

Tomasz PIŁAT, Grzegorz GRZECZKA, Adam POLAK
Instytut Elektrotechniki i Automatyki Okrętowej, Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte, ul. Śmidowicza 69, 81-127 Gdynia
e-mail: t.pilat@amw.gdynia.pl; g.grzeczka@amw.gdynia.pl; a.polak@amw.gdynia.pl

Praktyczne aspekty możliwości zastosowania ogniw litowo – polimerowych na okrętach podwodnych

Streszczenie: Podstawowym źródłem zasilania na konwencjonalnych okrętach podwodnych są baterie akumulatorów. Do tej pory stosuje się na nich akumulatory ołowiowo – kwasowych. Jednak rynek baterii i akumulatorów, stymulowany przez ciągły wzrost zapotrzebowania na przenośne urządzenia zasilane energią elektryczną, stale się rozwija, wynajdując i wytwarzając coraz nowsze chemiczne magazyny energii. Nowsze rozwiązania sposobów chemicznego magazynowania energii umożliwiają gromadzenie coraz większej jej ilości w jednostce masy akumulatora. Nowe rozwiązania technologiczne, oprócz oczywistych korzyści, niosą jednak ze sobą pewne ograniczenia i zagrożenia. W artykule przedstawiono praktyczne aspekty możliwości zastosowania stosunkowo nowej technologii – ogniw litowo – polimerowych w zastępstwie ogniw ołowiowo – kwasowych na okrętach podwodnych.
Słowa kluczowe: litowo – polimerowa, okręt podwodny, kwasowo – ołowiowa.

PRACTICAL ASPECTS OF THE POSSIBILITY OF USING LITHIUM - POLYMER CELLS ON SUBMARINES

Abstract: The main sources of power on conventional submarines are battery packs. So far, acid-lead batteries have been used on them. However, the market for batteries and accumulators, stimulated by the continuous increase in the demand for portable devices powered by electricity, is constantly developing, inventing and generating ever newer chemical energy stores. Newer solutions of chemical energy storage methods allow the accumulation of more energy in the battery mass unit. In addition to the obvious benefits, new technological solutions carry certain limitations and threats. The paper presents practical aspects of the possibility of using a relatively new technology – lithium - polymer cells in replacement of lead - acid cells on submarines.
Keywords: lithium – polymer, submarine, lead - acid.

1. WPROWADZENIE

Jako podstawowe źródło zasilania na konwencjonalnych okrętach podwodnych stosuje się baterie akumulatorów. Uzasadnione jest to działaniem w zanurzeniu, gdzie niemożliwe jest wytwarzanie energii elektrycznej poprzez pracę spalinowych zespołów prądowców [1]. Ładowanie akumulatorów możliwe jest jedynie podczas pobytu okrętu na powierzchni – w pozycji wynurzonej, lub na głębokości peryskopowej z wynurzoną szybą ssania powietrza. W obu przypadkach ładowanie

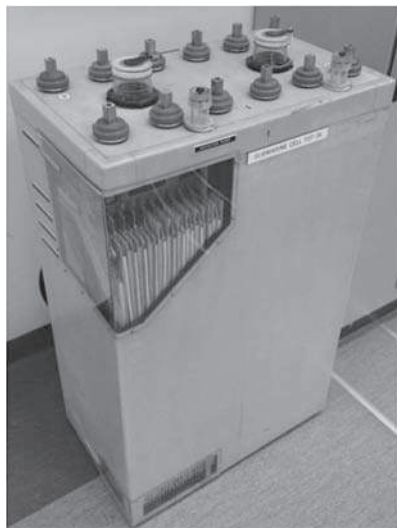
akumulatorów jest procesem, podczas którego okręt jest łatwym celem – na ten czas traci swoją najlepszą właściwość – trudność wykrycia [2].

Żywotność i możliwości operacyjne okrętu takie jak zasięg czy czas działania zależą w dużej mierze od ilości energii zgromadzonej w akumulatorach, im więcej zgromadzonej energii, tym większe możliwości taktyczne okrętu. Dlatego jak najlepsza jakość akumulatorów i dokładniejsza informacja o ich stanie jest bardzo istotna. Jakość i stan akumulatorów jest jednym z najbardziej istotnych parametrów w ocenie możliwości okrętu.

