Journal of KONBiN 2024
Volume 54, Issue 1
DOI 10.5604/01.3001.0054.4461

Sławomir MICHALAK ORCID 0000-0002-6933-1604, slawomir.michalak@itwl.pl
Henryk KOWALCZYK ORCID 0000-0002-2985-3619, henryk.kowalczyk@itwl.pl
Andrzej GĘBURA ORCID 0000-0003-1616-6251,
andrzej.gebura@itwl.pl – corresponding author
Tomasz TOKARSKI ORCID 0000-0002-6036-010X, tomasz.tokarski@itwl.pl
Air Force Institute of Technology (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych), Poland

PRZEGLĄD EKOLOGICZNYCH MILITARNYCH I CYWILNYCH SYSTEMÓW ZASILANIA

The overview of ecologic military and civilian power systems

Streszczenie: *Pozyskiwanie energii elektrycznej jest istotnym wyzwaniem XXI wieku. Na świecie w elektroenergetycznych projektach cywilnych coraz silniej dominują tendencje proekologiczne: energia wiatru, promieniowania słonecznego i energia elektryczna z tzw. baterii wodorowych i ich mutacji. W zastosowaniach wojskowych wykorzystanie tego typu źródeł również jest korzystne, gdyż znacznie poprawia możliwości maskowania, m.in. umożliwia zmniejszenie poświaty termicznej i natężenia hałasu. Autorzy artykułu opracowali przegląd ekologicznych systemów zasilania oraz przedstawili aktualny stan wdrożeń.*
Słowa kluczowe: ogniwo wodorowe, ogniwo paliwowe typu PEM, ogniwo metanolowe DMFC, panele fotowoltaiczne PV, elastyczne panele fotowoltaiczne EPF, naziemny lotniczy system zasilania elektrycznego statków powietrznych i systemów łączności

Abstract: *Obtaining electrical energy is a substantial challenge for the 21st century. The world is increasingly dominated by pro-ecological tendencies: wind energy, solar radiation and electric energy from the so-called hydrogen batteries and their mutations. In military applications, using these source types is also beneficial since it substantially improves camouflage possibilities, e.g., it enables the reduction of the thermal afterglow and noise intensity. The manuscript's authors developed the overview of pro-ecological power systems and presented the current state of implementations.*
Keywords: *hydrogen cell, PEM fuel cell, DMFC methanol cell, PV photovoltaic panels, EPF elastic photovoltaic panels, on-board aircraft electric power and communications supply system*

Received: January 24, 2024 / Revised: February 18, 2024 / Accepted: February 21, 2024 / Published: March 28, 2024

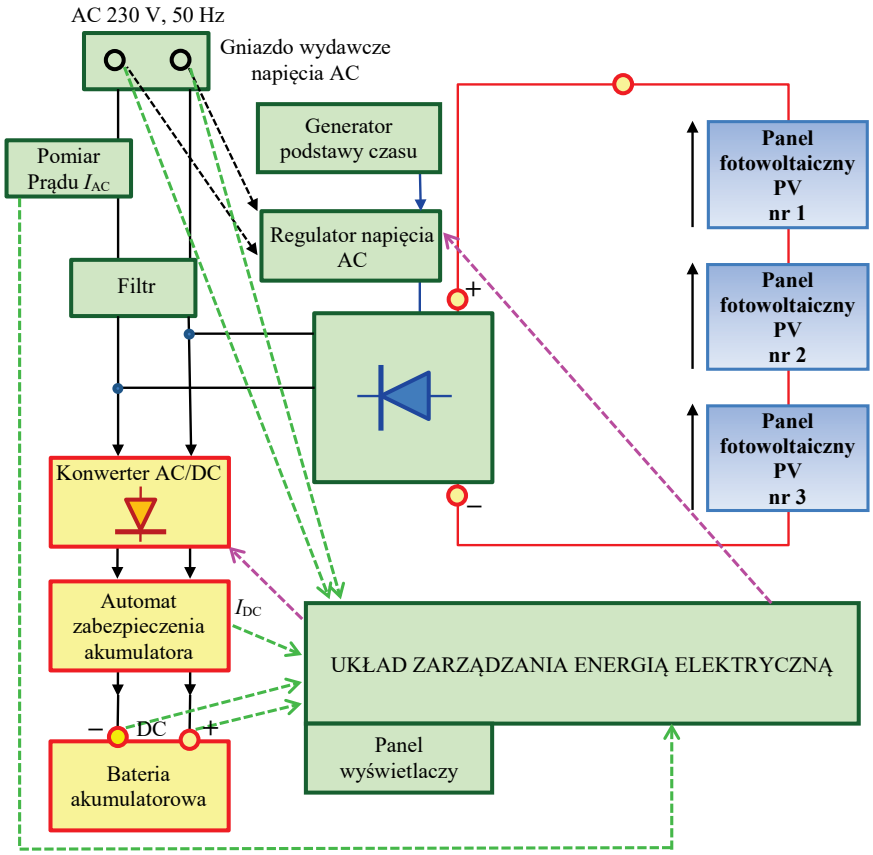
Article is available in open access
and licensed under a Creative Commons
Attribution 4.0 International

