

Maciej Kwiatkowski, Bartłomiej Kras
ICPT S.A., Warszawa

NASTĘPNA GENERACJA BATERII TRAKCYJNYCH O ZWIĘKSZONEJ GĘSTOŚCI ENERGII

THE NEXT GENERATION OF TRACTION BATTERIES WITH INCREASED ENERGY DENSITY

Streszczenie: Autorzy przedstawiają projekt, którego celem jest opracowanie, wykonanie i wdrożenie nowej generacji modułu bateryjnego o bardzo wysokiej gęstości energii. Nowa generacja akumulatorów trakcyjnych, opartą na nowym module pozwoli na wprowadzenie do służby pojazdów autobusowych o zwiększonym zasięgu operacyjnym oraz ilości zabieranych pasażerów.

Abstract: The authors present a project aimed at developing, manufacturing and implementing a new generation battery module with a very high energy density. The new generation of traction batteries, based on the new module, will allow the introduction of bus vehicles with an increased operating range and the number of passengers taken into service.

Słowa kluczowe: LEO 300, silicon rich anode, ICPT, anoda krzemowa

Keywords: LEO 300, silicon rich anode, ICPT, silicon anode

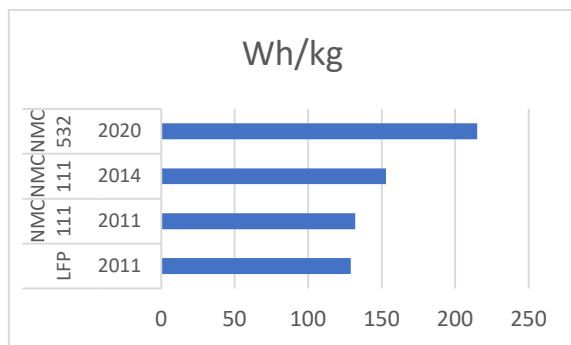
1. Wstęp

Akumulatory trakcyjne oparte o ogniwa litowo - jonowe dla pojazdów autobusowych w klasie homologacyjnej M3 to stosunkowo młoda gałąź przemysłu motoryzacyjnego. Pierwsze pojazdy zaprezentowano w drugiej dekadzie XXI wieku, tymczasem w 2020 roku w Europie zarejestrowano 1,714 autobusów ładowanych energią elektryczną [1], co stanowi 6.1% rynku nowych pojazdów autobusowych, oraz stanowi wzrost o 18.4% w stosunku do roku 2019. Co ważne, na Polskę przypada 200 rejestracji, co stanowi trzeci wynik, po Holandii (446 sztuk) oraz Niemczech (288 sztuk). Tak dynamiczny wzrost nie byłby możliwy bez ciągłego rozwoju akumulatorów litowo – jonowych. Rozwój ten odbywa się na wielu płaszczyznach, takich jak obniżenie kosztów wyprodukowania ogniw, oraz różnicowanie konstrukcji wewnętrznej ogniw w zależności od aplikacji. W drugim przypadku można wyróżnić akumulatory przeznaczone do szybkiego i wielokrotnego ładowania w ciągu dnia (strategia „opportunity charge”), oraz akumulatory przewidziane do ładowania całonocnego i całodziennej służby na zgromadzonej w ten sposób energii (strategia „overnight charge”). Nocne ładowanie nie wyklucza uzupełniania energii w ciągu służby, najczęściej poprzez ładowanie w dolinie między porannym i popołudniowym szczytem komunikacyjnym. W niniejszym artykule autorzy

opisują moduł o bardzo dużej gęstości energii, opracowany w celu spełnienia wymagań strategii ładowania nocnego.

2. Ogniwa litowo – jonowe w transporcie

Systemy bateryjne dedykowane do pracy w trybie ładowania nocnego budowane są przy użyciu ogniw litowo – jonowych opartych o katodę żelazowo – fosforanową (umownie nazywaną LFP) lub katodę niklowo – manganowo kobaltową (umownie nazywaną NMC). Obydwa typy materiału katodowego są łączone z anodą wykonaną z węgla w postaci grafitu lub amorficznej. Pierwsze autobusy elektryczne wprowadzane do komercyjnej służby były najczęściej wyposażone w zasobniki energii bazowane na ogniwach LFP. Wynikało to z podobnych parametrów gęstości energii wczesnych ogniw LFP oraz NMC, jak i wyraźnie niższej ceny ogniw LFP. W miarę rozwoju technologii ogniw NMC można było zaobserwować spadek średniej ceny kilowatogodziny zgromadzonej w ogniwie, przy jednoczesnym wzroście gęstości energii. Poniższy wykres przedstawia skalę zwiększenia gęstości energii w kolejnych generacjach ogniw stosowanych w akumulatorach trakcyjnych [2].

