

Dr inż. Ewa Sylwia Kamińska  
Instytut Transportu Samochodowego  
ORCID: 0000-0002-4547-8775  
e-mail: ewa.kaminska@its.waw.pl

# Modele biznesowe gospodarki o obiegu zamkniętym związane z zagospodarowaniem zużytych litowo-jonowych akumulatorów samochodowych

*Circular economy business models related to the management of spent lithium-ion automotive batteries*

## Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie wyników analizy literatury dotyczącej modeli biznesowych związanych z gospodarowaniem akumulatorami litowo-jonowymi zgodnie z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym. Punktem odniesienia analiz jest model biznesowy zaproponowany przez A Osterwaldera i Y. Pigneura — tzw. model biznesowy Canvas. Przejście od gospodarki „liniowej” do cyrkularnej wymusza podjęcie szeregu działań, m.in. dotyczących przedłużania cyklu życia produktu (np. poprzez zmianę statusu odpadu), co umożliwia jego dalsze wykorzystywanie. Wymienione działania są zgodne z hierarchią postępowania z odpadami, która została zaktualizowana w 2017 r. na szczęblu Unii Europejskiej. Stosowanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym spowodowało konieczność aktualizacji modeli biznesowych, w których często ostatnim etapem wykorzystania np. zużytego produktu było uznanie go za odpad oraz zakończenie jego używania. Wydłużenie cyklu życia akumulatorów litowo-jonowych wpływa na zmniejszenie zapotrzebowania na surowce pierwotne (np. lit) oraz pozwala uniknąć wszelkich konsekwencji będących efektem produkcji nowych akumulatorów Li-Ion.

## Słowa kluczowe:

gospodarka o obiegu zamkniętym, hierarchia odpadów, akumulatory samochodowe litowo-jonowe

## Abstract

The aim of the article is to present the results of the analysis of the literature on business models related to the management of lithium-ion batteries, in accordance with the principles of the circular economy. The transition from a "linear" economy to a circular economy requires taking a number of actions, incl. concerning the extension of the product life cycle (e.g. by changing the waste status), which enables its further use. The listed actions are in line with the waste hierarchy that was updated in 2017 at the level of the European Union. The application of the principles of the circular economy made it necessary to update business models, in which often the last stage of using, for example, a used product was recognizing it as waste and ending its use. Extending the life cycle of lithium-ion batteries reduces the demand for primary raw materials (e.g. lithium) and avoids any consequences resulting from the production of new Li-Ions.

## Keywords:

circular economy, waste hierarchy, lithium-ion car batteries

JEL: R

## Wstęp

Gospodarka o obiegu zamkniętym — GOZ (ang. *circular economy*), zwana również gospodarką cyrkularną, dotyczy działań zmierzających do racjonalnego

wykorzystania zasobów oraz zminimalizowania negatywnego oddziaływania wytwarzanych produktów na środowisko (rysunek 1). Od 2017 r. obowiązuje zaktualizowana przez Komisję Europejską hierarchia postępowania z odpadami, zgodnie z którą potencjał

Rysunek 1

Ogólne założenia gospodarki o obiegu zamkniętym



Źródło: opracowano na podstawie Albertsen i in., 2021.

surowców powinien być wykorzystywany w sposób maksymalny. Przede wszystkim należy zapobiegać powstawaniu odpadów, a następnie prowadzić działania zmierzające do ich ponownego użycia, recyklingu, poddania innym procesom odzysku oraz unieszkodliwiania<sup>1</sup>.

Według założeń GOZ surowce mogą pochodzić z zasobów pierwotnych bądź wtórnych. Projektowanie (ekoprojektowanie) produktów może spowodować zwiększenie możliwości ich wykorzystania. Konstrukcja (w tym budowa oraz użyte materiały) powinny umożliwiać prowadzenie napraw. W celu przedłużenia i zoptymalizowania korzystania z produktu należy rozważyć przejście od własności produktów do ich współużytkowania (wynajem, udostępnianie, subskrypcja np. pojazdów, w których wykorzystywane są akumulatory litowo-jonowe). W chwili zakończenia eksploatacji należy wydłużyć cykl życia produktów poprzez zastosowanie procesów: naprawy, ponownego wykorzystania, regeneracji lub recyklingu<sup>2</sup>.

Wytyczne związane z wdrożeniem założeń GOZ w Polsce przedstawiono m.in. w dokumencie „Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym”, który został przyjęty uchwałą Rady Ministrów 6 lipca 2019 r.<sup>3</sup> W Polsce za realizację koncepcji GOZ jest odpowiedzialne Ministerstwo Rozwoju. Obszary, których dotyczy dokument, to zrównoważona produkcja przemysłowa, zrównoważona konsumpcja, biogospodarka, nowe modele biznesowe oraz wdrażanie i monitorowanie GOZ.

Według B. Roka „największą szansą i celem wprowadzenia nowych modeli biznesowych jest spowodo-

wanie wzrostu gospodarczego, ale przy zachowaniu bądź zmniejszaniu tempa wykorzystania zasobów pierwotnych (tzw. decoupling)” (Rok, 2019). Według wyników analiz zawartych w raporcie końcowym z 2019 r., wykonanym dla Ministerstwa Energii, a dotyczącym m.in. recyklingu akumulatorów Li-Ion, „Polska jest obecnie zdecydowanie na samym początku drogi w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym w zakresie recyklingu (...) akumulatorów stosowanych w pojazdach elektrycznych” (Wroconsult, Ekovert Łukasz Szkudlarek, 2019).

W modelach biznesowych GOZ zmodyfikowano schemat przepływów produktów i materiałów w odniesieniu do modeli charakterystycznych dla gospodarki liniowej. Takie działania mogą wpłynąć na zmniejszenie niekorzystnych skutków dla społeczeństw, gospodarki i środowiska, będących efektem cyklu gospodarowania zasobami i materiałami. W celu opracowania cyrkularnych modeli biznesowych dotyczących gospodarowania akumulatorami litowo-jonowymi (zwanymi dalej akumulatorami Li-Ion), należy przeanalizować zagadnienia dotyczące modeli biznesowych GOZ uwzględniających zarządzanie żywotnością akumulatorów Li-Ion oraz czynników, które wpływają na rozwój cyrkularnych modeli biznesowych na analizowanym rynku. Należy zbadać, jakie są główne bariery ich rozwoju oraz które grupy potencjalnych interesariuszy mają kluczowe znaczenie dla wzmocnienia takich modeli i mogą wpływać na pokonywanie już istniejących ograniczeń (Wralsen i in., 2021).