1. Wprowadzenie

Energia elektryczna jest niezbędna we wszystkich dziedzinach życia, zarówno cywilnego, jak i wojskowego. Zapotrzebowanie na ten typ energii rośnie, rośnie również zatrucie środowiska powodowane spalaniem węgla w elektrowniach cieplnych. Ponadto zasoby paliw kopalnych kurczą się i w związku z tym ich cena systematycznie rośnie. W wojskowym zastosowaniu podczas przebazowań stosowane są agregaty prądotwórcze z silnikami o zapłonie samoczynnym. Emitują one znaczne ilości trujących substancji. Z militarnego punktu widzenia są łatwo wykrywalne z powodu wysokiego poziomu natężenia dźwięku i bardzo wysokiej poświaty termicznej (temperatura układu wydechowego to ok. 300°C i więcej). W związku z powyższym autorzy postanowili zwrócić się ku ekologicznym źródłom zasilania – dokonali m.in. przeglądu tego typu źródeł ekologicznych stosowanych w systemach militarnych.

W tej sytuacji konstruktorzy systemów elektroenergetycznych sieciowych oraz lokalnych („wyspowych", tj. niepowiązanych z krajową siecią energetyczną) coraz częściej zwracają się ku ekologicznym źródłom prądu – wykorzystywana jest energia wiatru, promieniowania słonecznego i energia elektryczna z tzw. baterii wodorowych i ich mutacji. Źródła wodorowe oraz ich mutacje, głównie baterie metanolowe (wodór jest pozyskiwany z metanolu) oraz źródła fotowoltaiczne charakteryzują się niskim poziomem przeciążalności – stąd konieczność buforowego ich łączenia z bateriami najczęściej litowo-jonowymi oraz z superkondensatorami. Ponadto w systemie musi być układ zarządzania energią elektryczną sterujący rozpływem energii elektrycznej i diagnozujący poprawność działania systemu. Zazwyczaj system taki jest oparty na zasadzie podwójnego przetworzenia – odbiór energii elektrycznej prądu stałego, przetworzenie na prąd przemienny, poddanie prądu AC procesowi stabilizacji i regulacji napięcia następnie ewentualnym prostowaniu (zwykle części) energii systemu (rys. 1). Kontrolą i optymalizacją przepływu energii elektrycznej zajmuje się układ zarządzania energią elektryczną. Dodatkowym jego zadaniem jest przekazywanie użytkownikowi danych diagnostycznych i parametrów jakości energii elektrycznej na panelu wyświetlaczy (rys. 1 i 2).

Prawie identyczny układ systemowy mają systemy energetyczne oparte na pozyskiwaniu energii z wodoru lub ich pochodnych, np. z ogniw metanolowych, gdzie wodny roztwór metanolu jest dostarczany bezpośrednio do ogniwa paliwowego (DMFC). Reakcja łączenia się pozyskanego z metanolu wodoru z tlenem atmosferycznym odbywa się w temperaturze 80-120°C i jej produktami są: prąd elektryczny (emisja wolnych elektronów), para wodna i dwutlenek węgla.



Rys. 1. Schemat systemu energetycznego opartego na panelach fotowoltaicznych

Rys. 2. Możliwości falownika AZO DIGITAL 6kW-24

2. Aktualny stan wdrożeń ogniw paliwowych wodorowych i ich mutacji

Coraz powszechniej w literaturze technicznej pojawiają się opracowania dotyczące ogniw wodorowych, tj. ogniw paliwowych typu PEM, i pojazdów o napędzie elektrycznym zasilanych tymi ogniwami [1–12]. Są to m.in.:

a) Toyota Mirai drugiej generacji;
b) Nexo;
c) ciężarówka XCIENT Fuel Cell;
d) mały samolot Diamond HK36 Super Dimona (rys. 3) – wykorzystany przez Boeinga jako demonstrator technologii;
e) lokomotywa manewrowa – konieczność częstego uzupełniania paliwa (rys. 4).