2. STOSOWANE ROZWIĄZANIE

Na konwencjonalnych okrętach podwodnych stosuje się akumulatory ołowiowo – kwasowe, głównie ze względu na ich stosunkowo niską cenę (w porównaniu do nowszych źródeł energii) i wieloletnie doświadczenie w eksploatacji.

Wysokość stosowanych ogniw przekracza 1m, a pole podstawy 0,3 m². Waga takiego ogniwa wynosi około 0,8 tony (Rys. 1). Każde ogniwo o napięciu znamionowym ok. 2V może występować pojedynczo, lub po kilka ogniw w jednej obudowie, jednak każde posiada własne wyprowadzenia biegunów i korki obsługowe. Takie



Rys. 1 Demonstracyjne ogniwo okrętowe

Fig. 1 Demonstration submarine cells



Rys. 2 Jeden z autorów w trakcie czynności diagnostyczno – obsługowych na wózku w jamie bateryjnej okrętu podwodnego

Fig. 2 One of the authors during the diagnostic and service activities on the trolley in the battery cavity of the submarine.



Rys. 3 Wnętrze jamy bateryjnej

Fig. 3 The interior of the battery cavity

rozwiązanie umożliwia zgromadzenie w akumulatorach dużej ilości energii (powyżej 20kAh), jednocześnie umożliwiając kontrolę pracy i obsługę pojedynczych ogniw. Ogniwa na okrętach podwodnych podzielone są na grupy, w których pojedyncze ogniwa połączone są szeregowo zwiększając napięcie całej grupy do nominalnego napięcia sieci. Poszczególne grupy mogą być łączone szeregowo lub równolegle, a także w wyjątkowych sytuacjach eksploatowane rozdzielnie. W zależności od rodzaju jednostki inna jest liczba zastosowanych na okręcie ogniw. Dla okrętu typu KILO łączna liczba ogniw to 240, dająca łącznie wagę około 192 ton [3]. Ze względu na swoją masę, aby zachować stateczność okrętu, ogniwa rozmieszczone są w jak najniższej możliwej części okrętu. Dostęp do korków serwisowych ogniw można uzyskać jedynie od góry, poruszając się na specjalnym wózku (Rys. 2), zawieszonym nad ogniwami.

Ze względów bezpieczeństwa, akumulatory umieszczone są w osobnych pomieszczeniach zwanych „jamami baterijnymi” (Rys. 3). Wejście do nich jest możliwe poprzez specjalne włazy o niewielkiej średnicy, aby zapewnić okrętowi szczelność w przypadku zalania jamy bateryjnej.

Wymiana okrętowej baterii akumulatorów powinna być realizowana co 5-10 lat, w zależności od jej stanu. Jest to proces bardzo czasochłon-

ny i skomplikowany. Ze względu na niewielką przestrzeń i tylko jedną drogę transportu, należy ogniwa montować w określonej kolejności. W przypadku, gdy w trakcie eksploatacji baterii nastąpi konieczność wymiany któregośkolwiek z ogniw może się okazać, że koniecznym jest wyjęcie kilkudziesięciu ogniw sprawnych, zanim możliwe będzie wyjęcie niesprawnego ogniwa.

Ze względu na rozmiary i zmienne temperatury pracy, ogniwa wymagają instalacji chłodzenia, która zapewnia możliwość wyrównania temperatury poszczególnych ogniw w baterii akumulatorów, jak również jej obniżenia, gdy przekroczy 40°C. Realizowane jest to przez obieg wody destylowanej, która przepływa przez wszystkie ogniwa chłodząc je. Woda destylowana z systemu chłodzenia baterii chłodzona jest natomiast wodą zaburtową.

Instalacja mieszania elektrolitu, polegająca na wdmuchiowaniu powietrza do spodniej części ogniwa, pozwala wyrównać stopień eksploatacji płyt w ogniwach. Ponieważ podczas eksploatacji akumulatorów, głównie podczas ładowania, wskutek zachodzących wewnątrz ogniwa przemian chemicznych wydzielany jest wodór, konieczna jest ciągła wentylacja pomieszczeń, w których te ogniwa są umieszczone. Wydzielanie wodoru w trakcie ładowania baterii jest procesem bardzo niebezpiecznym i niejed-

nokrotnie doprowadziło do wybuchu pożarów na okrętach podwodnych na całym świecie.