Aktem prawnym, który obowiązuje w Polsce w odniesieniu do gospodarki odpadami, w tym recyklingu

akumulatorów pojazdów elektrycznych, jest ustawa z 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2019, poz. 701, z późn. zm.). Sytuację prawną zagospodarowania zużytych akumulatorów pojazdów elektrycznych na terenie Unii Europejskiej regulują tzw. dyrektywa bateryjna (dyrektywa 2006/66/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 6 września 2006 r. w sprawie baterii i akumulatorów oraz zużytych baterii i akumulatorów oraz uchylająca dyrektywę 91/157/EWG) i tzw. dyrektywa ELV (dyrektywa 2000/53/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 18 września 2000 r. w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji).

W katalogu odpadów zużyte akumulatory Li-Ion zostały przyporządkowane do 16. grupy odpadów, którą zdefiniowano jako „odpady nieujęte w innych grupach” i mogą być oznaczone szczegółowym kodem 16 06 05 — „inne baterie i akumulatory”. Są również klasyfikowane w 20. grupie odpadów — „odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie” — i mogą znajdować się w grupie odpadów, której nadano kod 20 01 34 — „baterie i akumulatory inne niż wymienione w 20 01 33”<sup>4</sup>.

Zgodnie z wymaganiami ustawy o bateriach i akumulatorach, zwanej dalej ustawą BiA minimalne poziomy wydajności dla akumulatorów Li-Ion oraz ich recykling wynoszą 50% masy zużytych baterii lub zużytych akumulatorów (art. 15.1 pkt 3 ustawy BiA).

## Cyrkularne modele biznesowe w przedsiębiorstwach

Według zapisów zawartych w dokumencie „Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym” GOZ dotyczy m.in. modeli biznesowych przedsiębiorstw, zdefiniowanych jako suma zasobów i czynności, które służą „dostarczaniu wartości dla klienta oraz zamykaniu obiegu”<sup>5</sup>. Z kolei uwzględnienie w modelach biznesowych aspektów gospodarki cyrkularnej powinno polegać „zarówno na wprowadzeniu innowacji w ramach elementów ujętych w szablonie modelu biznesowego, jak i na dodaniu nowych elementów do tego szablonu”<sup>6</sup>.

Do Komisji Europejskiej złożono wniosek dotyczący stosowania przez producentów baterii i akumulatorów wymagań OECD (ang. Organisation for Economic Co-operation and Development — Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju) w zakresie należytej staranności pozyskiwania materiałów. Wniosek ma na celu poszanowanie praw człowieka i zagwarantowanie etycznych łańcuchów dostaw (Transport Environment, Amnesty International, 2020). Główne wytyczne wspomnianego dokumentu zostały uwzględnione w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie baterii i zużytych baterii, uchylającym dyrektywę 2006/66/WE i zmieniającym rozporządzenie (UE) 2019/1020.

W Fundacji Ellen MacArthur (Ellen MacArthur Foundation, 2013) oraz w amsterdamskim instytucie IMSA<sup>7</sup> zestawiono sześć elementów, które tworzą spójny model biznesowy GOZ, tzw. ReSOLVE. Przy jego opracowaniu, wzięto po uwagę procesy: regeneracji (*Regenerate*), współużytkowania (*Share*), optymalizacji (*Optimise*), zamykania obiegu (*Loop*), wirtualizacji (*Virtualise*) oraz wymiany (*Exchange*). Stosowanie wymienionych działań w codziennej praktyce może skutkować zwiększeniem efektywności korzystania z zasobów, wydłużeniem cyklu życia oraz zmniejszeniem poziomu użytkowania zasobów nieodnawialnych na rzecz odnawialnych (Rozwadowska, 2020; Van Renswoude i in., 2015). W raporcie opracowanym przez One Planet Architecture Institute (OPAi) i stowarzyszenie MVO Nederland opisano modele biznesowe, w których zawarto działania promujące wartości gospodarki cyrkularnej. Uwzględniono w nich (OPAi, MVO Nederland, 2014):

- 1) cykle: konserwacji, naprawy i dostosowania istniejących produktów i usług;
- 2) wydłużenie żywotności istniejących produktów i procesów;
- 3) tworzenie nowych kombinacji zasobów i komponentów materiałowych oraz zakup strumieni odpadów poddanych recyklingowi (tzw. działania kaskadowe);
- 4) ponowne wykorzystanie zasobów i materiałów.

Według A. Osterwaldera i Y. Pigneura, biorąc pod uwagę dziesięć cech, można opracować spójny i kompletny model biznesowy przedsiębiorstwa — tzw. model Canvas (ang. BMC — Business Model Canvas) (Osterwalder, 2004; Osterwalder, Pigneur, 2010).

Elementy charakterystyczne dla modelu Canvas można uwzględnić przy budowaniu modelu biznesowego firm prowadzących działania z zakresu gospodarowania akumulatorami Li-Ion, szczególnie te dotyczące napraw, renowacji, zmiany przeznaczenia, recyklingu oraz recyklingu w obiegu zamkniętym. Wskazane cechy modelu biznesowego mogą również wykorzystać producenci oryginalnego wyposażenia (ang. Original Equipment Manufacturers, zwani dalej producentami OEM). Ogólnie stosowany model Canvas można wzbogacić o element systemu zwrotów i odbioru. Elementy, które należy uwzględnić, tworząc ten model, to: propozycja wartości, segment klientów, relacje z klientami, kluczowi partnerzy, kluczowe zasoby, kluczowe działania, kanały dystrybucji, system zwrotu/odbioru, koszty, przepływy przychodów (tabela 1).

Dodanie punktu ósmego, który pierwotnie nie był uwzględniony w modelu Canvas, może wynikać z zasad postępowania ze zużytymi akumulatorami, które nie powinny znajdować się poza systemem zagospodarowania.

Bazując na zasadach modelu Canvas, A. Leszczyńska zaproponowała „model biznesu oparty na innowacjach ekologicznych” (rysunek 2). Należy pamiętać, że poszczególne grupy działań są ze sobą ściśle związane i zmiana każdej z nich wpływa na pozostałe elementy (Leszczyńska, 2017).