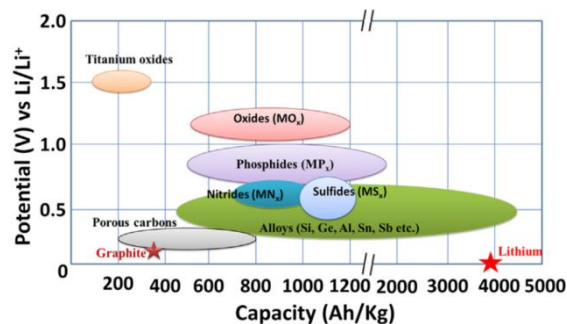


Rys. 1. Gęstość energii w ogniwach litowo-jonowych

Zwiększenie gęstości energii zgromadzonej w ogniwach NMC osiągnięto początkowo poprzez optymalizację procesu formowania materiału katodowego. Aby przekroczyć barierę 150 watogodzin na kilogram konieczne było wprowadzenie zmian w strukturze materiału katodowego. Dotychczasowe równe proporcje niklu, manganu oraz kobaltu zastąpiono mieszaninami o proporcjach początkowo 622 (6 części niklu, 2 części manganu, 2 części kobaltu), a następnie również 532 oraz 811. Taki zabieg spowodował wzrost gęstości energii do poziomu 215 watogodzin na kilogram. Magazyny energii budowane z tego typu ogniw osiągnęły gęstość energii 180 watogodzin na kilogram, co przekłada się na około 350 kilometrów zasięgu w normalnych warunkach pracy autobusu miejskiego.

3. Ogniwa nowej generacji

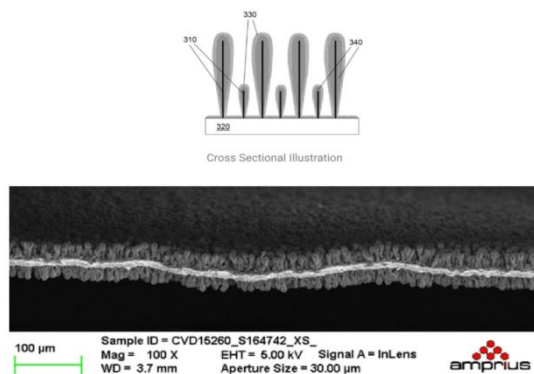
Dalsze zmiany w materiale katodowym prowadzą do istotnego zmniejszenia dostępnych ilości cykli. Dlatego też zwiększenie gęstości energii zgromadzonej w ogniwie, a w konsekwencji zwiększenia zasięgu operacyjnego pojazdu autobusowego, wymaga zastosowania ogniw o zmodyfikowanym materiale anodowym. Klasykne materiały anodowe zbudowane z węgla są dobrze przebadane i szeroko stosowane w przemyśle, w związku z tym rozpoczęto poszukiwania nowego materiału, zapewniającego większą gęstość energii. Wśród potencjalnych kandydatów na materiał anodowy należy wymienić: nanorurki węglowe, nanowłókna węglowe, grafen, porowaty węgiel, tlenek krzemu, krzem german, ołów, oraz tlenki metali grupy przejściowej [3]. Poniższy wykres przedstawia zależność teoretycznej pojemności materiału anodowego oraz potencjału elektrycznego do jonu litu Li/Li^+ .



Rys. 2. Porównanie materiałów anodowych [3]

Poszukiwany materiał anodowy powinien zapewniać bardzo duży stosunek powierzchni do objętości, co zapewni wzrost pojemności, oraz dużą powierzchnię kontaktu anody z elektrolitem, co z kolei pozwoli na zwiększenie transferu jonów litu poprzez barierę między anodą, a elektrolitem. Z drugiej strony, materiał anodowy powinien charakteryzować się niską zmianą objętości w cyklu ładowania, co przekłada się na trwałość anody, a więc możliwą do uzyskania ilość cykli. Wśród wymienionych wszystkich materiałów uwagę zwraca krzem. Krzem jest drugim najczęściej występującym pierwiastkiem w skorupie ziemskiej, charakteryzuje się pojemnością grawimetryczną wynoszącą 4200 mAh/g, co w porównaniu z powszechnie stosowanym grafitem (372 mAh/g) jest wartością doskonałą. Jednocześnie wartość potencjału elektrycznego do Li/Li^+ jest zbliżona do wartości grafitu. Dotychczasowe próby skonstruowania ogniwa z anodą krzemową napotykały na duże trudności, ze względu na zmienność objętości krzemu w cyklu ładowania wynoszącą nawet 300%. Tak duże zmiany wpływały bardzo negatywnie na trwałość budowanych ogniw. Badania wdrożeniowe koncentrowały się na takim ukształtowaniu powierzchni materiału anodowego, by zmiany objętości nie naruszały struktury anody. Problem udało się rozwiązać stosując anodę wykonaną z nanowłókien krzemowych. Taka unikatowa struktura pozwala wykorzystać zalety krzemu jako materiału anodowego, jednocześnie zapewniając miejsce dla zmian objętości w cyklu pracy ogniwa.