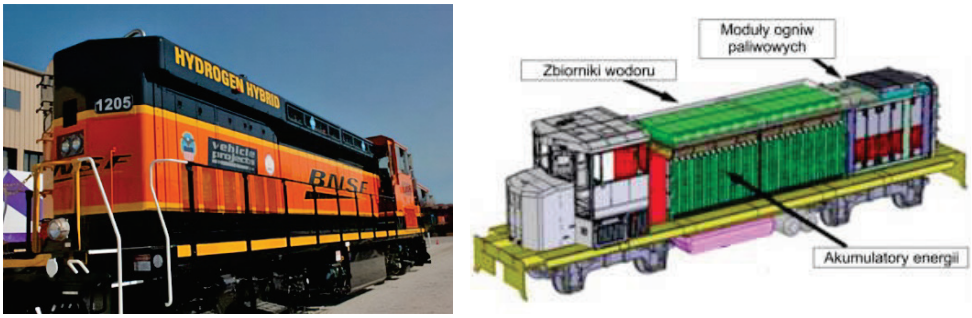
Wykorzystany przez Boeinga samolot Diamond HK36 Super Dimona (rys. 3) jest jedną z pierwszych konstrukcji wykorzystujących wodorowe ogniwo paliwowe do napędu silnika elektrycznego. Prototyp wykorzystuje ogniwo paliwowe podczas lotu poziomego, natomiast podczas startu wspierany jest energią z baterii litowo-jonowej zabudowanej na pokładzie statku powietrznego.

Rys. 3. Diamond HK36 Super Dimona EC-003, wykorzystany przez Boinga jako demonstrator technologii [fot. Adambro, wikipedia]

Zmodyfikowany o ogniwa paliwowe typu PEM, demonstracyjny samolot HK36 Super Dimona o numerze rejestracyjnym EC-003 został poddany testom w 2008 r., w ośrodku Boeing Research & Technology Europe w Madrycie. Statek powietrzny po osiągnięciu

prędkości 100 km/h wzbił się w powietrze i wzniósł na wysokość 1066,8 m (3500 ft.) n.p.m. Do startu oraz zwiększania pułapu do wysokości przelotowej korzystał z pełnej mocy baterii litowo-jonowej oraz układu ogniw paliwowych. Następnie bateria litowo-jonowa została odłączona przez pilota. System GPS potwierdził fakt, że samolot po odłączeniu baterii litowo-jonowej utrzymał swoją wysokość. To wykazało pierwsze w historii wykorzystanie ogniw paliwowych jako źródła energii podczas lotu poziomego.

Jedynymi produktami ubocznymi w czasie pracy ogniw paliwowych są para wodna i ciepło wytwarzane podczas reakcji elektro-chemicznej zachodzącej w układzie PEM, a więc produkty nieszkodliwe. Ciepło uzyskane podczas tego procesu może być wykorzystywane do ogrzewania kabiny lub do utrzymania baterii litowo-jonowej w odpowiedniej temperaturze. Woda powstająca w wyniku reakcji chemicznej jest magazynowana w zbiorniku w przedniej części kadłuba samolotu [13].



Rys. 4. Prototyp lokomotywy manewrowej i schemat układu z ogniwem paliwowym PEM [14]

Ogniwa wodorowe mają jednak wady z punktu widzenia zastosowań wojskowych, a w szczególności proponowanego przez ITWL układu zasilania elektrycznego statków powietrznych i polowych węzłów łączności:

a) wodór musi być podawany do ogniwa pod dużym ciśnieniem, ok. 300 atm – w chwili uderzenia odłamka (w czasie działań wojennych) może zamienić się w materiał wybuchowy niszczący konstrukcję układu oraz jego obsługę;
b) wodór musi mieć bardzo wysoką czystość, co w warunkach „W" jest trudne;
c) ewentualne sprężenie wodoru przed doprowadzeniem do ogniwa paliwowego (PEW) przez sprężarkę łączy się z wysokim poziomem hałasu sprężarki.