Tabela 1

Model Canvas gospodarowania zużyłymi akumulatorami Li-Ion dla pięciu wybranych procesów

Cechy	Naprawa	Renowacja	Zmiana przeznaczenia	Recykling	Zamknięcie obiegu, recykling
1. Propozycja wartości	Hybrydowy/elektryczny samochód osobowy, autobus lub ciężarówka z kompleksowymi usługami naprawczymi	Odnowiony akumulator Li-Ion (niższa pojemność i cena niż nowego)	Stacjonarny system magazynowania energii i usługi magazynowania	Konwencjonalna opcja recyklingu, zgodna z obowiązującymi przepisami	Zachowanie kontroli nad materiałami
2. Segment klientów	Profesjoniści lub klienci indywidualni, zainteresowani minimalizacją przestoju oraz wzrostem wydajności	Klienci wrażliwi na cenę, gdy wartość rezydualna nie uzasadnia nowego akumulatora Li-Ion	Świadomi ekologicznie klienci B2B lub B2C, firmy użyteczności publicznej i nieruchomości, duży odbiór energii, sieci ładowania EV/ firmy zmieniające przeznaczenie	Rynek recyklingu	Producenci OEM i producenci ogniw dążący do zmniejszenia wpływu na środowisko i ryzyka związanego z łańcuchem dostaw
3. Relacje z klientami	Bliskie	Bliskie	Bliska relacja. Transakcja (jeśli akumulator Li-Ion jest sprzedawany firmie zmieniającej przeznaczenie)	Transakcyjna	Bliska relacja
4. Kluczowi partnerzy	Dystrybutorzy, dostawcy części zamiennych	Dealerzy, partner remontowy, dostawca części zamiennych	Przedsiębiorstwa energetyczne, spółki obrotu energią	Recyklerzy	Recyklerzy, producenci ogniw
5. Kluczowe zasoby	Wysoko wykwalifikowani technicy, mechanicy, moduły zamienne	Wysoko wykwalifikowani technicy, mechanicy, moduły zamienne	Kluczowe zasoby, wiedza specjalistyczna w zakresie Li-Ion i historycznego wykorzystania, inżynierowie, personel ds. relacji z klientami, kapitał finansowy, przechowywanie i zmiana przeznaczenia obiektu, nowe części (energoelektronika, BMS, obudowy).	Większość zadań zlecona podmiotowi zajmującemu się recyklingiem, składowaniem	Inżynierowie, większość zadań zlecona firmie zajmującej się recyklingiem, magazyn
6. Kluczowe działania	Projektowanie umożliwiające demontaż, diagnostyka, logistyka, projektowanie umożliwiające naprawę, naprawa	Projektowanie umożliwiające demontaż, diagnostyka, logistyka, remonty (potencjalnie zlecone na zewnątrz)	Projektowanie umożliwiające demontaż, diagnostyka, logistyka. Rozwój technologii, proces zmiany przeznaczenia (potencjalny demontaż i ponowny montaż), współpraca z zakładami energetycznymi, monitoring, obsługa klienta	Logistyka (potencjalnie zlecona na zewnątrz), proces recyklingu (zlecone)	Projektowanie umożliwiające demontaż, diagnostyka, logistyka, proces recyklingu
7. Kanały dystrybucji	Dealerzy	Dealerzy	Sieci dystrybucyjne firm partnerskich, bezpośredni kontakt w przypadku konkretnych projektów pilotażowych	Recyklerzy organizują reintegrację przez bezpośrednie kontakty i umowy między firmami lub na rynku towarowym	Potencjalny bezpośredni powrót aktywnych materiałów do producentów OEM lub producentów ogniw

Cd. tabela 1

Cechy	Naprawa	Renowacja	Zmiana przeznaczenia	Recykling	Zamknięcie obiegu, recykling
8. System zwrotu/ /odbioru	Dobrowolny zwrot za pośrednictwem sieci dealerów	System dobrowolnego zwrotu za pośrednictwem sieci dealerów	Dobrowolny zwrot lub zachowanie własności poprzez leasing/przeniesienie odpowiedzialności za recykling na firmę zmieniającą przeznaczenie	Dobrowolny zwrot za pośrednictwem sieci dealerów, zewnętrznych podmiotów zajmujących się recyklingiem, organizacji odpowiedzialności producenta	Dobrowolny zwrot za pośrednictwem sieci dealerów, zewnętrznych podmiotów zajmujących się recyklingiem, organizacji odpowiedzialności producenta
9. Koszty	Rozwój akumulatorów Li-Ion, części zamienne, praca ludzka, logistyka	Części zamienne, praca ludzka, logistyka	Rozwój, praca ludzka, logistyka	Logistyka, proces recyklingu (praca ludzka, energia)	Logistyka, proces recyklingu (praca ludzka, energia)
10. Przepływy przychodów	Sprzedaż autobusu lub ciężarówki/ /miesięczna opłata serwisowa/sprzedaż jednorazowa/serwis naprawczy	Odnowione produkty/ miesięczna opłata (umowy leasingowe)	Sprzedaż rozwiązania magazynowego, przychody ze świadczonych usług, arbitraż energetyczny, sprzedaż lub dzierżawa pakietów lub modułów Li-Ion	Sprzedaż surowców wtórnych	Sprzedaż surowców pochodzących z recyklingu, uniknięcie kosztów zakupu materiałów pierwotnych, jeśli są one zintegrowane z własną produkcją

Źródło: Albertsen i in., 2021.

Rysunek 2

Ogólne założenia dla modelu Canvas w przedsiębiorstwie opartym na innowacjach ekologicznych

<b>Partnerzy</b> Jak w modelach tradycyjnych. Może istnieć wymóg tworzenia nowego partnerstwa dla potrzeb logistyki zwrotnej lub uwzględnienia kryteriów ekologicznych	<b>Kluczowe działania</b> Produkcja/ świadczenie usług. Dodatkowe czynności związane ze zwrotami, recyklingiem, efektywnością energetyczną, itp.	<b>Propozycja wartości</b> Wartość ekonomiczna, ekologiczna i społeczna. Wynika ze wzrostu efektywności zużycia zasobów, zmniejszenia zużycia energii, zmniejszenia liczby odpadów, ponownego wykorzystania odpadów, dłuższego wykorzystywania produktów	<b>Relacje z klientami</b> Jak w modelach tradycyjnych. Wykorzystywanie wizerunku przedsiębiorstwa jako proekologicznego	<b>Segmenty klientów</b> Klienci indywidualni propagujący działania zgodne z GOZ. Przedsiębiorstwa w zielonym łańcuchu dostaw. Przedsiębiorstwa nabywające usługi ESCO. Beneficjenci szkoleń
	<b>Kluczowe zasoby</b> Takie same jak w modelach tradycyjnych		<b>Kanały dystrybucji</b> Preferowane kanały o mniejszym wpływie na środowisko	
<b>Struktura kosztów</b> Koszty generowane przez innowacyjne działania proekologiczne			<b>Struktura przychodów</b> Sprzedaż/użycanie produktów/usług proekologicznych	

Źródło: Leszczyńska, 2017.

