

OCENA BATERII LITOWO-JONOWYCH STOSOWANYCH W SAMOCHODACH ELEKTRYCZNYCH TYPU BEV POD WZGLĘDEM BEZPIECZEŃSTWA I WPŁYWU NA ŚRODOWISKO

DATA PRZESŁANIA: 19.01.2019, DATA AKCEPTACJI: 14.01.2019, KODY JEL: R11, R42

Ewelina Sendek-Matysiak

Politechnika Świętokrzyska
esendek@tu.kielce.pl

STRESZCZENIE

Obecnie najczęściej stosowanymi akumulatorami (powszechnie nazywanymi bateriami) w samochodach z napędem elektrycznym typu BEV są ogniwa litowo-jonowe. Okres ich eksploatacji szacowany jest na około 10 lat. W 2018 roku udział samochodów elektrycznych BEV w rynku motoryzacyjnym Unii Europejskiej był niewielki i wyniósł 0,8%. Zgodnie jednak z polityką Wspólnoty już w 2030 roku mają one stanowić 50% użytkowanych samochodów osobowych, a po 2035 roku wszystkie sprzedawane samochody osobowe mają być w pełni elektryczne. Zwiększająca się liczba BEV, a co za tym idzie rosnąca liczba montowanych w nich baterii Li-Jon, nasuwa pytanie, jak produkcja, eksploatacja i ostatecznie recykling takich baterii wpływają na człowieka i otaczające go środowisko. Jednym z często powtarzanych zarzutów pod adresem samochodów elektrycznych jest to, że ich zerowa emisja w miejscu eksploatacji rekompensowana jest szkodliwą dla środowiska produkcją baterii, które w stosunkowo krótkim czasie zmieniają się w toksyczne elektrośmieci. Celem artykułu jest analiza cyklu życia baterii montowanych w samochodach elektrycznych w aspekcie ich emisyjności i bezpieczeństwa użytkowania. W pracy wskazano ponadto możliwości wykorzystania zużytych baterii samochodowych.

SŁOWA KLUCZOWE

akumulator, bateria, emisja zanieczyszczeń, samochód elektryczny, recykling

WPROWADZENIE

Do napędu pojazdu elektrycznego można zastosować zarówno ogniwa ładowalne nisko-, jak i wysokotemperaturowe lub ogniwa paliwowe. W porównaniu pod względem ceny, masy czy warunków pracy wpływających na ograniczenie osiągnięć i zastosowań w samochodzie osobowym obecnie najkorzystniej wypadają ogniwa odwracalne niskotemperaturowe, nazywane powszechnie akumulatorami. W praktyce taka technologia cechuje się dużą energią właściwą, wysokim do-

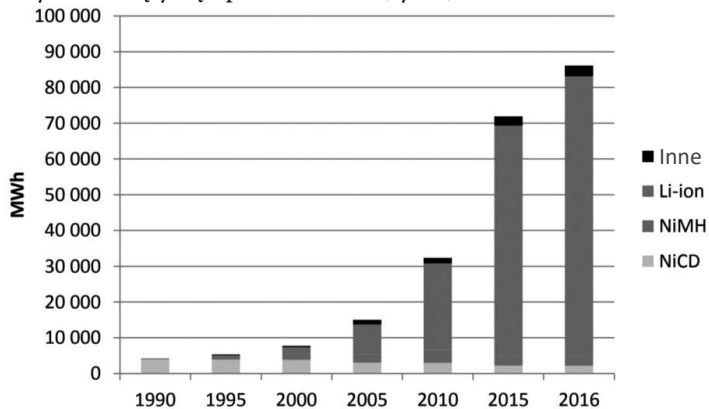
puszczalnym prądem rozładowania przy jego minimalnym wpływie na trwałość, niskim samorozładowaniem, dużą liczbą cykli pracy.

Do najpopularniejszych typów ogniw wtórnych należą:

- akumulatory kwasowo-ołowiowe (*lead-acid battery*, Pb-Acid),
- akumulatory niklowo-kadmowe (*nickel-cadmium battery*, Ni-Cd),
- akumulatory wodorkowe (*nickel-metal hydride battery*, Ni-MH),
- akumulatory litowe (*lithium battery*, Li-Metal, Li-Ion, PLiON).

