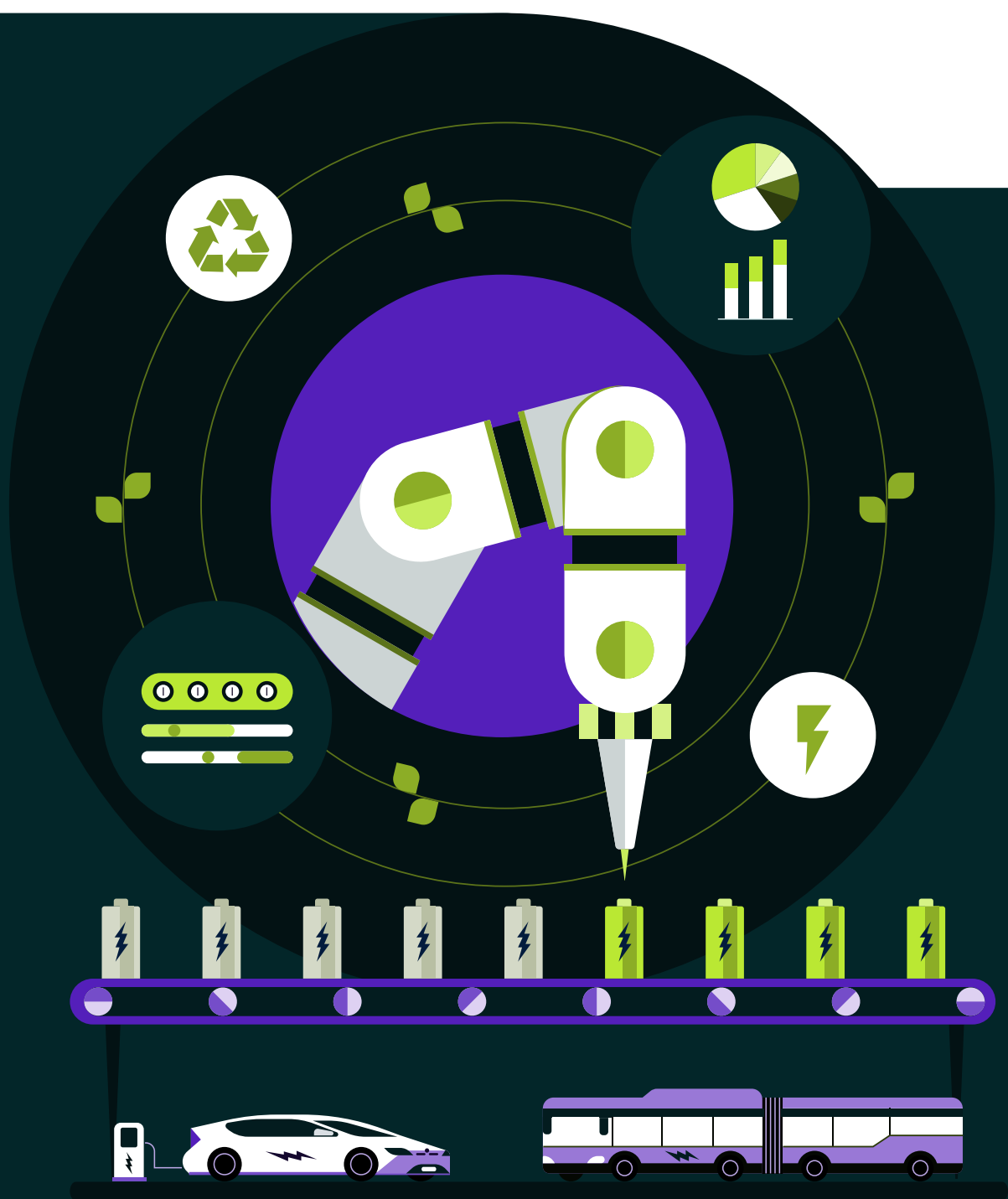


Nr 13 | 2024

Green Car

m a g a z i n e





naciśnij ikonę i przejdź do artykułu

1	rEVelacje numeru	2
2	Zamiast wstępu	5
3	Elektromobilność - szansa dla polskiej gospodarki	9
4	Budowa pakietu akumulatorowego	16
5	Łańcuch dostaw – czy wystarczy nam surowców ?	23
6	Potencjał rynkowy technologii bateryjnej	29
7	Recykling akumulatorów litowo-jonowych	35
8	Elektromobilność jako element transformacji elektroenergetyki	44



rEVelacje numeru



AUTOR: JACEK MIZAK

Po nieco dłuższej przerwie oddajemy w Wasze ręce kolejny, już trzynasty numer naszego magazynu. Numeru trochę innego niż poprzednie, gdyż poświęconego jednemu głównemu tematowi – bateriom.