## Gospodarowanie akumulatorami Li-Ion w podmiotach promujących zasady gospodarki cyrkularnej

Do najpopularniejszych typów ogniw wtórnych wykorzystywanych jako źródło zasilania w pojazdach należą akumulatory: kwasowo-ołowiowe (ang. *lead-acid battery*, Pb-Acid), niklowo-kadmowe (ang. *nickel-cadmium battery*, Ni-Cd), wodorkowe (ang. *nickel-metal hydride battery*, Ni-MH), oraz akumulatory litowe (ang. *lithium battery*, Li-Metal, Li-Ion, PLiON) (Sendek-Matysiak, 2018).

Na rynku dostępne są cztery główne rodzaje akumulatorów Li-Ion: LiCoO<sub>2</sub>; LiMnCoO<sub>2</sub>; LiNiMnCoO<sub>2</sub>; LiFePO<sub>2</sub> (Wiatr, 2020). Popularność wykorzystywania akumulatorów Li-Ion w samochodach elektrycznych wynika przede wszystkim z faktu, że są relatywnie tanie, a ponadto charakteryzują się napięciem nominalnym ponad 3 V oraz większą gęstością energii spośród akumulatorów dostępnych na rynku (Sendek-Matysiak, 2018). Wynosi ona w przybliżeniu 150 Wh/kg. Akumulatory Li-Ion działają w granicach od 1700 do 5300 cykli ładowania i rozładowywania. Przy spadku wydajności poniżej 80% nie mogą być już wykorzystywane w pojazdach (Wroconsult, Ekover Łukasz Szukdlarek, 2019).

Wyniki badań przeprowadzonych w pracy B. Wralsena (Wralsen i in., 2021) potwierdzają, że najbardziej odpowiednim modelem biznesowym spełniającym wymagania gospodarki cyrkularnej są działania uwzględniające kolejno procesy: regeneracji, ponownego wykorzystania, recyklingu oraz zarządzania odpadami. Drugim zaproponowanym rozwiązaniem było wydłużenie żywotności akumulatorów Li-Ion, wynikającej z ich trwałej konstrukcji, aktualizacji oraz regeneracji.

Regeneracja akumulatorów litowo-jonowych może dotyczyć procesów ich diagnostyki, częściowego demontażu, wymiany uszkodzonych ogniw lub modułów oraz ponownego montażu. W przypadku, gdy akumulatory Li-Ion nie są w stanie utrzymać wymaganej pojemności, a przeprowadzenie regeneracji jest nieekonomiczne, mogą być wykorzystywane w następujący sposób (Chudy, 2020):

- jako magazyny energii elektrycznej (ze źródeł odnawialnych), szczególnie w gospodarstwach domowych;
- w przemyśle, w celu wyrównania „profilu obciążenia dobowego”;
- do ładowania samochodu elektrycznego przez właściciela świadomego jego parametrów;
- do poprawy stabilności sieci elektroenergetycznej;
- jako rezerwa w przypadku awarii;
- przez farmę akumulatorów służącą do handlu energią elektryczną;
- przez producentów do napędzania pojazdów (np. wózków widłowych).

Akumulatory Li-Ion powinny charakteryzować się akceptowalną jakością, tzw. SOH (ang. *state-of-health*). Jest to kryterium jakości określające ogólny stan akumulatora lub ogniwa oraz ich zdolność do zapewnienia określonej sprawności w porównaniu z nowym akumulatorem. Akumulatory muszą spełniać wymagania z zakresu mocy, energii i żywotności. Określili je producenci oryginalnego wyposażenia (Chudy, 2020).

Stosowanie w codziennej praktyce zasad GOZ na każdym etapie gospodarowania akumulatorami Li-Ion wymaga spójnych działań w obszarze technologicznym, ekonomicznym, społecznym czy środowiskowym. Według wielu badaczy tematu brakuje kompleksowych badań z zakresu modeli biznesowych GOZ dla akumulatorów Li-Ion.

Procesy gospodarowania użytymi akumulatorami Li-Ion (szczególnie odzysk i powtórne wykorzystanie elementów) jest zgodne z założeniami GOZ, ponieważ są to działania umożliwiające zwiększenie trwałości produktów oraz wielokrotne i maksymalne wykorzystywanie zasobów (Komisja Europejska, 2015).

Według B. Wralsena do opracowania cyrkularnych modeli biznesowych (dla akumulatorów Li-Ion) motywują wymagania krajowych oraz międzynarodowych regulacji i polityki oraz korzyści gospodarcze (Wralsen i in., 2021). W tabeli 2 zestawiono standardy dotyczące recyklingu zużytych akumulatorów Li-Ion w pięciu wybranych regionach.

W Chinach od 2001 r. obowiązywały przepisy dotyczące utylizacji baterii (podobne do standardów unieszkodliwiania stałych odpadów komunalnych). Obecnie obowiązują już standardy stworzone z myślą o recyklingu akumulatorów Li-Ion. Należy do nich m.in. norma GB/T 2017 33598 z 2017 r. dotycząca recyklingu, w tym demontażu, akumulatora trakcyjnego stosowanego w pojeździe elektrycznym. W 2020 r. opracowano trzy normy dotyczące recyklingu akumulatora trakcyjnego stosowanego w specyfikacji zarządzania pojazdem elektrycznym, w obszarach: pakowania i transportu (GB/T 38698,1–2020); usuwania akumulatorów z pojazdu (GB/T 34015,2–2020) oraz wymagań dotyczących recyklingu materiałów (GB/T 33598,2–2020) (Makuza i in., 2021).