Ogniwa odwracalne, w których nośnikiem ładunku są jony litu, należą do relatywnie tanich i bardzo obiecujących technologii gromadzenia energii elektrycznej. Obecnie na rynku dostępnych jest kilka ich odmian, które różnią się między sobą rozwiązaniami konstrukcyjnymi i zastosowanymi związkami chemicznymi. Pomimo iż noszą różne nazwy, wszystkie są akumulatorami litowo-jonowymi.

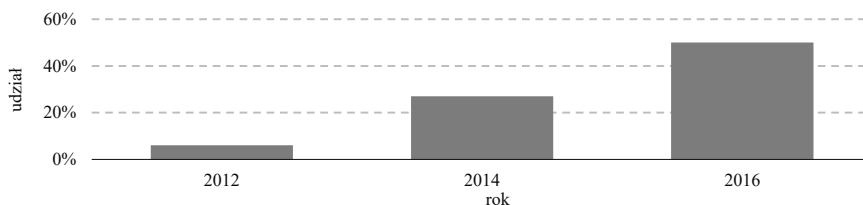
Pierwsze akumulatory litowo-jonowe pojawiły się w 1991 roku jako źródło zasilania kamer Sony CCD TR1 i szybko zaczęły się upowszechniać (rys. 1).



Rysunek 1. Sprzedaż akumulatorów na świecie w latach 1990–2016

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pilot (2017).

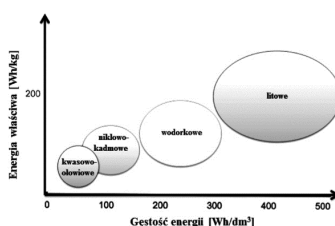
Ze względu na wyższą grawimetryczną gęstość energii baterie trakcyjne litowo-jonowe pozwalają na przejechanie większej odległości niż baterie wykonane w innej technologii. Dlatego też są one najczęściej wybierane przez producentów samochodów elektrycznych. Już w 2016 roku w takich samochodach wśród wszystkich zamontowanych w nich akumulatorów 50% stanowiły Li-Ion (rys. 2).



Rysunek 2. Udział ogniw litowo-jonowych montowanych w samochodach elektrycznych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Jaworowska (2017).

Mają one napięcie nominalne ponad 3 V i największą gęstość energii spośród wszystkich akumulatorów dostępnych na rynku (rys. 3).



Rysunek 3. Porównanie technologii produkcji akumulatorów pod względem gęstości energii

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Yoshio, Brodd i Kozawa (2009).

Nie występuje w nich efekt pamięciowy, samorozładowanie jest niewielkie, a trwałość i żywotność duża (w wielu przekracza 1000 cykli pracy). W samochodach elektrycznych mogą być eksploatowane około 10 lat, ładowane 2500–3500 razy (Battery University, 2018).

Niemniej jednak zawsze trzeba pamiętać, iż wszystkie akumulatory litowe są bardzo wrażliwe zarówno na przeładowanie, jak i nadmierne rozładowanie. W obu przypadkach akumulator ulega trwałemu uszkodzeniu, a przeładowanie może dodatkowo grozić pożarem. Takie przypadki zdarzały się tuż po wprowadzeniu ich na rynek, gdy akumulatory nie były jeszcze w pełni dopracowane i gdy nie było jeszcze odpowiednich ładowarek, a użytkownicy nie doceniali wagi problemu. Obecnie w telefonach, tabletach, aparatach i laptopach montowane są nie miliony, lecz miliardy ogniw litowych, a doniesienia o ich uszkodzeniach są sporadyczne.

Akumulatory litowo-jonowe mogą działać w stosunkowo szerokim zakresie temperatur. Niezbędne jest jednak bieżące monitorowanie temperatury panującej wewnątrz obudowy akumulatora, aby uniemożliwić wykroczenie poza dopuszczalny zakres temperatur pracy (typowo 0–45°C). Ładowanie akumulatora poza wyznaczonym zakresem temperatur pogarsza jakość ładowania i może skrócić żywotność ogniwa, a nawet doprowadzić do deformacji i rozszczelnienia.

Konkretne parametry graniczne zależą od technologii wykonania danego wariantu ogniwa. Zgodnie z zasadami rządzącymi reakcjami chemicznymi wydajność prądowa i efektywny ładunek akumulatora maleją wraz ze spadkiem temperatury, co przedstawiono w tabeli 1.