Temat niby powszechnie znany i poruszany w dyskusjach, ale jednocześnie obrosły wieloma mitami i fałszywymi informacjami. A jeżeli piszemy o bateriach – to autorem musi być prawdziwy fachowiec – nie tylko teoretyk ale także praktyk. Udało nam się przekonać do współpracy jednego z najlepszych ekspertów w temacie baterii w Polsce, czyli Rafała Biszcza. Ogromna wiedza teoretyczna w powiązaniu z doświadczeniem praktycznym, zdobywanym m.in. w największej fabryce baterii w Europie czy przy projektowaniu i wdrażaniu linii technologicznej gigabaterii na kontynencie azjatyckim mówią same za siebie. Trudno znaleźć w Polsce eksperta, przed którym rzeczywiście baterie nie mają żadnych tajemnic.

W tym numerze Magazynu znajdziecie wiele interesujących tekstów. Począwszy od ogólnego spojrzenia na trwający proces transformacji i elektryfikacji gospodarki światowej, europejskiej i polskiej, gdzie sektor baterii ma ogromne znaczenie nie tylko w transporcie. Czy inwestycje w sektor baterijny to inwestycje w przyszłość? Rafał twierdzi, że jak najbardziej tak. Poznamy również budowę typowego pakietu baterijnego i znaczenie oraz rolę poszczególnych jego komponentów. Nie mogło również zabraknąć tak często podnoszonej kwestii potrzebnych do budowy baterii materiałów i dostępności zasobów w skali globalnej. Potwierdzamy, że baterie nie wymagają stosowania metali ziem rzadkich, ale wielu innych pierwiastków strategicznych – jak najbardziej. Technologia baterijna obecnie bardzo dynamicznie się rozwija w kierunku ograniczenia zużycia surowców strategicznych takich jak kobalt, mangan, czy nawet lit, a z drugiej strony dąży do wzrostu efektywności, czyli gęstości energii. Gdy jeszcze dodamy do tego konieczność minimalizacji degradacji ogniwa, zwiększenia maksymalnej mocy ładowania oraz ograniczenia spadku pojemności wraz ze spadkiem temperatury – mamy obraz skomplikowanej układanki, z którą muszą sobie poradzić eksperci i firmy.

Rozwiewamy również skutecznie mit o recyklingu baterii – pogłoski o czekających nas stosach zużytych baterii zalegających w polskich lasach i zanieczyszczających środowisko toksycznymi związkami są po prostu bujdą na resorach. Firmy są przygotowane technologicznie do recyklingu, choć

na budowę dużych instalacji musimy trochę poczekać ponieważ... na rynku jeszcze nie ma takiej ilości baterii wymagających recyklingu. Na koniec Rafał przedstawia prognozę globalnego rozwoju rynku baterii, nie tylko jako magazynów energii dla pojazdów ale również jako ważnego elementu systemu elektroenergetycznego, wspomagającego pracę ciągle rosnących mocy wytwórczych opartych na odnawialnych źródłach energii. Czy Polska znajdzie swoje miejsce na mapie inwestycji w tym sektorze... ?

Mamy nadzieję, że dzięki pierwszemu w języku polskim tak obszernemu kompendium wiedzy o bateriach przybliżymy ten temat naszym czytelnikom w sposób kompetentny, a jednocześnie przystępny. A w kolejnym numerze Magazynu, nad którym właśnie zaczynamy prace, opowiemy o tym, jak ważna dla przyspieszenia elektromobilności w Polsce (i nie tylko) jest elektryfikacja flot firmowych.