Według L. Albertsena (Albertsen i in., 2021) brak jest analiz dotyczących wdrożenia GOZ przez producentów OEM w UE. Autorzy przeanalizowali, jakie czynniki wewnętrzne i zewnętrzne są kluczowe dla przyjęcia GOZ oraz w jaki sposób polityka może stymulować rozwój tego rodzaju działań. Zestawili dla 25 grup motoryzacyjnych (producentów) strategię postępowania z akumulatorami Li-Ion, zgodnie z założeniami GOZ. Rozważano obszary: zwiększenia/intensyfikacji użycia akumulatorów, naprawy, odnawiania, zmiany załogi, zmiany przeznaczenia oraz recyklingu o obiegu zamkniętym. Można zauważyć (tabela 3), że producenci oryginalnego wyposażenia pojazdów nie udostępniają wcale lub udostępniają niewiele informacji dotyczących dłuższego czasu czy

Tabela 2

## Zestawienie standardów i zasad recyklingu dla akumulatorów Li-Ion

Region/państwo	Przepisy prawne	Cel dotyczący efektywności recyklingu	Podsumowanie
Chiny	Przepisy dotyczące utylizacji od 2001 r., normy z zakresu recyklingu akumulatorów Li-Ion (2017 r. oraz 2020 r.).	Procesy hydrometalurgiczne — ponad 98% niklu, kobaltu i manganu; poziomy odzysku litu ponad 85%; procesy pirometalurgiczne — ponad 97% dla niklu i pierwiastków ziem rzadkich	Strategie TCurrent promują „drugie życie” akumulatorów EV i zachęcają do urynkowienia, zwiększenia przejrzystości statystyk, jakości recyklingu oraz do prowadzenia badań w zakresie rozwoju technologii recyklingu
Unia Europejska	*Dyrektywa bateryjna (2006/66/WE); Dyrektywa ELV 2000/53/WE	Współczynnik odzysku ponad 90% dla kobaltu, niklu i miedzi oraz 35% dla litu. W sumie 50% wagi zużytego akumulatora należy poddać recyklingowi	W regulacjach zamieszczono informacje o konieczności zaangażowania się w procesy recyklingu przez producentów pojazdów elektrycznych i akumulatorów
Stany Zjednoczone	Ustawa o bateriach z 1996 r. W Agencji Ochrony Środowiska opracowano uniwersalne rozporządzenie w sprawie odpadów. Akumulatory Li-Ion klasyfikowane są jako odpady niebezpieczne lub uniwersalne	Każdy stan ma własne przepisy dotyczące recyklingu baterii	Zasady recyklingu akumulatorów EV podlegają zmianom
Japonia	Ustawa o skutecznej promocji wykorzystania zasobów (2001)	Docelowa masa całkowita kobaltu, niklu, kadmu i innych materiałów nadających się do recyklingu nie mniej niż 30% masy akumulatora litowo-jonowego	Japońscy producenci samochodów byli pionierami w recyklingu akumulatorów pojazdów elektrycznych. Recykling akumulatorów Li-Ion jest regulowany ustawą o bezpieczeństwie urządzeń elektrycznych i materiałów
Korea Pd.	Ustawy o obrocie zasobami sprzętu elektrycznego i elektronicznego oraz pojazdów. Zmiana przepisów wykonawczych ustawy o kontroli odpadów (zużyte akumulatory Li-Ion otrzymują status odpadów), określenie standardów związanych z technologią i zakładem recyklingu	Możliwość wykorzystania akumulatorów Li-ion jako systemu magazynowania energii w zakładach wytwarzania energii słonecznej lub jako akumulatora do rowerów elektrycznych poprzez prostą naprawę, naprawę i /lub ponowny montaż; zbieranie i ponowne wykorzystywanie cennych metali, takich jak kobalt i nikiel	Południowo-koreańskie stowarzyszenia akumulatorowe nawiązały współpracę z Uniwersytetem Narodowym w celu usprawnienia recyklingu akumulatorów EV. Przekazanie funkcjonowania centrów zbierania odpadów do Korea Environment Corporation (KECO)

\*Dyrektywa bateryjna (2006/66/WE) Parlamentu Europejskiego i Rady z 6 września 2006 r. w sprawie baterii i akumulatorów oraz zużytych baterii i akumulatorów oraz uchylająca dyrektywę 91/157/EWG; dyrektywa ELV 2000/53/WE Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/53/WE z 18 września 2000 r. w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji.

Źródło: Ali i in., 2021; informacje na temat Korei Pd. — [https://enviliance.com/regions/east-asia/kr/report\\_3592](https://enviliance.com/regions/east-asia/kr/report_3592) (09.12.2021).

intensywności użytkowania, napraw, odnawiania lub regeneracji akumulatorów Li-Ion.

Przedsiębiorcy biorący udział w badaniu przekonują, że często ma miejsce sytuacja prowadzenia napraw i odnawiania akumulatorów Li-Ion, ale fakty te nie są podawane do wiadomości publicznej. Jednocześnie przekazywane są informacje o projektach i wdrożeniach z zakresu wtórnego wykorzystania, wdrażania i badania akumulatorów Li-Ion, prowadzonych przez większość producentów pojazdów (OEM). Są to przede wszystkim projekty pilotażowe, realizowane

w celu poznania mechaniki, sprawdzenia wykonalności technicznej i ekonomicznej oraz przygotowania do zwiększenia produkcji. Podobnie wygląda sytuacja w obszarze działań dotyczących recyklingu w obiegu zamkniętym (Albertsen i in., 2021).

Akumulatory Li-Ion, mogą być poddawane procesom recyklingu bezpośredniego (fizycznego), pirometalurgicznego (wytapianie) oraz hydrometalurgicznego (ługowanie). W tabeli 4 zestawiono wady i zalety najpopularniejszych procesów recyklingu zużytych akumulatorów Li-Ion.

Tabela 3

Strategie GOZ akumulatorów Li-Ion wdrożone w wybranych grupach motoryzacyjnych

Grupa	Intensyfikacja użycia	Naprawa	Odnawianie	Zmiana załogi	Zmiana przeznaczenia	Recykling o obiegu zamkniętym
ADL	.	.	.	.	.	.
BAIC	.	.	.	.	.	.
BMW	.	.	.	.	Tak	Badania
BYD	.	.	.	.	.	.
DAF	.	.	.	.	.	.
Daimler AG	.	Tak	Tak	Tak	Tak	Badania
Ford	.	.	.	.	.	.
Honda	.	.	.	.	Badania	Badania
Hyundai	.	.	.	.	Tak	.
Irizar	.	Tak	Tak	.	Tak	.
Jaguar Land Rover	.	.	.	.	Tak	.
LEVC	.	.	.	.	Tak	.
Mitsubishi	.	.	.	.	Tak	.
Nissan	Tak	.	.	.	Tak	.
PSA Grupa	.	.	Niejasne	.	.	.
Renault Grupa	Tak	Tak	.	.	Tak	Tak
Solaris Bus&Coach	.	.	.	.	.	.
Streetscooter	.	.	.	.	.	.
Tazzari	.	.	.	.	.	.
Tesla	.	.	.	.	.	.
Toyota	.	.	.	.	.	.
VDL Bus&Coach	.	Tak	Tak	Nie	Tak	.
Volkswagen Group	.	Tak	Tak	Nie	Tak	Tak
Volvo Cars	.	.	.	.	Tak	.
Volvo Group	Nie	Tak	.	.	Tak	.