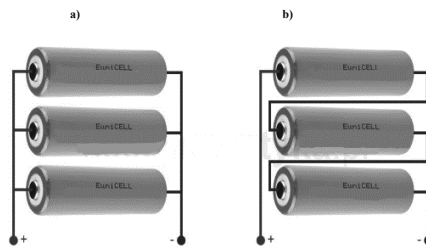
Tabela 1. Napięcie rozładowania baterii litowo-jonowej o pojemności 1350 mAh jako funkcja pojemności dla różnych temperatur

Temperatura [°C]	Napięcie początkowe [V]	Pojemność końcowa [mAh]
1	2	3
60	4,1	1400
20	4,1	1350
-10	3,9	1200
-20	3,7	850

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Luque, Hegedus (2011).

Używanie akumulatora poniżej ujemnej temperatury granicznej jest wprawdzie możliwe, jednak jego właściwości napędowe będą bardzo ograniczone, a trwałość naruszana (Czerwiński, 2016). Temperatury powyżej optymalnej nie są zalecane ze względów bezpieczeństwa, szczególnie w sytuacji kiedy akumulator składa się z setek ogniw, a ich chłodzenie jest ograniczone i niejednokowe. Z tego powodu, aby zapewnić ładowanie i pracę akumulatora w optymalnym zakresie temperatur, niektóre samochody zawierają system ich ogrzewania i chłodzenia.

Ładowalne ogniwa litowe są produkowane jako konstrukcje cylindryczne, pryzmatyczne (prostokątne) lub pakietowe. Pojedyncze ogniwa łączone są w baterie szeregowo, równoległe lub szeregowo-równoległe. Połączenie szeregowo np. trzech ogniw, oznaczane jako 3S1P lub krócej 3S, pozwala na trzykrotne zwiększenie napięcia (rys. 4a), podczas gdy połączenie równoległe np. dwóch ogniw 1S2P na dwukrotne zwiększenie pojemności baterii i jej wydajności prądowej (rys. 4b).



Rysunek 4. Podstawowe układy połączeń ogniw

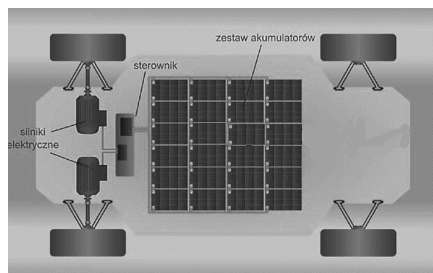
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Jaworowska (2017).

BEZPIECZEŃSTWO UŻYTKOWANIA BATERII LI-ION

Typowe ogniwo Li-Ion składa się z dwóch elektrod, rozdzielonych elektrolitem w postaci cieczy lub żelu, który przenosi ładunki między nimi. Nadmierne jego odkształcenie mechaniczne, spięcie czy przeładowanie może doprowadzić do zbytniego wzrostu temperatury. Jeśli elektrolit podgrzeje się do około 150°C, może się zapalić i doprowadzić do wybuchu.

Obecnie stosuje się różne strategie, które mają ograniczyć takie ryzyko. Jedną z nich jest dodanie do elektrolitu substancji opóźniających zapłon. Inną – wyposażanie samochodów elektrycznych w specjalne układy ogrzewania i chłodzenia (ciecz, powietrze), zapewniające odpowiednią temperaturę pracy baterii.

Aby zminimalizować skalę zagrożenia, w samochodach elektrycznych nie stosuje się jednego czy kilku dużych akumulatorów, ale zestaw małych ogniw (rys. 5), całkowicie odizolowanych od pozostałych podzespołów. Na przykład bateria w Tesla Roadster składa się z 7000 akumulatorów. Każdy z nich, o stosunkowo niewielkiej ilości zmagazynowanej energii, jest izolowany i chroniony w stalowej obudowie ognioodpornej.



Rysunek 5. Zestaw akumulatorów w samochodzie elektrycznym z indywidualnie napędzającymi kołami

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Zawadzki (2015).

Ponadto producenci lokalizują zestawy akumulatorów w miejscach, w których są one mniej narażone na uszkodzenia lub ekspozowane w czasie zderzenia. Takie rozwiązanie zastosowało np. Volvo w samochodzie C30 DRIVE.