Dlatego też specjaliści ITWL (podobnie jak i wiele innych firm) zwrócili się w kierunku ogniw metanolowych, gdzie dostarczony jest metanol łatwo dostępny w przemyśle chemicznym (np. Zakłady Kędzierzyn-Koźle). Metanol jest dostarczany w postaci płynu, który odparowując wewnątrz ogniwa paliwowego (DMFP), przechodzi w postać gazową i dalej odbywa się reakcja przekazywania energii chemicznej podczas łączenia bezogniowego wodoru zawartego w paliwie z tlenem zawartym w powietrzu, analogicznie

jak w ogniwach wodorowych PEM. Dzięki zasilaniu przez takie ogniwa powstały konstrukcje urządzeń:

a) wózki widłowe południowokoreańskiej firmy GaonCell (rys. 5);
b) okręty podwodne klasy 212A/214 (ThyssenKrupp Marine Systems), w których ogniwo PEM zasilane jest wodorem produkowanym na pokładzie za pomocą reformera metanolu HWD 216 (rys. 6 i 7).

Rys. 5. Wózek widłowy zasilany ze źródła metanolowego układu paliwowego (DMFC), typ DM1500 wraz z buforującą baterią litowo-jonową [materiały reklamowe firmy GaonCell]

Rys. 6. System reformingu metanolu typu HWD 216 zainstalowany na okręcie podwodnym [5]

Rys. 7. Okręt podwodny HDW klasy 212A z metanolowym ogniwem paliwowym, testowana na Morzu Bałtyckim [fot. Thyssenkrupp]

Rozpatrując wpływ spalania paliw kopalnych na środowisko i efektywność wytwarzania w jego wyniku energii mechanicznej, zastosowanie metanolu w roli nośnika wodoru jako paliwa do ogniw paliwowych może być dobrym rozwiązaniem. Na korzyść tej koncepcji przemawia również łatwość jego przechowywania. [7]

3. Aktualny stan wdrożeń ogniw fotowoltaicznych

W ramach programu NATO Smart Energy w państwach takich jak Grecja, Niemcy, Wielka Brytania, Stany Zjednoczone, Holandia prowadzi się intensywne badania i rozwija się projekty polowych systemów energetycznych w oparciu o OZE [15]. Od kilku lat niemiecka Bundeswehra wyposażona jest w mobilne kontenery solarne (rys. 8).

W skład tego systemu wchodzi 66 paneli PV, każdy o mocy 300 Wp, pozwala to uzyskać maksymalną moc o wartości 19,8 kWp. Energia elektryczna magazynowana jest w baterii akumulatorów LiFePo4 o mocy 30 kW. System PV MC66 może pracować samodzielnie oraz współpracować z ZSE. Całość mieści się w standardowym 20-stopowym kontenerze. Zestaw jest przeznaczony do zasilania stanowisk dowodzenia, obozów wojskowych itp. [15]. Zestawy wykorzysujące jedynie fotowoltaikę do pozyskiwania energii wypieranie są przez zestawy hybrydowe. Mobilny System Zarządzania Energią – MEMS niemieckiej firmy PFISTERER integruje konwencjonalne źródło energii elektrycznej w postaci ZSE z różnymi źródłami OZE. System MEMS składa się z dwóch ZSE, każdy o mocy 10 kW, turbiny wiatrowej o maksymalnej mocy 5 kWp, paneli fotowoltaicznych (PV) o maksymalnej mocy 5 kW oraz magazynu energii – W = 60 kWh.

Rys. 8. Zestaw paneli fotowoltaicznych w wyposażeniu Bundeswehry: a) rozwinięty, b) podczas transportu [15]

Panele fotowoltaiczne PV składają się z połączonych w różnych konfiguracjach pojedynczych ogniw fotowoltaicznych (ogniwa PV). Obecnie wytwarzane w produkcji masowej ogniwa PV można pogrupować według materiału, z jakiego zostały wykonane oraz jego struktury krystalicznej. Ogniwa PV najczęściej produkowane są na bazie krzemu o strukturze krystalicznej i amorficznej, rzadziej produkuje się je ze związków półprzewodnikowych takich jak halogenki, GaAs, InP oraz z materiałów barwnikowych i organicznych [15].