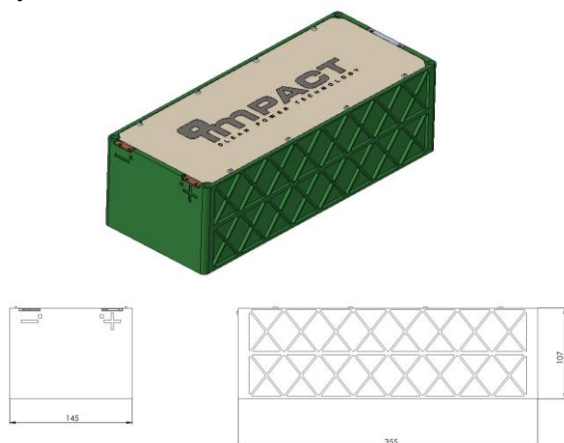
Ogniwo litowo – jonowe wykonane przy użyciu opisanej anody krzemowej (Silicon Rich Anode) charakteryzuje się znacznie zwiększoną pojemnością w stosunku do obecnie stosowanych ogniw, przy zachowaniu dobrej ilości cykli pracy.



Rys. 3. Anoda wykonana z nanowłókien [4]

4. Moduł LEO 300

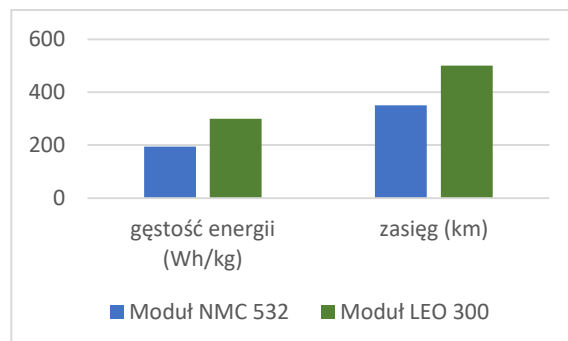
Impact Clean Power Technology S.A. bazując na ogniwach Silicon Rich Anode zaprojektował i zbudował innowacyjny moduł bateryjny, posiadający największą gęstość energii na rynku wynoszącą 300Wh/kg. Moduł o nazwie handlowej LEO300 został wykonany w popularnym formacie VDA PHEV2.



Rys. 4. Moduł LEO 300

Format modułu LEO300 umożliwia łatwy montaż w istniejących konstrukcjach magazynów energii. Upraszcza to integrację modułu LEO300 z pojazdami autobusowymi, dzięki czemu możliwy jest skokowy wzrost gęstości energii zgromadzonej w zasobnikach instalowanych na pojeździe, co przekłada się na zwiększenie konkurencyjności oferowanych pojazdów. Osiągana gęstość energii na poziomie zasobnika wynosi powyżej 260 Wh/kg. Przykładowe porównanie parametrów obecnej i przyszłej generacji pojazdów przedstawia poniższy wykres. Możliwy do uzyskania zasięg przekraczający 500 kilometrów pozwala na wprowadzanie zasilanych elektrycznie pojazdów autobusowych w miejsca dotychczas za-

rezerwowane dla pojazdów z silnikami wewnętrznego spalania, takie jak linie podmiejskie, czy obszary ze słabo rozwiniętą infrastrukturą energetyczną, uniemożliwiająca organizację sieci punktów szybkiego ładowania.



Rys. 5. Porównanie parametrów modułów

5. Wnioski i podsumowanie

Moduł LEO300 to skok technologiczny, który pozwala na budowę systemów bateryjnych dla autobusów znacząco zwiększających ich zasięg, okres życia baterii oraz skrócenie czasu ładowania. LEO300 to kolejny element w łańcuchu wartości ICPT S.A. opartego o zasady zrównoważonego rozwoju, gospodarki w obiegu zamkniętym i ochrony klimatu. Dzięki akumulatorom trakcyjnym opartym o moduły LEO300 Silicon Rich Anode nasi klienci zyskują ogromną przewagę konkurencyjną w kluczowych elementach przetargowych takich jak zasięg, czas ładowania, okres życia baterii czy ilość pasażerów.

6. Literatura

- [1]. ACEA <https://www.acea.auto/fuel-cv/fuel-types-of-new-buses-electric-6-1-hybrids-9-5-diesel-72-9-market-share-in-2020/>.
- [2]. Opracowanie własne ICPT.
- [3]. S. Goriparti, et al., Journal of Power Sources (2013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.11.103>
- [4]. Amprius Technologies <https://amprius.com/technology>.

Autorzy

Maciej Kwiatkowski M.Sc., Impact Clean Power Technology S.A., Aleje Jerozolimskie 424 A, 05-800 Pruszków, E-mail: mk@icpt.pl / 60%.

Bartłomiej Kras PhD, Impact Clean Power Technology S.A., Aleje Jerozolimskie 424 A, 05-800 Pruszków, E-mail: bk@icpt.pl / 40%;