Z użytkowaniem baterii Li-Jon wiąże się również ryzyko porażenia prądem. Większość akumulatorów w pojazdach elektrycznych generuje napięcie stałe ~ 400 V, bardziej niebezpieczne od przemiennego, potencjalnie śmiertelne.

W Stanach Zjednoczonych istnieje wymóg prawny, aby napięcie systemu zasilania pojazdu nie przekroczyło 60 V w ciągu 5 s od momentu wypadku. W Europie takich regulacji jeszcze nie wprowadzono. Na razie w samochodach elektrycznych instaluje się dodatkowe zabezpieczenia, np. bezpieczniki i wyłączniki automatyczne, które w przypadku zdarzenia drogowego natychmiast odłączają baterie. Ponadto zaleca się, aby instalować w łatwo dostępnym miejscu w pojeździe wyłącznik baterii.

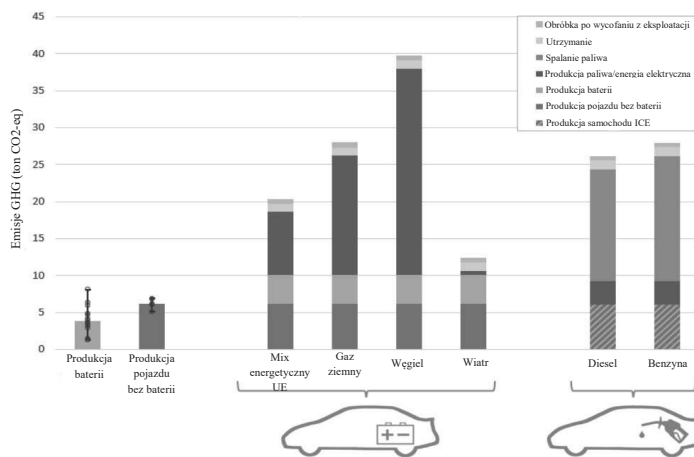
WPŁYW NA ŚRODOWISKO

Współcześnie ilość energii, jaka jest niezbędna do wytworzenia baterii litowo-jonowej, wynosi 25–30 kWh/kg baterii. Tym samym do wyprodukowania baterii o wadze 300 kg i pojemności 30 kWh potrzebnych jest 7500–9000 kWh.

Uwzględniając dodatkowo energię potrzebną do recyklingu baterii, ocenia się, że zapotrzebowanie na energię wynosi 47 kWh/kg baterii. Istnieją jednak wyższe szacunki, które wskazują, że w całym jej cyklu życia potrzebnych jest od 10 000 do 15 000 kWh (Buekers i in., 2014). Energochłonny proces produkcji baterii powoduje wysoki poziom emisji gazów cieplarnianych. Komercyjne zestawy ogniw mogą różnić się pod względem budowy, materiałów, technik produkcji i rozmiaru zestawu, dlatego wpływ ich produkcji na emisję również może być różny. Z badań wynika, że całkowita emisja z produkcji baterii mieści się w szerokim zakresie wynoszącym 38–356 kg CO₂-eq/kWh, co odpowiada 0,9–8,6 t CO₂-eq na zestaw baterii o pojemności 24 kWh.

Ponieważ producenci baterii na ogół nie dzielą się informacjami i danymi produkcyjnymi, większość istniejących badań opiera się na założeniach lub danych wtórnych dostępnych w literaturze. Chociaż w przedstawionych wynikach występują liczne rozbieżności, ostatnie badania oparte na danych pierwotnych z przemysłu wskazują na podobną emisję, tj. około 140–170 kg CO₂-eq/kWh (3,4–4,1 t CO₂-eq na zestaw baterii o pojemności 24 kWh) (Ellingsen, 2017; Kim i in., 2016). Przytoczone wyniki można uznać za wysoce prawdopodobne. Informacje, które wykorzystano w analizach, pochodzą od dwóch niezależnych producentów baterii. W obydwu badaniach przedstawiono podobne informacje dotyczące zarówno całkowitej emisji z produkcji, jak i czynników, które się do niej przyczyniają. Wskazano, że dla zestawu baterii o pojemności 24 kWh około połowa emisji gazów cieplarnianych pochodzi ze zużycia energii wymaganej do ich produkcji. Pozostała emisja rozkłada się na materiały wchodzące w skład ogniwa (około 20%), obudowę (12–18%) i inne elementy baterii (7–14%) (Ellingsen, 2017; Kim i in., 2016).

