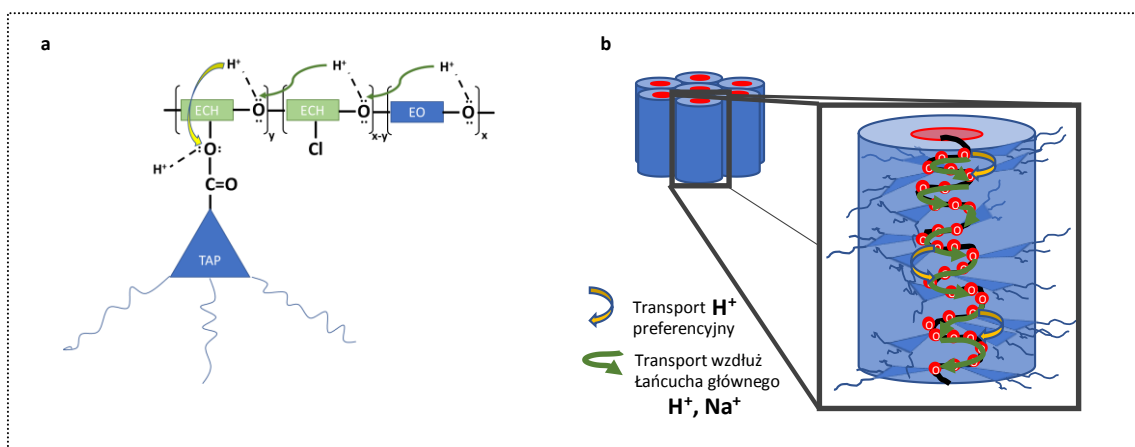
Otrzymane związki są stabilne w atmosferze powietrza i stabilne termicznie w zakresie temperatur 180-300 °C, w zależności od budowy chemicznej związku, co potwierdzają badania termogravimetryczne. Badania termiczne wykazały, iż otrzymane związki organiczne wykazują właściwości ciekłokrystaliczne typu tzw. mezofazy kolumnowej (z ang. columnar mesophase).

wykonano syntezy dwóch polimerów zawierających pierścienie tiofenowe w łańcuchu głównym, zgodnie z mechanizmem polimeryzacji rodnikowej. Przygotowano również warstwy polimerowe na podłożu szklanym na bazie komercyjnego poli(alkoholu winylowego) zawierającego różny udział procentowy (10%, 20% i 30% wagowych, rys. 5) otrzymanego związku tiofenowego (KAB14) o strukturze molekularnej tzw. wachlarza (z ang. fan shape).

Przeprowadzono także analizę wyników badań membrany otrzymanej na bazie zmodyfikowanego polieteru, przy użyciu innowatorskich badań *in situ* z wykorzystaniem techniki ramanowskiej sprzężonej z chronoamperometrią, w celu obserwowania zmian budowy chemicznej polimeru podczas transportu jonów. Analiza wyników umożliwiła identyfikację charakterystycznych pasm przypisanych do elementów budowy chemicznej polimeru, która aktywnie bierze udział w transporcie kationów. Dodatkowo analiza porównawcza zdjęć membran wykonanych za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego udowodniła brak degradacji membrany pod wpływem zachodzących, podczas eksperymentu, reakcji utleniania i redukcji.

Otrzymane wyniki badań pokazały, że transport jonów przez kanały jonowe mogą zachodzić w dwojaki sposób:

- wzdłuż kanału głównego, będącego wewnętrzną częścią kolumny w przypadku wszystkich jonów,
- w przypadku kationu wodoru z wykorzystaniem wiązań estrowych znajdujących się na peryferiach wewnętrznej części kanału (rys. 6).



Rys. 6. Graficzne przedstawienie transportu jonów wodoru i sodu wzdłuż łańcucha polimeru, a) i przez kanał jonowy w membranie, b)

4. Przyszłość nowych technologii energetycznych

Jednym z poważniejszych problemów, będącym tzw. „piętą Achillesową” odwracalnych ogniw galwanicznych (akumulatorów), jest kwestia bezpieczeństwa związana z użyciem do ich produkcji materiałów toksycznych, lotnych i łatwopalnych, głównie komponentów wchodzących w skład elektrolitu. Aby zminimalizować efekt związany z użyciem elektrolitów ciekłych dużą uwagę zaczęto skupiać na poszukiwaniu elektrolitów stałych o właściwościach przewodzących porównywalnych z elektrolitami ciekłymi.

Jednym ze sposobów na otrzymanie jono-przewodzących materiałów są żele polimerowe zawierające rozpuszczone sole i niewielkie ilości rozpuszczalnika. Oczywiście, w tych przypadkach nie unika się użycia rozpuszczalników, jednak dzięki strukturze polimerowej stabilność tych rozpuszczalników jest zwiększona. Rozpuszczalnik można zastąpić cieczami jonowymi, które pełnią tę samą funkcję jednak mają znacznie zwiększoną wytrzymałość termiczną.