Jacek Mizak

Redaktor Naczelny

Wydawca: Fundacja Promocji Pojazdów Elektrycznych
ul. Ceglowska 28/1, 01-803 Warszawa
biuro@fppe.pl

Redaktor naczelny: Jacek Mizak

Zespół redakcyjny: Marcin Korolec, Przemysław Sobański,
Martyna Adamska-Pakuła

Współpraca: Rafał Biszczycki

Projekt graficzny, skład: Anna Olczak

Kontakt: biuro@fppe.pl

© Copyright by FPPE – Fundacja Promocji Pojazdów Elektrycznych,
Warszawa, 2024



**Fundacja Promocji
Pojazdów Elektrycznych**

Fundacja Promocji Pojazdów Elektrycznych (FPPE) jest organizacją pozarządową pracującą na rzecz rozwoju zeroemisyjnego transportu. Prowadzi działania promocyjne i edukacyjne, świadczy też usługi doradcze i analityczne. Jest partnerem Transport & Environment, brukselskiego think tanku z obszaru polityki transportowej.



Zamiast wstępu



AUTOR: RAFAŁ BISZCZ

Od końca XVIII wieku cały świat znajduje się w stanie permanentnego wybuchu gospodarczego, spowodowanego kolejnymi rewolucjami przemysłowymi: wprowadzeniem silników parowych i spalinowych, elektryczności, automatyzacji i wreszcie cyfryzacji.

Gwałtowne przemiany spowodowane wprowadzaniem nowych rozwiązań, spowodowały tektoniczne przesunięcia w strukturach społecznych – odtąd to nie ziemia i ręce do pracy, a dostęp do technologii i kapitału świadczyły o potędze państw.

Przewaga wynikająca z uprzemysłowienia była tak wielka, że do końca XIX wieku praktycznie cały świat został podzielony pomiędzy mocarstwa kolonialne, a wszelkie próby oporu ze strony niezmodyfikowanych państw kończyły się jak bitwa pod Omdurmanem, gdzie pięć tysięcy szarżujących Sudańczyków zginęło od ognia szrapneli, nie osiągając nawet brytyjskich pozycji. Stare imperia takie jak Chiny, Japonia, Rosja czy Turcja doznały upokarzających klęsk, które później pchnęły je do forsownej, a nierzadko brutalnej industrializacji.

Pierwsza połowa XX wieku przyniosła katastrofalne w skutkach przesilenia na mapach gospodarczej i politycznej, które wynikały głównie z próby rewizji układu światowego przez państwa, które spóźniły się na pierwszą falę przemysłowej rewolucji.

II Wojna Światowa doprowadziła do rozmontowania świata kolonialnego przez USA i powstania dwóch konkurujących ze sobą bloków gospodarczych – wolnorynkowej gospodarki kapitalistycznej oraz centralnie planowanej gospodarki socjalistycznej.

Polska miała nieszczęście znaleźć się w bloku gospodarek RWPG, co skierowało ją na tory rozwoju ciężkiego, energochłonnego przemysłu, ze słabymi więzami gospodarczymi z blokiem kapitalistycznym.

Po upadku ZSRR, Polska podjęła historyczny wysiłek, aby dołączyć do struktur zachodnich, czego ukoronowaniem było przystąpienie do NATO w 1999 r. oraz do UE w 2004 r. Te wielkie sukcesy zostały jednak okupione wielkimi kosztami społeczno-gospodarczymi, w postaci likwidacji całych gałęzi przemysłu, jak choćby stoczniowy czy elektroniczny, co doprowadziło do ponad dwudziestoprocentowego bezrobocia i emigracji ponad dwóch milionów Polaków. Jednak mimo kosztów, historia tym razem okazała się łaskawa, gdyż przemiany gospodarcze zbiegły się w czasie ze szczytem popularności ideologii neoliberalnej, która sprawiła, że do Polski napłynął tak potrzebny do rozwoju kapitał zagraniczny. W ostatnich 30 latach Polska – obok Chin – była najszybciej rozwijającym się krajem na świecie, co w roku 2018 zostało potwierdzone jej przyjęciem do grona 25 najbardziej rozwiniętych gospodarek świata.