Obecnie prowadzone badania dążą do uzyskania jak największej sprawności ogniw fotowoltaicznych (PV) [15]. Najbardziej popularne ogniwa krzemowe osiągają ponad 25-procentową sprawność. Wyższą sprawność osiągają ogniwa ze związków półprzewodnikowych, które w warunkach laboratoryjnych mogą osiągnąć ok. 38% sprawności. Technologię produkcji ogniw PV można podzielić na cztery generacje [15]:

I generacja: ogniwa PV produkowane na bazie krystalicznego lub polikrystalicznego krzemu;

II generacja: cienkowarstwowe ogniwa PV produkowane na bazie amorficznego krzemu, polikrystalicznych warstw CIS (CuInSe2), CIGS (CuInGaSe2);

III generacja: ogniwa PV produkowane w technice wielowarstwowej z materiałów o różnych potencjałach energetycznych;

IV generacja: ogniwa perowskitowe oraz hybrydowe.

Ogniwa i panele PV najczęściej produkowane są na sztywnym podłożu, istnieją również technologie, które umożliwiają wyprodukowanie ogniw PV na podłożu elastycznym. Prowadzone badania nad technologią elastycznych ogniw PV idą w kierunku ogniw cienkowarstwowych o zwiększonej sprawności, coraz większej elastyczności struktury. Elastyczne pokrycie fotowoltaiczne przeznaczone jest do budowy awaryjnego źródła zasilania bądź wytworzenia generatora prądu elektrycznego w miejscu bez żadnej infrastruktury energetycznej. Podstawowym odbiorcą elastycznych pokryć fotowoltaicznych (EPF) mogą być Siły Zbrojne RP, a także instytucje takie jak: Policja, Straż Graniczna, Służby Ratownicze [16]. W rozwiązaniu modelowym ogniwa słoneczne zostały połączone w sposób szeregowo-równoległy (rys. 9). Montaż poszczególnych ogniw i modułów słonecznych odbywa się za pomocą taśmy z miedzi ocynowanej z wykorzystaniem techniki lutowania miękkiego. Funkcję elastycznego podłoża pełnią tkaniny poliamidowe gumowane.

Rys. 9. Przykładowy wariant modelu pokrycia fotowoltaicznego [16]

4. Systemy zarządzania energią, magazyny energii elektrycznej

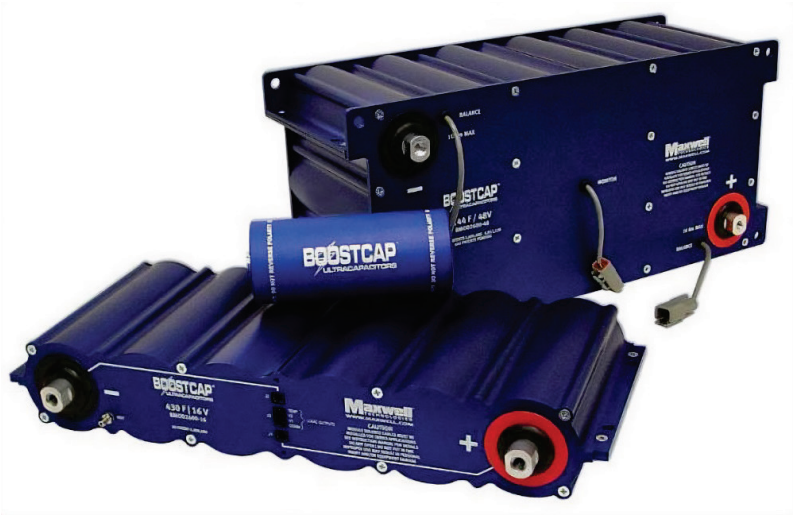
Rozwój rozproszonych, najczęściej odnawialnych źródeł energii i systemów magazynowania energii zmienia tradycyjny przepływ energii w systemach [17]. W wielu przypadkach magazyn energii jest kluczowym elementem umożliwiającym powstanie klastra energii, mikro-sieci czy lokalnego obszaru bilansowania. Te terminy są często stosowane zamiennie dla wydzielonych logicznie sekcji systemu, zapewniających maksymalną samowystarczalność energetyczną. Ich efektywna praca jest uzależniona nie tylko od samego istnienia źródeł i magazynów, lecz także od zastosowania odpowiednich metod ich sterowania. We wszelkich mikrosystemach energetycznych kluczową warstwą są systemy zarządzania energią (ang. EMS – Energy Management System). EMS obejmuje swoim zakresem przede wszystkim monitoring i możliwość sterowania zasobami energetycznymi. Poza oczywistą funkcją zarządzania ładowaniem i rozładowaniem magazynu energii mogą zapewniać także możliwość regulacji sterowalnych obciążeń, ograniczania mocy OZE w przypadku jej nadwyżki, utrzymania optymalnych warunków pracy źródeł spalinowych czy przy zastosowaniu tych technik zapewnienie pracy wyspowej (autonomicznej, bez podłączenia do systemu elektroenergetycznego).