W związku z powyższym proces produkcji baterii odpowiada obecnie za 35–41% emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia samochodów elektrycznych BEV. Pomijając produkcję baterii do samochodów elektrycznych, poziom emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza przy produkcji samochodów tradycyjnych i elektrycznych jest porównywalny. Na rysunku 6 przedstawiono emisje gazów cieplarnianych w cyklu życia średniej wielkości pojazdu elektrycznego zasilanego baterią o pojemności 24 kWh (po lewej) i pojazdu wyposażonego w silnik spalinowy (po prawej).

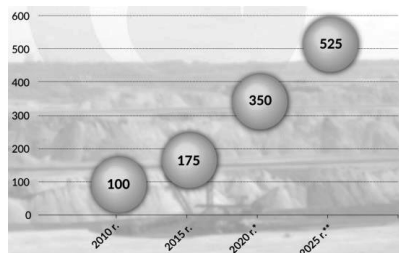


Rysunek 6. Emisje gazów cieplarnianych w cyklu życia średniej wielkości pojazdu elektrycznego zasilanego baterią o pojemności 24 kWh (po lewej) i pojazdu wyposażonego w silnik spalinowy (po prawej)

Źródło: Parlament Europejski (2018).

Z dotychczas przeprowadzonych analiz wynika, że wpływ recyklingu baterii na środowisko jest stosunkowo mały (Ellingsen i in., 2017; Hawkins i in., 2012; Li i in., 2014; Notter i in., 2010). Ponieważ zawierają mniej niebezpiecznych materiałów takich jak kadm lub ołów niż inne typy akumulatorów, ogólnie uważane są za bezpieczne dla spalarni i składowisk odpadów. Wielu producentów dąży do ustanowienia systemu recyklingu „zamkniętej pętli”, produkcji ogniw baterii, składania ich w pakiety baterii, instalowania w pojazdach i wreszcie recyklingu w surowce do przyszłego wykorzystania.

Z produkcją akumulatorów Li-Ion wiąże się również ryzyko wyczerpania zasobów niektórych minerałów, m.in. litu. Według większości analiz zapotrzebowanie na lit ma wzrosnąć z obecnych około 200 tys. ton rocznie do nawet 530 tys. ton w 2025 roku (Hocking i in., 2016). Analitycy Sanford C. Bernstein Ltd. przewidują, że do 2025 roku moce produkcyjne istniejących, budowanych i planowanych kopalń wzrosną o 70% i przynajmniej do tego czasu nie powinno być problemów z zaspokojeniem podaży. Cormark Securities twierdzi, że do 2020 roku konsumpcja litu podwoi się w stosunku do 2015 roku (*). Z kolei firma konsultingowa Stormcrow Capital ocenia, że popyt przekroczy podaż w 2023 roku, a Goldman Sachs, że do 2025 roku wzrośnie trzykrotnie (**) (rys. 7). Inni, jak np. analitycy banku inwestycyjnego Investec, są przekonani, że popyt może być większy od podaży.



Rysunek 7. Produkcja i prognozowany popyt w tys. ton LCE roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Hocking i in. (2016).

WYKORZYSTANIE CZĘŚCIOWO ŻUŻYTYCH BATERII POCHODZĄCYCH Z SAMOCHODÓW ELEKTRYCZNYCH – MAGAZYNOWANIE ENERGII

Jakość nowoczesnych baterii pozwala na wielokrotne powtarzanie cykli ładowania bez znaczącej utraty pojemności ogniwa. Dzisiejsi producenci baterii deklarują dziesięcioletni okres używania swoich wyrobów. Późniejszy spadek wydajności baterii do około 70% początkowej wartości powoduje konieczność wymontowania jej z samochodu i utylizacji.