Uwaga: (•) — brak danych na temat rodzaju działalności.

Źródło: Albertsen i in., 2021.

Tabela 4

Zalety i wady technologii recyklingu akumulatorów Li-Ion

Rodzaje procesów	Proces pirometalurgiczny	Proces hydrometalurgiczny	Proces mechaniczny
Zastosowana metoda	Chemiczna	Chemiczna	Fizyczna
Wymagania	Wysoka temperatura	Kwasy lub inne środki strącające	Bodźce fizyczne
Odzyskane materiały	Surowy materiał	Surowy materiał	Materiał aktywny
Zalety	Wysokie wskaźniki recyklingu; bez rozpuszczalników	Wysokie wskaźniki recyklingu; duża różnorodność odzyskane metale	Przyjazny dla środowiska; wysoka specyficzność; nieniszczący
Wady	Niespecyficzne; nie ma możliwości jednoczesnego przetwarzania różnych materiałów katodowych	Do realizacji procesu niezbędne jest uzyskanie wysokich temperatur; w celu skutecznego odzyskania materiałów niezbędne jest przeprowadzenie dodatkowych procesów	Proces złożony, w którym stosowane są toksyczne odczynniki, proces wymagający znacznych nakładów finansowych
Ocena efektywności	Resyntezowana wydajność ogniw	Wskaźnik odzysku	Wskaźnik odzysku

Źródło: Costa i in., 2021.



W wielu prowadzonych badaniach dotyczących istoty GOZ podkreśla się, że przy jej wdrożeniu pojawiają się różne bariery, m.in. wysokie koszty pracy związane z sortowaniem materiałów, energochłonność, niższa jakość odzyskanych surowców, a w rezultacie niska wartość ekonomiczna samego procesu. Podstawą do przeciwdziałania takiej sytuacji może być np. ekoprojektowanie (Fan i in., 2019).

Analizy dotyczące GOZ, związane z zagospodarowaniem akumulatorów Li-Ion, odnoszą się do aspektów technicznego i ekonomicznego recyklingu i powtórnego wykorzystania zużytych akumulatorów Li-Ion. Jednak zauważono konieczność określenia czynników napędzających, barier oraz grup interesariuszy zainteresowanych gospodarką cykularną. W pracy B. Wralsena (Wralsen i in., 2021) zaprezentowano wyniki badań panelu eksperckiego (prowadzonych metodą panelową Delphi — komunikacji z ekspertami do spraw akumulatorów). Przedstawiono trzy najkorzystniejsze pod względem ekonomicznym i środowiskowym „strategie gospodarki cykularnej”. Należą do nich modele uwzględniające procesy:

- 1) regeneracji, ponownego wykorzystania, recyklingu oraz gospodarowania odpadami (utyliczacja);
- 2) wydłużenia żywotności produktu poprzez trwałą konstrukcję, usługi aktualizacji oraz regenerację;
- 3) odzyskiwanie zasobów ze zużytych materiałów.

W samych przedsiębiorstwach prowadzących procesy recyklingu działania „linearne” są zamieniane na cykularne. Dla przykładu założenia GOZ wykorzystano w procesie Sumitomo-Sony, w którym połączono recykling hydrometalurgiczny oraz pirometalurgiczny akumulatorów Li-Ion w obrębie jednej firmy. W procesie Sumitomo zużyte akumulatory Li-Ion poddawane są spalaniu w temperaturze około 1000°C. Wadą tej metody jest brak możliwości odzyskania litu (Wroconsult, Ekovert Łukasz Szkudlarek, 2019).

W procesie Sumitomo selektywnie odzyskiwane są nikiel, kobalt i miedź jako stop w wyniku pirometalurgicznego procesu rafinacji. Jest to niezależny element procesu recyklingu. W jego efekcie od akumulatorów Li-Ion odseparowuje się zanieczyszczenia. W kolejnym etapie procesu stop jest wypłukiwany i rafinowany w procesie hydrometalurgicznym. Proces ma na celu recykling niklu i kobaltu, aby mogły być one wykorzystane jako materiał akumulatorowy (np. nikiel na materiały katodowe do baterii wtórnych), natomiast miedź jest przekształcana do formy miedzi elektrolitycznej. Łącząc dwa procesy w obrębie jednego przedsiębiorstwa, można zamknąć obieg materiałów oraz umożliwić ich ponowne wykorzystanie do produkcji nowych akumulatorów Li-Ion (Sumitomo Metal Mining, 2021; Toto, 2019).

## Podsumowanie

Według niektórych danych szacunkowych koszt stworzenia w pełni wydajnego systemu ponownego wykorzystania i recyklingu w krajach Unii Europejskiej może wynieść nawet 108 mld euro. Koszty te obciążąłyby władze publiczne, przedsiębiorstwa oraz ostatecznie konsumentów (Parlament Europejski, 2021).

Należy wspomnieć, na jakim poziomie kształtuje się obecnie świadomość społeczeństwa o istocie i założeniach gospodarki cykularnej. W 2017 r. w Stena Recykling przeprowadzono badania dotyczące znajomości GOZ. Według uzyskanych wyników GOZ kojarzy się uczestnikom badań z rozwiązywaniem problemów środowiskowych (np. zmniejszeniem liczby składowisk (57% wskazań) czy z poprawą jakości środowiska (49%). Wiedza dotycząca zagadnień prawnych, ekoprojektowania czy społecznej odpowiedzialności biznesu kształtowała się na znacznie niższym poziomie (24–29%) (Nowaczek i in., 2017).

Faktem jest, że opracowanie sposobów na pokonanie istniejących barier (m.in. prawnych, finansowych, organizacyjnych) w rozwoju rynku związanego z zagospodarowaniem zużytych akumulatorów Li-Ion ograniczyłoby potencjalny wzrost ilości odpadów poddawanych składowaniu i nieprzetwarzanych.

Należy prowadzić działania nastawione na wykorzystanie zużytych akumulatorów Li-Ion, przede wszystkim jako magazynów energii; następnie wykorzystywanie ich wybranych, mniej zużytych modułów do budowy nowego akumulatora tego samego typu. Jeżeli wymienione działania nie są możliwe z powodu stopnia zużycia akumulatorów Li-Ion, należy zagospodarować materiały odzyskane w procesie recyklingu (Wroconsult, Ekovert Łukasz Szkudlarek, 2019).