Akumulatory litowo-jonowe dalekie są od doskonałości, jednakże wiele firm w celu zwiększenia gęstości magazynowanej energii sięgnęła po różne technologie takie jak np. wykorzystujące nanoprzewodnictwo. Istnieją również aspekty związane z chemicznymi właściwościami materiału elektrodowego, np. akumulatory litowo-żelazowo-fosforanowe (LiFePO), które charakteryzują się niższą zdolnością magazynowania energii, za to mogą być ładowane i rozładowywane większą liczbę cykli zanim utracą swoją pierwotną pojemność i są znacznie mniej podatne na zapłon przy przeładowaniu. Ponadto dużą zaletą akumulatorów LiFePO jest fakt, że są już dostępne, zatem dobór pozostałych komponentów, jak elektrolit, jest znacznie łatwiejszy. Nowe akumulatory litowo-siarkowe (Li-S) również wykazują potencjał aplikacyjny, chociaż nie są jeszcze dostępne w handlu. Ich największą zaletą jest wysoka gęstość magazynowanego ładunku przypadająca na jeden gram materiału elektrodowego. Innymi słowy, akumulatory Li-S przy porównywalnej masie i gabarytach w stosunku do obecnie dostępnych akumulatorów zdolne są przechować do 50% więcej energii. Niestety największą wadą akumulatorów litowo-siarkowych jest ich żywotność, która związana jest z degradacją materiału elektrodowego podczas cykli ładowania-rozładowywania [14]. Tak więc wyścig o system zdolny do magazynowania coraz to większej ilości energii przy zachowaniu akceptowanego poziomu bezpieczeństwa trwa.

Natomiast w przypadku ogniw fotowoltaicznych głównym nurtem jest technologia drukowanych organicznych ogniw słonecznych, która dzięki takim rozwiązaniom jak produkcja metodą „roll-to-roll”, może okazać się przełomowa ze względu na możliwość masowej produkcji i aspekt ekonomiczny - tańsza produkcja. Półprzewodniki organiczne, będące kluczowym elementem konstrukcyjnym organicznych ogniw fotowoltaicznych, których roztwory mogą służyć jako funkcjonalny atrament w produkcji masowej w technologii drukowania arkuszowego i drukowania typu "roll-to-roll". W ostatnich latach odnotowano znaczący postęp w rozwoju technologii drukarskich umożliwiający wytwarzanie ogniw i modułów o niemal identycznych parametrach. W nadchodzących latach oczekuje się dalszego rozwoju związanego z ulepszaniem receptury tuszu, opracowywaniem materiałów, optymalizacji procesów, opracowaniem metod kontroli jakości i produkcji [15, 16].

5. Podsumowanie

Projekt pt. „Polimery ciekłokrystaliczne, jako elektrolity stałe w zintegrowanym samoładującym systemie magazynującym energię elektryczną” powinien zaowocować opracowaniem i wykreowaniem nowych samoorganizujących się supramolekuł wykazujących właściwości jono-przewodzące. To podejście obejmuje udoskonalenie właściwości polimerów tj. przetwarzalność, transport elektryczny czy też właściwości jono-przewodzące w kontekście potencjalnych zastosowań aplikacyjnych, jako nowoczesnych materiałów stosowanych w odwracalnych ogniwach galwanicznych, np.

jako elektrolitów stałych. Wynikiem końcowym projektu będzie konstrukcja demonstratora: układu złożonego z ogniwa słonecznego i akumulatora litowo-jonowego.

Proponowany projekt zakłada rozwój nowych technologii w zakresie odwracalnych ogniw galwanicznych w układzie sprzężonym z ogniwem fotowoltaicznym i obejmuje opracowywanie technologii w ramach nowoczesnych źródeł zasilanych energią elektryczną oraz powiązany jest pośrednio z innymi kierunkami badań jak źródła energii dla platform bezzałogowych. Ponadto proponowane w projekcie badania/technologie/konstrukcje dotyczące sprzężonego układu odwracalne ogniwo galwaniczne – organiczne ogniwo fotowoltaiczne wykazują również możliwość zastosowania dla potrzeb cywilnych ze względu na ogromny popyt rynku na nowe technologie, z zastosowaniem w przenośnych elementach magazynowania energii elektrycznej, np. w telefonii komórkowej czy branży motoryzacyjnej dla pojazdów o napędzie elektrycznym.

6. Podziękowania

Podziękowania dla Ministerstwa Obrony Narodowej (MON) za wsparcie finansowe projektu pn. „Polimery ciekłokrystaliczne, jako elektrolity stałe w zintegrowanym samoladującym systemie magazynującym energię elektryczną” otrzymane w ramach pierwszej edycji Programu Badań Naukowych „Kościuszko” (umowa nr 585/2016/DA).