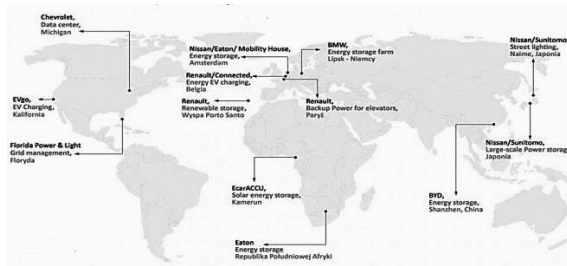
Badanie zaprezentowane przez Niemiecką Federację Energetyki Odnawialnej (NFEO) wykazuje, że zamiast poddawać recyklingowi, można je z powodzeniem przez następne 10–15 lat wykorzystywać do mniej wymagających zadań, takich jak magazynowanie energii elektrycznej z paneli słonecznych i turbin wiatrowych oraz gromadzenie energii z regularnego połączenia sieciowego, gdy jest ona tańsza. Według szacunków opartych na danych Bloomberg New Energy Finance globalny zapas wycofanych akumulatorów EV ma przekroczyć równowartość około 3,4 mln ogniw do 2025 roku. Dla porównania w 2018 roku było to 55 tys. Według BNEF do 2025 roku około 1/3 z łącznej liczby baterii samochodowych zostanie ponownie wykorzystana jako stacjonarne magazyny energii.

Przyjmując, że w przyszłości średnia pojemność baterii będzie wynosiła 40 kWh i po 7 latach jej użytkowania zachowane będzie 80% pojemności, to w milionie takich baterii można będzie zmagazynować 25 GWh.

Agencja Bloomberg Finance prognozuje, że liczba sprzedawanych samochodów elektrycznych na świecie w 2030 roku osiągnie 88 mln, co wskazuje, że skumulowana pojemność „zużytych” baterii wzrośnie do 1000 GWh. Co więcej, odkąd producenci EV systematycznie ulepszają swoje

produkty, możliwa łączna pojemność może być jeszcze większa. Obecnie baterie BEV najnowszej generacji mają o 20–30% większą pojemność niż te wytwarzane 5 lat temu.

Strategie związane z wykorzystaniem baterii w stacjonarnych magazynach energii są już teraz promowane przez grupę dostawców energii odnawialnej i czołowych producentów samochodów elektrycznych: BMW, Nissana, GM, Teslę i Daimlera.



Rysunek 8. Miejsca, gdzie akumulatory EV są używane lub testowane w nowej roli

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Randall (2016).

W piwnicach trzypiętrowego kompleksu mieszkalnego w zachodniej Szwecji Box of Energy zainstalowano 20 modułów akumulatorowych, odzyskanych z samochodów hybrydowych Volvo. Przechowują one energię z paneli słonecznych zamontowanych na dachu, wykorzystywaną do zasilania windy i oświetlenia w pomieszczeniach. Jak do tej pory technologia ta działała bez zarzutu i pozwoliła obniżyć rachunki za prąd.

Natomiast firma BYD wspierana przez Warrena Buffeta częściowo zużyte ogniwa pochodzące z samochodów wykorzystuje do zasilania bezprzewodowych wież transmisyjnych w jednym z największych chińskich systemów magazynowania energii w Shenzhen. Zużyte akumulatory EV stanowią również podstawę zasilania awaryjnego na stadionie Ajax Amsterdam. W marcu 2018 roku Nissan wspólnie z Sumitomo Group stworzył latarnie uliczne zasilane zużytymi bateriami z elektrycznych samochodów, których ładowanie odbywa się za pomocą paneli słonecznych. Latarnie na razie testowane są w japońskim nadmorskim miasteczku Namie, które odbudowuje się po katastrofie w pobliskiej elektrowni atomowej Fukushima Daiichi. W 2019 roku Toyota, producent m.in. hybrydy Prius, zainstaluje zużyte baterie z samochodów w sieci 7-Eleven w Japonii. Akumulatory będą magazynować energię z paneli słonecznych, a następnie zasilac chłodziarki do napojów, podgrzewacze, grille czy inne tego typu urządzenia wykorzystywane w sklepach.