Rozwój systemu gospodarowania użytymi akumulatorami Li-Ion wymaga jednak szeregu działań, np. często brakuje dedykowanych zużytym Li-Ion regulacji prawnych, nie przypisano im również oddzielnego kodu odpadów. Obecnie oznaczane są m.in. jako odpady o kodzie 16 06 05. Z kolei brak rodzimego systemu recyklingu akumulatorów Li-Ion wynika z silnej pozycji koncernów zagranicznych, które już posiadają odpowiednie technologie ich recyklingu.

Choć wiele firm realizuje już procesy recyklingu zużytych akumulatorów Li-Ion, istotne jest, by działania te pozwalały na „zamykanie obiegu” w ramach jednego przedsięwzięcia, np. poprzez łączenie w różnych wariantach recyklingu mechanicznego, hydrometalurgicznego czy pirometalurgicznego, co znacznie obniżyłoby chociażby koszty logistyczne czy transportowe prowadzonych działań.

Wdrażanie w przedsiębiorstwach modeli biznesowych zgodnych z zasadami GOZ pozwala je postrzegać jako promujące działania proekologiczne i przy-

jazne środowisku. To z kolei może wpłynąć na zdobycie nowej grupy klientów, dla których wspomniane

działania są ważne, a często decydują o nabyciu danego produktu czy nawiązaniu współpracy.

## Przypisy/Notes

<sup>1</sup> W Polsce zapisy dotyczące hierarchii odpadów normuje ustawa z 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2019, poz. 701, z późn. zm.). Według art. 17. (§ II) hierarchia postępowania z odpadami dotyczy procesów: 1 — zapobiegania powstawaniu odpadów, 2 — przygotowania do ponownego użycia, 3 — recyklingu, 4 — innych procesów odzysku, 5 — unieszkodliwiania.

<sup>2</sup> <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html> (8.11.2021).

<sup>3</sup> Uchwała nr 67 Rady Ministrów z 16 lipca 2019 r. w sprawie przyjęcia „Polityki ekologicznej państwa 2030 — strategii rozwoju w obszarze środowiska i gospodarki wodnej”, MP 2019, poz. 794, dalej zwana „uchwałą RM z 16 lipca 2019 r.”

<sup>4</sup> Rozporządzenie Ministra Klimatu z 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2020, poz. 10).

<sup>5</sup> Uchwała RM z 16 lipca 2019 r.

<sup>6</sup> Tamże.

<sup>7</sup> IMSA do czterech proponowanych działań, opracowanych w fundacji Ellen MacArthur Foundation, których spełnienie pozwoli działać zgodnie z zasadami GOZ, dodało: przeniesienie produktów fizycznych do usług wirtualnych (efekt — oszczędność zasobów i wzrost wydajności) oraz produkcję na żądanie.

## Bibliografia/References

### Literatura/Literature

- Albertsen, L., Richter, J. L., Peck, P., Dalhammar, C., Plepys, A. (2021). Circular business models for electric vehicle lithium-ion batteries: An analysis of current practices of vehicle manufacturers and policies in the EU. *Resources, Conservation & Recycling*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105658>
- Ali, H., Khan, H. A., Pecht, M. G. (2021). Circular economy of Li Batteries: Technologies and trends. *Journal of Energy Storage*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102690>
- Chudy, A. (2020). Akumulatory litowo-jonowe w samochodach elektrycznych — regeneracja, zastosowanie wtórne i recykling. W: M. Babicz (red.), *Problemy i wyzwania współczesnego rolnictwa oraz ochrony środowiska. Tom 1. Środowisko — Roślina — Zwierzę — Produkt* (26–34). Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, <https://up.lublin.pl/wp-content/uploads/2021/02/Problemy-i-wyzwania-wsp%C3%B3%C5%82czesnego-rolnictwa-oraz-ochrony-%C5%9Brodowiska.pdf> (30.11.2021).
- Costa, C. M., Barbosa, J. C., Gonçalves, R., Castro, H., DelCampo, F. J., Lancers-Méndez, S. (2021). Recycling and environmental issues of lithium-ion batteries: Advances, challenges and opportunities. *Energy Storage Materials*, 37, 433–465. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2021.02.032>
- Ellen MacArthur Foundation (2013). *Towards Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> (30.11.2021).
- Komisja Europejska (2015). Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego komitetu ekonomiczno-społecznego i komitetu regionów. Zamknięcie obiegu — plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym COM/2015/0614 final. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0019.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0019.02/DOC_1&format=PDF) (27.10.2020).
- Leszczyńska, A. (2017). Modele biznesu oparte na innowacjach ekologicznych. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, 51(1), 39–50. <http://dx.doi.org/10.17951/h.2017.51.1.39>
- Makuza, B., Tian, Q., Xueyi, G., Chattopadhyay, K., Yu, D. (2021). Pyrometallurgical options for recycling spent lithium-ions batteries: A comprehensive review. *Journal of Power Sources*, 491, 229622. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.229622>
- Nowaczek, A., Kulczycka, J., Smol, M., Avdiushchenko, A., Hausner, J. (2017). Badania postaw i poziomu świadomości w obszarze gospodarki o obiegu zamkniętym W: J. Kulczycka, K. Głuc (red.), *W kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym. Perspektywa przemysłu* (19–27), Wydawnictwo IGSMiE PAN, <http://www.circularhotspot.pl/userfiles/oto-goz/cyrkularne-wskazniki-dla-przemyslu/monografia.pdf> (30.11.2021).
- OPAI, MVO Nederland (2014). *Ondernemen in de circulaire economie, nieuwe verdienmodellen voor bedrijven en ondernemers*, <https://adoc.pub/ondernemen-in-de-circulaire-economie-nieuwe-verdienmodellen-d663dcf8776d63796647d4e14a2774b56096.html> (19.11.2021).
- Osterwalder, A. (2004). *The business model ontology a proposition in a design science approach*. Praca doktorska.
- Osterwalder, A., Pigneur Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. Alexander Osterwalder & Yves Pigneur.
- Parlament Europejski (2021). *Legislative train schedule. Environment, Public Health and food Safety — ENVI*, <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-environment-public-health-and-food-safety-envi/file-jd-end-of-life-vehicles-batteries-and-electronic-waste> (08.11.2021).
- Reinhardt, R., Christodoulou, I., Gassó-Domingo, S., García, B. A. (2019). Towards sustainable business models for electric vehicle battery second use: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 245, 432–446. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.095>
- Rok, B. (2019). Zamykanie obiegu zasobów to otwieranie możliwości biznesowych. W: M. Kraciewicz (red.), 15 polskich przykładów gospodarki o obiegu zamkniętym. Część IV (9–12). *Forum Odpowiedzialnego Biznesu*, [https://odpowiedzialnybiznes.pl/wp-content/uploads/2019/11/FOB\\_15-przykladow-CSRwPL-GOZ.pdf](https://odpowiedzialnybiznes.pl/wp-content/uploads/2019/11/FOB_15-przykladow-CSRwPL-GOZ.pdf) (16.11.2021).
- Rozwadowska, A. (2020). Modele biznesowe gospodarki o obiegu zamkniętym. *Studia Prawno-Ekonomiczne*, CXVI, 253–268. <https://doi.org/10.26485/SPE/2020/116/14>
- Sendek-Matysiak, E. (2018). Ocena baterii litowo-jonowych stosowanych w samochodach elektrycznych typu BEV pod względem bezpieczeństwa i wpływu na środowisko. *Problemy Transportu i Logistyki*, 2(46), 59–68. <https://doi.org/10.18276/ptl.2019.46-06>
- Sumitomo Metal Mining (2021). *Achieving Japan's first 'battery to battery' recycling*, [https://www.smm.co.jp/en/sustainability/activity\\_highlights/article\\_15/](https://www.smm.co.jp/en/sustainability/activity_highlights/article_15/) (30.11.2021).