W celu ciągłego nadzoru stanu akumulatorów na okrętach podwodnych montuje się elektroniczny system monitoringu (BMS – Battery Monitoring System), który z określoną przez użytkownika częstotliwością realizuje i zapisuje pomiary prądu, napięcia i temperatur na poszczególnych ogniwach baterii. Pomiar temperatury pozwala odnieść napięcia ogniw do napięcia w temperaturze 30°C, która przez producenta określona jest, jako temperatura odniesienia.

Aby możliwa była długotrwała eksploatacja baterii akumulatorów kwasowo – ołowiowych, wymagany jest szereg czynności obsługowych [4], które są czasochłonne i kosztowne. Oprócz ciągłej wentylacji, codziennych oględzin ogniw i uruchamiania instalacji obsługujących (chłodzenia i mieszania elektrolitu) konieczne jest przeprowadzanie systematycznych ładowań baterii akumulatorów. Ładowanie takie powinno być przeprowadzane co dwa tygodnie, nawet gdy ogniwa nie są użytkowane. Dodatkowo, aby możliwie dokładnie określić stan baterii akumulatorów, konieczne jest przeprowadzenie próby ich pojemności. Próba pojemności wymaga wcześniejszego odpowiedniego przygotowania akumulatorów, polegającego między innymi na kilkukrotnym ich ładowaniu i rozładowaniu, co jest procesem trwającym około tygodnia. Choć portowe instalacje umożliwiają spożytkowanie energii uzyskanej z rozładowania baterii akumulatorów, całociowy bilans energetyczny jest i tak bardzo niekorzystny.

3. ZASTOSOWANIE OGNIW LITOWO - POLIMEROWYCH

Akumulatory litowo jonowe w ostatnich latach znacząco podbiły światowy rynek ogniw. Posiadają obecnie największą gęstość energii spośród ogólnodostępnych ogniw.

Jedną z odmian tych ogniw są akumulatory litowo – polimerowe (Li-po), zbudowane ze stopów litu oraz polimerów przewodzących. Elektrolit ma w nich postać stałą lub

żelu, co znacząco zmniejsza możliwość jego wycieku. Dzięki temu rozwiązaniu, akumulatory litowo – polimerowe są znacznie bezpieczniejsze od akumulatorów litowych z ciekłym elektrolitem. Dodatkową zaletą jest to, że ogniwa litowo – polimerowe można produkować w niemal każdym kształcie, nawet o grubości jednego milimetra, co znacznie zwiększa możliwość ich zastosowania w miejscach o ściśle określonej objętości [5].

Każde ogniwo Li-po ma napięcie znamionowe równe 3,7V i dzięki możliwości ich łączenia szeregowego, można uzyskać dowolną wartość napięcia dla całego pakietu. Aby uzyskać to samo napięcie, co przy 120 ogniwach ołowiowo – kwasowych, wystarczy 65 ogniw Li-po. Jeżeli chodzi o gęstość energii dla akumulatorów Li-po jest to ok. 200 Wh/kg, podczas gdy dla akumulatorów ołowiowo – kwasowych tylko 50 Wh/kg. Wydajność prądowa i maksymalny prąd ładowania, to parametry ściśle wynikające z budowy ogniw Li-po, ale ich wartości znacznie przewyższają odpowiadające im wartości w przypadku ogniw ołowiowo – kwasowych [6]. Również wartość pojemności dla ogniw Li-po jest zbliżona dla dużych i małych prądów rozładowania, gdzie w ogniwach ołowiowo – kwasowych, przy maksymalnym prądzie rozładowania, pojemność ogniwa spada nawet do 40% znamionowej pojemności ogniwa.

Ograniczeniami wynikającymi z powyższych parametrów są – kwestie bezpieczeństwa. – Ogniwa litowo – polimerowe w dużo większym stopniu niż ołowiowo – kwasowe wrażliwe są na przekroczenie dopuszczalnych wartości napięcia, przekroczenie ich może grozić nawet pożarem. Drugą kwestią jest konieczność stosowania balanserów, w przypadku szeregowego łączenia ogniw, aby móc jednostajnie ładować wszystkie ogniwa, przy zachowaniu odpowiednich, bezpiecznych napięć. Poruszone kwestie rozwiązywane są w postaci zastosowania układu elektronicznego, który monitoruje

wartości napięć na poszczególnych ogniwach, nie dopuszczając do ich wzrostu lub spadku poza dopuszczalną wartość, zarówno w trakcie rozładowania jak i ładowania.