Kolejną możliwością wykorzystania Li-Ion może być wyposażanie w nie stacji ładowania, gdzie spełniałyby funkcję magazynów energii. Takie baterie zintegrowane ze stacjami ładowania samochodów elektrycznych mogłyby być wykorzystywane w okresach niskiego popytu na prąd i braku samochodów do ładowania. Napelciona bateria mogłaby być następnie wykorzystywana w godzinach szczytu w celu odciążenia sieci. Pierwsze takie stacje ładowania, z wykorzystaniem baterii z Renault Zoe, zbudowano – we współpracy z brytyjską firmą Connected Energy – przy autostradach w Belgii i w Niemczech. W ten sposób rozwiązano problem budowy szybkich stacji ładowania w miejscach, w których do osiągnięcia lepszego standardu ładowania potrzebna byłaby kosztowna modernizacja sieci. Jednak taki sposób stabilizacji sieci elektroenergetycznej będzie możliwy dopiero wówczas, kiedy koszt baterii będzie znacznie niższy niż obecnie (Sipiński, Bolesta, 2016).

PODSUMOWANIE

Obecnie część zapotrzebowania na energię potrzebną do produkcji i recyklingu akumulatorów może być zaspokojona wyłącznie energią elektryczną. Powoduje to, że wpływ akumulatorów na środowisko jest częściowo uzależniony od tego, jakie źródła energii są wykorzystywane do ich wytwarzania.

Ogniwa litowo-jonowe produkowane są głównie w krajach, w których do generowania energii elektrycznej zużywane są duże ilości paliw kopalnych, mianowicie w Chinach (połowa produkowanych ogniw), których koszyk energii elektrycznej cechuje się największą emisją dwutlenku węgla. To powoduje, że dzisiaj wytwarzanie takich baterii wiąże się z dużą emisją gazów cieplarnianych. Ten negatywny wpływ na środowisko można zmniejszyć, przenosząc produkcję baterii Li-Ion na obszary bogatsze w odnawialne źródła energii lub zmniejszając zużycie energii do ich wytworzenia. Emisję gazów cieplarnianych związaną z produkcją akumulatorów można dodatkowo ograniczyć, unikając zużywania materiałów pierwotnych, a stosując w ich miejsce metale z recyklingu, w szczególności miedź, aluminium, nikiel i kobalt. Zmniejszenie emisyjności jest niezwykle ważne, gdyż analizując rozwój technologii produkcji akumulatorów, przypuszczać należy, że w najbliższej przyszłości wciąż zdecydowanie dominować będą akumulatory litowo-jonowe. Ponadto ponowne wykorzystanie minerałów z recyklingu pozwoli na spowolnienie postępującej intensyfikacji ich wydobycia.

Niewątpliwie zaletą baterii Li-Ion jest to, że można je stosować, gdy już nie nadają się już do zasilania samochodów elektrycznych. Ma to szczególne znaczenie dzisiaj, kiedy rośnie zapotrzebowanie na energię odnawialną i coraz ważniejsze staje się magazynowanie energii elektrycznej. Okazuje się, że już teraz świetnie sprawdzają się w roli stabilizatorów sieci elektroenergetycznej. Należy również dodać, że użytkowanie takich akumulatorów jest bezpieczne, a incydenty z ich udziałem według ekspertów spowodowane są przede wszystkim użytkowaniem baterii niezatwierdzonych lub pochodzących z rynku wtórnego.

LITERATURA

- Battery University (2018). Pobrane z: <http://batteryuniversity.com> (11.12.2018).
- Buekers, J., Van Holderbeke, M., Bierkens, J., Int Panis, L. (2014). Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 33, 26–38. Pobrane z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136192091400128X> (11.12.2018).
- Czerwiński, A. (2016). *Akumulatory, baterie, ogniwa*. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
- Jaworowska, M. (2017). *Akumulatory Li-Ion – czy zabraknie materiałów do ich budowy*. Pobrane z: <http://elektronikab2b.pl/biznes/33923-akumulatory-li-ion-czy-zabraknie-materialow-do-ich-budowy> (8.12.2018).
- Ellingsen, L.A.-W. (2017). *Life cycle assessment of lithium-Ion traction batteries*. Pobrane z: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2447224> (3.12.2018).
- Ellingsen, L.A.-W., Singh, B., Strømman, H. (2017). The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. *Environmental Research Letters*, 11 (5). Pobrane z: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/054010/pdf> (2.12.2018).
- Hawkins, T.R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., Strømman, A.H. (2012). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17 (1), 53–64. Pobrane z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x> (15.12.2018).
- HobbyRobotyka.pl (2018). Pobrane z: http://hobbyrobotyka.pl/jaki-akumulator-do-roboty-wybrac/ogniwa_szer_rownolegle (11.12.2018).