- Toto, D. (2019). Sumitomo Metal Mining co. develops recycling process for lithium-ion batteries. *Recycling Today*, 28.03.2019, <https://www.recyclingtoday.com/article/japanese-company-develops-lithium-ion-battery-recycling-process/> (30.11.2021).
- Transport Environment, Amnesty International (2020). *The EU Battery regulation due diligence rules: ensuring that human rights and the environment are not casualties of the energy transition*. <https://www.transportenvironment.org/discover/battery-law-can-help-europe-become-green-battery-powerhouse> (18.10.2021).
- Van Brummelen, J., O'Brien, M., Gruyer, D., Najjaran, H. (2018). Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Transportation Research. Part C. Emerging Technologies*, 89, 384–406. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.02.012>
- Van Renswoude, K., Wolde, A., Joustra, D. J. (2015). *Raport Circular Business Models. Part 1. An introduction to IMSA's circular business model scan*. IMSA. <http://circular-future.eu/wp-content/uploads/2015/08/IMSA-Circular-Business-Models-April-2015-Part-1.pdf> (19.11.2021).
- Van, F. Y., TinLee, Z., Lim, J. S., Klemes, J. J., Le, P. T. K. (2019). Cross-disciplinary approaches towards smart, resilient and sustainable circular economy. *Journal of Cleaner Production*, (232), 1482–1491. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.266>
- Wiatr, J. (2020). *Akumulatory litowo-jonowe (Li-ion) zagrożenia wybrane*. <https://www.elektro.info.pl/arttykul/systemy-gwarantowanego-zasilania/157893,akumulatory-litowo-jonowe-li-ion> (25.10.2021).
- Wralsen, B., Prieto-Sandoval, V., Mejia-Villa, A., O'Born, R., Hellstrom M., Faessler B. (2021). Circular business models for lithium-ion batteries — Stakeholders, barriers, and drivers. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128393. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128393>
- Wroconsult, Ekovert Łukasz Szkudlarek (2019). Badanie ewaluacyjne pn. „Recykling wyeksploatowanych komponentów technicznych odnawialnych źródeł energii oraz akumulatorów pojazdów elektrycznych jako element transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym”. Zlecenie dla Ministerstwa Energii. <https://www.gov.pl/web/klimat/ewaluacja>

### Akty prawne/Legal acts

- Dyrektywa 2000/53/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 18 września 2000 r. w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji.
- Rozporządzenie Ministra Klimatu z 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2020 poz. 10).
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie baterii i zużytych baterii, uchylające dyrektywę 2006/66/WE i zmieniające rozporządzenie (UE) 2019/1020 COM(2020) 798.
- Uchwała nr 67 Rady Ministrów z 6 lipca 2019 r., MP 2019, poz. 794, w sprawie przyjęcia „Polityki ekologicznej państwa 2030 — strategii rozwoju w obszarze środowiska i gospodarki wodnej”. Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym.
- Ustawa z 24 kwietnia 2009 r. o bateriach i akumulatorach (Dz.U. 2009 nr 79 poz. 666, z późn. zm.).
- Ustawa z 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2019 poz. 701, z późn. zm.).

### Strony internetowe/Websites

- <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html> (8.11.2021)
- [https://envilance.com/regions/east-asia/kr/report\\_3592](https://envilance.com/regions/east-asia/kr/report_3592) (9.12.2021)

#### Dr inż. Ewa Sylwia Kamińska

Absolwentka Politechniki Lubelskiej. W latach 2007–2013 doktorantka zajmująca się recyklingiem i analizami ekobilansowymi akumulatorów kwasowo-ołowiowych. W 2013 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn (specjalność ekologia transportu). W 2004 r. ukończyła studia podyplomowe o profilu ekonomicznym na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Była współzałożycielem oraz sekretarzem Polskiego Stowarzyszenia Naukowego Recyklingu w latach 2009–2018. Od 2006 r. jest pracownikiem Instytutu Transportu Samochodowego w Warszawie. Obecnie adiunkt w Zakładzie Procesów Diagnostyczno-Obsługowych ITS. Specjalizuje się w zagadnieniach oceny cyklu życia (LCA) pojazdów wycofanych z eksploatacji, zużytych akumulatorów (kwasowo-ołowiowych). Autorka wielu publikacji dotyczących technologii recyklingu oraz zarządzania środowiskowego.

#### Dr inż. Ewa Sylwia Kamińska

Ph.D., Eng., graduated from the Lublin University of Technology. From 2007 to 2013 she was a post-graduate student and dealt with issues of recycling of lead-acid rechargeable batteries and associated ecological balances. In 2013, she was awarded the degree of doctor of technical sciences in the discipline of machine construction and operation (specialty: transport ecology). In 2004 she also completed post-graduate studies in the field of economy at Maria Curie-Skłodowska University in Lublin (UMCS). She was co-founder and the secretary of the Polish Association of Scientific Recycling from 2006 to 2018. She has been employed at the Motor Transport Institute, currently at the team of Diagnostic and Service Processes Department. She has been majored in application of the Life Cycle Assessment (LCA) tool to End-of-life vehicles and lead-acid rechargeable batteries. Her scientific output comprises a series of manuscripts dedicated to recycling technologies and environmental management.