Sprawa zarządzania magazynem energii komplikuje się w przypadku zastosowania hybrydowego magazynu energii, w którym przebiegi procesów ładowania i rozładowania należy dostosować indywidualnie do specyfiki każdej z baterii wchodzącej w skład systemu. Opracowania rozwiązania tego zagadnienia podjął się zespół KEZO w ramach projektu HyStore „System Zarządzania Hybrydowym Magazynem Energii" [17]. Jego celem jest opracowanie systemu EMS przeznaczonego dla hybrydowych magazynów energii.

W Polsce ustawodawstwo dotyczące magazynów energii nie jest jeszcze w pełni rozwinięte i nie oferuje atrakcyjnych modeli biznesowych dla inwestorów. Podejmowane są za to pierwsze projekty pilotażowe związane z instalacją magazynów energii. Wśród nich można wymienić np. projekt spółki Energa Operator w Pucku demonstrujący możliwości lokalnego bilansowania energii z użyciem magazynów czy magazyn PGE w Rzepedzi (Podkarpacie) mający za zadanie wsparcie systemu dystrybucyjnego. W najbliższych latach obszar magazynowania energii może stać się źródłem ciekawych innowacji i wielu miejsc pracy w Polsce.

Od pewnego czasu rośnie także zainteresowanie użyciem dużych pakietów akumulatorów litowo-jonowych (zazwyczaj od 20 do nawet 100 kWh) w pojazdach elektrycznych [18]. Wprowadzenie do produkcji samochodów i ciężarówek elektrycznych na skalę masową może, w niedalekiej przyszłości, wielokrotnie zwiększyć produkcję ogniw litowo-jonowych. Także producenci pojazdów z napędem hybrydowym coraz częściej zaczynają stosować ogniwa litowo-jonowe zamiast NiMH. Ogniwa litowo-jonowe

stosowane w pojazdach elektrycznych znacznie różnią się od tych stosowanych w sprzęcie elektronicznym. Różnice wynikają przede wszystkim z większych wymagań związanych z warunkami pracy oraz większą wymaganą trwałością, sięgającą nawet 10 lat. Ponadto pakiety wyposażone są w specjalne układy chłodzenia i ogrzewania, zapewniające optymalną temperaturę pracy. Ogniwa litowo-jonowe używane w pojazdach mogą być także szybko ładowane, zazwyczaj od 0 do 80% w 15–30 minut bez znaczącego wpływu na ich żywotność [18].



Rys. 10. Superkondensator firmy Maxwell [fot. Wikipedia]

Rosnące zapotrzebowanie samochodu na moc elektryczną, zarówno do zespołu napędowego w pojeździe hybrydowym czy elektrycznym, jak i do zasilania rosnącej liczby pozostałych urządzeń elektrycznych, w znacznym stopniu będzie mogło być zaspokajane dzięki superkondensatorom, pełniącym funkcję zaawansowanych magazynów energii [18]. Superkondensator to rodzaj kondensatora elektrolitycznego o bardzo dużej pojemności elektrycznej. Jego dużą zaletą jest krótki czas ładowania w porównaniu z innymi urządzeniami do przechowywania energii. Zasada działania superkondensatora, opartego na podwójnej warstwie elektrolitu, jest znana od ponad stu lat. Pomimo że superkondensator jest urządzeniem elektrochemicznym, w jego mechanizmie magazynowania energii elektrycznej nie biorą udziału żadne reakcje chemiczne. Mechanizm ten jest w wysokim stopniu odwracalny i pozwala ładować i rozładowywać superkondensator setki tysięcy razy. Najnowsze superkondensatory nominalnie wytrzymują milion cykli ładowania. Superkondensator składa się z dwóch niereaktywnych porowatych elektrod z elektrolitem, pomiędzy które jest przyłożone napięcie. Do dodatniej płyty przyciąga ono jony ujemne, a do ujemnej jony dodatnie. Powstają w ten sposób dwie warstwy oddzielonych od