Możliwe jest również zastosowanie specjalnych komór gaszeniowych, które znacznie zmniejszają ryzyko wystąpienia pożaru w całej jamie bateryjnej w przypadku zapalenia się jednej lub kilku cel. Znacznie zwiększa to bezpieczeństwo ich użytkowania [7].

Ogniwa Li-po wymagają znacznie mniej uwagi eksploatatora, niż ogniwa ołowiowo – kwasowe. Nie wymagają tak częstych okresowych ładowań, można je doładowywać dowolnym prądem i w dowolnym czasie (zawsze wtedy, gdy sytuacja taktyczna to umożliwia, nie zastanawiając się nad wpływem na pogorszenie stanu baterii). Ładowanie ogniw Li-po można również bezpiecznie przerwać w każdym momencie, podczas gdy dla ogniw ołowiowo – kwasowych przerwanie ładowania w trakcie pierwszego stopnia ładowania jest wysoce niezalecane. Ogniwa Li-po nie wymagają również tak częstych wizyt w jamie bateryjnej w celu zmierzenia gęstości elektrolitu, dolania wody destylowanej czy umycia baterii.

Akumulatory litowo – polimerowe są szczelnie zamknięte, przez co, podczas pracy, nie wydzielają do atmosfery żadnych gazów. Nie wymagają tym samym systemu wentylacji, tak ważnego w przypadku akumulatorów ołowiowo – kwasowych, gdzie podczas pracy wydzielane są duże ilości wybuchowego wodoru. W przypadku zastosowania ogniw litowych nie potrzebna również byłaby instalacja mieszania elektrolitu.

W celu zapewnienia jednakowych warunków pracy ogniw, należałoby przystosować instalację chłodzenia, do nowego typu baterii.

W przypadku zastosowania modułowej budowy ogniw, istniałaby możliwość wymiany pojedynczego uszkodzonego pakietu ogniw Li-po bez konieczności demontażu z okrętu kilkudziesięciu ogniw, jak w przypadku ogniw ołowiowo – kwasowych.

4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie ogniw litowo – polimerowych znacznie zmniejszyłoby ilość czynności obsługowych koniecznych do wykonywania przez załogę w procesie jej eksploatacji. Ogniwa te wymagają również mniejszej ilości instalacji obsługujących, co wpłynęłoby korzystnie na ilość miejsca na okręcie i zmniejszenie czasu poświęconego na dodatkowo wykonywane czynności, wynikające z obsługi tych instalacji. W wyniku większej gęstości gromadzonej w akumulatorach Li-po energii można uzyskać większy jej zapas w ten samej masie, lub więcej wolnego miejsca przy zachowanej ilości zgromadzonej energii.

Podstawowym problemem w ich zastosowaniu na okrętach podwodnych jest przede wszystkim ich wysoka cena oraz kwestie bezpieczeństwa, będące sprawą bardzo dyskusyjną, jeżeli chodzi o rozwiązania stosowane w sprzęcie bojowym.

BIBLIOGRAFIA

1. Grabowski Z., *Okręty podwodne*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Warszawa 1965.
2. Dowództwo Marynarki Wojennej, Kierowanie okrętem podwodnym projektu 877E, Gdynia 1988.
3. Lead Acid Batteries Technical Department Systems SunlightFactory Xanthi, *Technical manual s/m propulsion battery type 40ST35*. Greece 2014.
4. Detechko P. *Chapter 2 – Fundamentals of Lead-Acid Batteries*, Lead-Acid Batteries: Science and Technology (Second Edition), Sofia 2017: p. 33-129.
5. Mähliß J., *Lithium-ion Battery Technology*, Proceedings of the 11th Developer Forum Battery Technologies, Gliwice, June 2016.
6. Vezzini A., *Lithium-Ion Battery Management*, chapter in: 'Lithium-ion Batteries – Advances and Applications', Gianfranco Pistoia, 2016, p 345-360.
7. Polak A., Grzeczka G., Swoboda P., Bakiera P. *Aspects of safe operation of lithium – based batteries in marine applications*, Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej 2016, vol. 4(207), s. 75-85.

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 28-12-2018

Data akceptacji publikacji do druku: 06-02-2018