Literatura

- [1] Tech Trends Report 2017, Science and Technology Organization, NATO.
- [2] Priorytetowe Kierunki Badań w Resorcie Obrony Narodowej na lata 2013-2022, Ministerstwo Obrony Narodowej, Departament Nauki i Szkolnictwa Wojskowego, Decyzja Nr 4/NSzW Ministerstwa Obrony Narodowej z dnia 22.02.2013 r.
- [3] Military's Shift Toward Renewable Energy, HDIAC Staff, 12.08.2015r., strona internetowa: <http://science.dodlive.mil/2015/08/12/militarys-shift-toward-renewable-energy/>, dostęp z dnia 04.01.2018 r.
- [4] D. Schmidt, M. D. Hager, U. S. Schubert, Photo-Rechargeable Electric Energy Storage Systems. *Advanced Energy Materials* 2016, 6, 1500369.
- [5] J. Xu, Y. Chen, L. Dai, Efficiently photo-charging lithium-ion battery by perovskite solar cell. *Nature Communications* 2015, 6, 8103.
- [6] T. L. Gibson, N. A. Kelly, Solar photovoltaic charging of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources* 2010, 195, 3928-3932.
- [7] Y.-H. Lee, J.-S. Kim, J. Noh, I. Lee, H. J. Kim, S. Choi, J. Seo, S. Jeon, T.-S. Kim, J.-Y. Lee, J. W. Choi, Wearable Textile Battery Rechargeable by Solar Energy. *Nano Letters* 2013, 13, 5753–5761.
- [8] K. A. Bogdanowicz, S. V. Bhosale, Y. Li, Yun, I. F. J. Vankelecom, R. Garcia-Valls, J. A. Reina, M. Giamberini, Mimicking nature: Biomimetic ionic channels. *Journal of Membrane Science* 2016, 509, 10-18.
- [9] K. A. Bogdanowicz, G. A. Rapsilber, J. A. Reina, M. Giamberini, Liquid crystalline polymeric wires for selective proton transport, part 1: Wires preparation. *Polymer* 2016, 92, 50-57.

- [10] K. A. Bogdanowicz, P. Siatat, J. A. Reina, M. Giamberini, Liquid crystalline polymeric wires for selective proton transport, part 2: Ion transport in solid-state. *Polymer* 2016, 92, 58-65.
- [11] A. Iwan, *Polymer Solar Cells: An Overview*. Energy Science & Technology, Studium Press LLC, Volume 6: Solar Engineering-II (Photovoltaics and Solar Cells). rozdział 12, 321-347, Houston (US) 2015.
- [12] A. Iwan, M. Palewicz, I. Tazbir, B. Boharewicz, R. Pietruszka, M. Filapek, J. Wojtkiewicz, B. S. Witkowski, F. Granek, M. Godlewski, Influence of ZnO:Al, MoO₃ and PEDOT:PSS on efficiency in standard and inverted polymer solar cells based on polyazomethine and poly(3-hexylthiophene). *Electrochimica Acta* 2016, 191, 784-794.
- [13] A. Iwan, B. Boharewicz, I. Tazbir, M. Malinowski, M. Filapek, T. Kłęb, B. Luszczynska, I. Glowacki, K. P. Korona, M. Kaminska, J. Wojtkiewicz, M. Lewandowska, A. Hreniak, New environmentally friendly polyazomethines with thiophene rings for polymer solar cells. *Solar Energy* 2015, 117, 246-259.
- [14] K. Patel, Lithium-Sulfur Battery: Chemistry, Challenges, Cost, and Future, *Journal of Undergraduate Research* 2016, 9, 39-42.
- [15] E. Cantatore (ed.), *Applications of Organic and Printed Electronics*, Chapter 2: Solution-processed Organic Photovoltaics Claudia N. Hoth, Pavel Schilinsky, Stelios A. Choulis, Srinivasan Balasubramanian and Christoph J. Brabec, *Integrated Circuits and Systems*, Springer Science+Business Media New York 2013.
- [16] J. Yun, W. Wang, T. S. Bae, Y. H. Park, Y.-C. Kang, D.-H. Kim, S. Lee, G.-H. Lee, M. Song, and J.-W. Kang, Preparation of Flexible Organic Solar Cells with Highly Conductive and Transparent Metal-Oxide Multilayer Electrodes Based on Silver Oxide, *ACS Applied Materials & Interfaces* 2013, 5 (20), 9933-9941.

SELF-CHARGING ENERGY STORAGE SYSTEM AS AN ELEMENT OF MILITARY SUPPORT

Summary

Ensuring the independent functioning of military units during the war and in crisis situations in the field is a very important but very demanding task. Therefore, the National Defence Department, based on the guidelines of the NATO's Research and Technology Organization, has defined a list of top 20 technologies for national security and defence. One of these tasks is to develop renewable energy technologies, which are currently studied at WITI within a research project entitled "Liquid crystal polymers as solid electrolytes in integrated self-charging energy storage system" awarded by the Ministry of National Defence (contract No. 585/2016 / DA) in the first edition of the "Kościuszko" competition.

The scope of this project is to construct an integrated self-charging device based on novel polymeric liquid-crystalline solid electrolytes, containing thiophene rings. The work will focus on synthesis and characterization of novel discotic liquid crystalline polymers able to selectively transport specific ions due to formation of supramolecular structure. Proposed polymers should have a unique capability to conduct ions in absence of ionic substances (salts), good solubility and film-forming properties.