siebie ładunków, jedna w płycie dodatniej, a druga w ujemnej. Pojemność jest proporcjonalna do powierzchni elektrod, a odwrotnie proporcjonalna do odległości pomiędzy nimi. Porowate płyty superkondensatora są wykonane z węgla, a ich powierzchnia dochodzi do 3000 m^2/g, znacznie przewyższając powierzchnię kondensatora konwencjonalnego. Odległość oddzielającą ładunki wyznacza rozmiar znajdujących się w elektrolicie jonów, przyciągniętych przez elektrodę. Nie przekracza ona kilku nanometrów i jest znacznie mniejsza od osiągalnej przy użyciu konwencjonalnych materiałów dielektrycznych (rys. 10). Z łączenia ogromnej powierzchni z niezwykle małą odległością otrzymuje się olbrzymią pojemność nawet tysięcy faradów w objętości szklanki. Superkondensatory mają niewielkie rozmiary, mogą magazynować znacznie więcej energii niż kondensatory konwencjonalne i uwalniać ją ze znacznie większą mocą niż akumulatory [18].

5. Podsumowanie

Przeprowadzony w niniejszej pracy przegląd ekologicznych militarnych i cywilnych systemów zasilania wykazał różnorodność ich konstrukcji. Bez przeszkód przez ostatnie 40 lat rozwijana jest fotowoltaika, zazwyczaj jako systemy domowe uzupełniające krajowe sieci elektroenergetyczne. Ale zanotowano także próby jej zastosowania do celów militarnych – w ramach programu NATO Smart Energy w państwach takich jak Grecja, Niemcy, Wielka Brytania, Stany Zjednoczone, Holandia prowadzi się intensywne badania i rozwija się projekty polowych systemów energetycznych w oparciu o OZE [15]. Od kilku lat niemiecka Bundeswehra wyposażona jest w mobilne kontenery solarne Multicontanier MC66. Zdaniem autorów te ciężkie panele o znacznym współczynniku odbicia nie nadają się do szybkich przemieszczeń, niezbędnych w polskich realiach. Wsparcie w postaci elektrowni wiatrowej szybko demaskuje miejsce rozłożenia węzła elektroenergetycznego zasilania. Dla wschodnich realiów dynamicznych przemieszczeń małymi zespołami korzystne wydają się elastyczne, układające się do ukształtowania terenu elastyczne i lekkie (7 kg) panele fotowoltaiczne, z odseparowanymi od siebie ogniwami, o powierzchni pofałdowanej i półmatowej, dzięki czemu nie tworzą charakterystycznego dla płaskich szklistych powierzchni odbłysków słońca demaskujących obiekt w miejscu rozśrodkowania.

Oczywiście panele fotowoltaiczne niezależnie od typu wykorzystują energię słoneczną i w nocy są nieprzydatne. Rezerwujące je baterie elektryczne mają ograniczoną moc. Znaczne zwiększanie ich pojemności spowodowałoby jednocześnie zwiększenie ich ciężaru, co utrudniłoby podatność transportową i zmniejszyłoby ich mobilność. Zespół autorów proponuje uzupełnienie nocnych ubytków energetycznych przez zastosowanie ogniw metanolowych o średniej mocy rzędu 1–10 kW, które w przeciwieństwie do „klasycznych" ogniw wodorowych nie wymagają sprężania do 300 atmosfer. Reakcja

łączenia się wodoru pozyskanego z metanolu z tlenem atmosferycznym odbywa się w temperaturze 80–120°C i jej produktem jest prąd elektryczny (emisja wolnych elektronów), para wodna i dwutlenek węgla. Ten ostatni związek chemiczny był do niedawna przez środowiska ekologiczne uważany za szkodliwy dla środowiska, pomimo że ilość i szkodliwość tych substancji jest nieporównywalnie mniejsza niż ilość i szkodliwych substancji wydzielana przez silniki spalinowe w szczególności silniki Diesla. Nie bacząc na to firma Krupp opracowała siłownię do okrętu podwodnego klasy 212A/214, w których ogniwo PEM zasilane jest wodorem produkowanym na pokładzie (wewnątrz ogniwa) z metanolu. Oczywiście moce takiej siłowni są stanowczo zbyt duże do siłowni polowych, lecz konstrukcja ta jest cennym przykładem racjonalnego myślenia w przemyśle militarnym.