- Hocking, M., Kan, J., Young, P., Terry, Ch. Begleiter, D. (2016). *Lithium 101. Deutsche Bank, Markets Research*. Pobrane z: <https://www.slideshare.net/Tehama/welcome-to-the-lithium-ion-age-lithium-101-deutsche-bank-may-9-2016>.
- ING (2017). *Breakthrough of electric vehicle threatens European car industry*. Pobrane z: https://www.ing.nl/media/ing_ebz_breakthrough-of-electric-vehicle-threatens-european-car-industry_tcm162-128687.pdf (24.11.2018).
- Kim, H.C., Wallington, T.J., Arsenault, R., Bae, C., Ahn, S., Lee, J. (2016). Cradle-to-gate emissions from a commercial electric vehicle li-ion battery: A comparative analysis. *Environmental Science and Technology*, 50, 7715–7722.
- Li, B., Gao, X., Li, J., Yuan, C. (2014). Life cycle environmental impact of high-capacity lithium ion battery with silicon nanowires anode for electric vehicles. *Environmental Science and Technology*, 48, 3047–3055.
- Luque, A., Hegedus, S. (2011). *Handbook of photovoltaic science and engineering*. Wiley: Chichester.
- Notter, D.A., Gauch, M., Widmer, R., Wäger, P., Stamp, A., Zah, R., Althaus, H.-J. (2010). Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles. *Environmental Science and Technology*, 44, 6550–6556.
- Parlament Europejski. Dyrekcja Generalna ds. Polityki Wewnętrznej, Departament Tematyczny ds. Polityki Strukturalnej i Polityki Spójności: Badanie dla Komisji Transportu i Turystyki (2018). Samochody elektryczne o napędzie bateryjnym: rozwój rynku i emisje w całym cyklu życia.
- Pillot, Ch. (2017). *The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2016–2025*. Pobrane z: http://cii-resource.com/cet/FBC-TUT8/Presentations/Pillot_Christophe.pdf.
- Randall, T. (2016). *Here's how electric cars will cause the next oil crisis. A shift is under way that will lead to widespread adoption of EVs in the next decade*. Pobrane z: <https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/> (29.10.2018).
- Sipiński, D., Bolesta, K. (2016). *Cicha rewolucja w energetyce. Elektromobilność w Polsce. Kluczowe wnioski i rekomendacje*. Pobrane z: https://www.politykainsight.pl/_resource/multimedia/20106685 (15.11.2018).
- Yoshio, M., Brodd, R.J., Kozawa, A. (2009). *Lithium-Ion Batteries: science and technologies*. New York: Springer.
- Zawadzki, M. (2015). *Samochody elektryczne – jak działają*. Pobrane z: <https://www.magazyn-motoryzacyjny.pl/samochody-elektryczne.html> (28.12.2018).

EVALUATION OF LITHIUM-ION BATTERIES USED IN BEV ELECTRIC CARS IN TERMS OF SAFETY AND ENVIRONMENTAL IMPACT

SUMMARY

Currently, the most commonly used batteries (commonly referred to as batteries) in cars with electric drive type BEV are lithium-ion cells. The period of their operation is taken there for about 10 years.

In 2018, the share of this type of car in the European Union automotive market was small and amounted to 0.8%. However, according to Community policy, in 2030 they are to account for 50% of used passenger cars, and after 2035 according to (ING Economics Department, 2017) all cars sold at that time are to be fully electric.

The increasing number of BEVs, and hence the number of Li-Ion batteries installed there, raises the question of how the production, operation and ultimately recycling of such batteries affect people and the surrounding environment

One of the repeated accusations of electric vehicles is that their zero emission in the place of use is burdened with environmentally harmful battery production, which changes in a relatively short time into toxic electro-waste.

Therefore, the author of this work will describe, among others, Is the use of such batteries safe, what is the actual emission of pollution that accompanies the production of lithium-ion batteries, as well as the possibility of their use after dismantling from vehicle.

KEYWORDS

accumulator, battery, emission of pollution, electric vehicle, recycling

Translated by Ewelina Sendek-Matysiak