6. Literatura

1. B. Ceran, „Charakterystyki eksploatacyjne stosu ogniw paliwowych typu PEMFC", Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, 2014, Tom 17, Zeszyt 3.
2. W. Ciechanowicz and S. Szczukowski, „Ogniwa paliwowe, wodór, metanol i biomasa szansą rozwoju obszarów wiejskich i zurbanizowanych", Olsztyn: Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, 2015.
3. M. Gawinowski, Analiza możliwości zastąpienia istniejącego silnika GTD-350 w lotniskowym urządzeniu zasilania elektrycznego samolotów wodorowym ogniwem paliwowym, BEng. Thesis, Lotnicza Akademia Wojskowa, Dęblin, 2022.
4. A. Jankowski, Wybrane zagadnienia funkcjonalne i aplikacyjne ogniw paliwowych, Warszawa: Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, 2012.
5. S. Krummrich, "Fuel Cell Methanol Reformer System for Submarines", 18th World Hydrogen Energy Conference 2010 – WHEC 2010, Parallel Sessions Book 3: Hydrogen Production Technologies – Part 2, Proceedings of the WHEC, May 16-21.2010, Essen.
6. A. Małek and M. Wendeker, „Ogniwa paliwowe typu PEM, teoria i praktyka". Lublin: Politechnika Lubelska, 2010.
7. J. Markowski, I. Pielecha, M. Nowacki, D. Olejniczak, P. Wirkowski, M. Dudek and A. Raźniak, „Potencjał ogniw paliwowych jako źródło napędu środków transportu", Journal of Polish CIMEEAC, Vol. 12, No. 1, 2017.
8. Norma Obronna NO-17-A206:2019: Wojskowe statki powietrzne – Naziemne układy zasilania elektroenergetycznego. Podstawowe parametry, wymagania i badania. (Polish Military Standard).
9. L. Redey, „Ogniwa paliwowe", Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1973.

10. M. Stępień, M. Rychlik, M. Wierzbicki, M. Bonja and M. Stefański, „Konstrukcja układu micro-CHP", in: T. Golec (ed.), Zagadnienia modelowania, konstrukcji i badań eksploatacyjnych układu mikro-kogeneracyjnego z ceramicznymi ogniwami paliwowymi (SOFC), Warszawa: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, 2015.
11. M. Wierzbicki, M. Skrzypkiewicz and A. Zieleniak, „Badania eksploatacyjne układu μ-CHP", in: T. Golec (ed.), Zagadnienia modelowania, konstrukcji i badań eksploatacyjnych układu mikro-kogeneracyjnego z ceramicznymi ogniwami paliwowymi (SOFC), Warszawa: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, 2015.
12. R. Włodarczyk, „Badania właściwości użytkowych materiałów stosowanych na interkonektory ogniw paliwowych typu PEMFC". Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2011.
13. N. Lapeña-Rey, J. Mosquera, E. Bataller and F. Ortí, "First Fuel-Cell Manned Aircraft", Journal of Aircraft, Vol. 47, No. 6, 2010, DOI 10.2514/1.42234.
14. N. Pocard, The Next Generation of Shunting Locomotives Uses Fuel Cell Power. Zero Emission Rail. Availabe: https://blog.ballard.com/rail/hydrogen-powered-trains [Accessed Jan. 8, 2024].
15. K. Górski and M. Łukomski, „Odnawialne źródła energii w zasilaniu wojskowych urządzeń elektronicznych małej mocy", Przegląd Elektrotechniczny, No. 9, 2022. DOI: 10.15199/48.2022.09.22.
16. S. Maleczek, M. Szczepaniak and W. Malicki, „Zastosowanie polikrystalicznych ogniw krzemowych jako elastycznych pokryć fotowoltaicznych", Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, No. 2, 2018.
17. P. Grabowski and K. Rafał, „Magazynowanie energii", Magazyn Polskiej Akademii Nauk, Vol. 1, No. 65, 2021, DOI: 10.24425/academiaPAN.2021.136844.
18. J. Frąś and M. Matulewski, „Magazynowanie energii w pojazdach proekologicznych", Problemy Nauk Stosowanych, Tom 3, 2015.