Jednak XXI wiek znów niesie ze sobą ogromne zmiany, które na nowo zdefiniują miejsca krajów w światowym systemie. Paradygmat zglobalizowanej gospodarki upada na naszych oczach, a pandemia koronawirusa jedynie przyspieszyła przemiany. Kapitał przestał pły-

nać do krajów rozwijających się, a produkcja zaczyna rosnać w państwach silnie wspierających, także ogromnymi środkami publicznymi, rozwój wysokich technologii, czemu sprzyja rozwój robotyzacji przemysłu. O ile druga połowa XX wieku przyniosła spektakularny rozwój tych, którzy potrafili wykorzystać historyczną szansę – Japonii, Korei, Chin czy Polski, tak wiek XXI będzie należeć do krajów, które zdołają zbudować nowoczesne, wysokowydajne gospodarki, bez zbędnych barier administracyjnych i prawnych, z silną rolą polityk publicznych.

Polska po raz pierwszy staje do kolejnego etapu rewolucji przemysłowej jako kraj niepodległy i tylko od sprawności elit oraz dynamizmu społeczeństwa będzie zależeć, czy uda się nam zająć miejsce w światowej ekstraklasie. Aby jednak tam trafić, musimy mieć świadomość, że nowoczesna gospodarka wygląda dziś zupełnie odmiennie od tego, do czego przyzwyczaił nas wiek XX i opiera się głównie na: automatyzacji, robotyzacji, cyfryzacji, autonomizacji, miniaturyzacji, wykorzystaniu zaawansowanych materiałów, a to wszystko przy jej skomunikowaniu ze światem na wszystkich płaszczyznach – od drogowej po teleinformatyczną. Proces ten wymaga powszechnej elektryfikacji – a wobec wzrostu udziału niesterowalnych odnawialnych źródeł energii jak słońce i wiatr, kluczową w niej rolę będą pełnić bateryjne technologie magazynowania energii. Baterie to nie tylko „zbiorniki paliwa” nowej generacji pojazdów – ale także niezwykle ważny element nowoczesnej gospodarki, w tym energetyki i przemysłu.

Elektromobilność powszechnie rozumiana sprowadza się do samych pojazdów elektrycznych, zaś widziane korzyści ograniczają się do redukcji emisji CO₂ i innych zanieczyszczeń jak tlenki azotu czy cząstki stałe. Takie stawianie sprawy jest nieporozumieniem, gdyż idea elektryfikacji wykracza znacznie poza samą motoryzację i transport. Elektromobilność, a właściwie powszechna elektryfikacja, to przede wszystkim zaawansowana

chemia baterii, mikroprocesory, algorytmy sterujące, uczenie maszynowe, zintegrowana sieć elektroenergetyczna i przygotowanie pod przyszłą autonomizację transportu. Pojazdy elektryczne to bardzo niska sygnatura cieplna, co zrewolucjonizuje zarówno podziemne wydobywanie w kopalniach KGHM, jak i cechy trudnowykrywalności pojazdów Wojska Polskiego. Dzisiejsze samochody elektryczne są jedynie etapem pośrednim, a widziane z perspektywy dwudziestoletniej, będą wydawać się równie groteskowe, co ważący ponad 300kg komputer Odra 1305, którego moc obliczeniowa stanowi promil możliwości dzisiejszych smartfonów.

Inwestycje w sieć ładowania pojazdów elektrycznych doskonale współgrają z modernizacją sieci elektroenergetycznej na potrzeby nowoczesnej energetyki i wzrastający udział OZE, a wprowadzany przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE) Centralny System Informacji o Rynku Energii (CSIRE), umożliwi współpracę systemów ładowania z operatorem sieci dystrybucyjnej i reagowanie na dynamicznie zmieniające się zapotrzebowanie na energię elektryczną, dzięki np. taryfom dynamicznym. W przyszłości każdy samochód elektryczny będzie służył częścią swojej pojemności bateryjnej jako zdecentralizowany magazyn energii, również dla gospodarstwa domowego, a w przypadku systemu elektroenergetycznego jako kompensator mocy biernej – zarówno pojemnościowej, jak i indukcyjnej (technologie V2H, V2G, V2L).

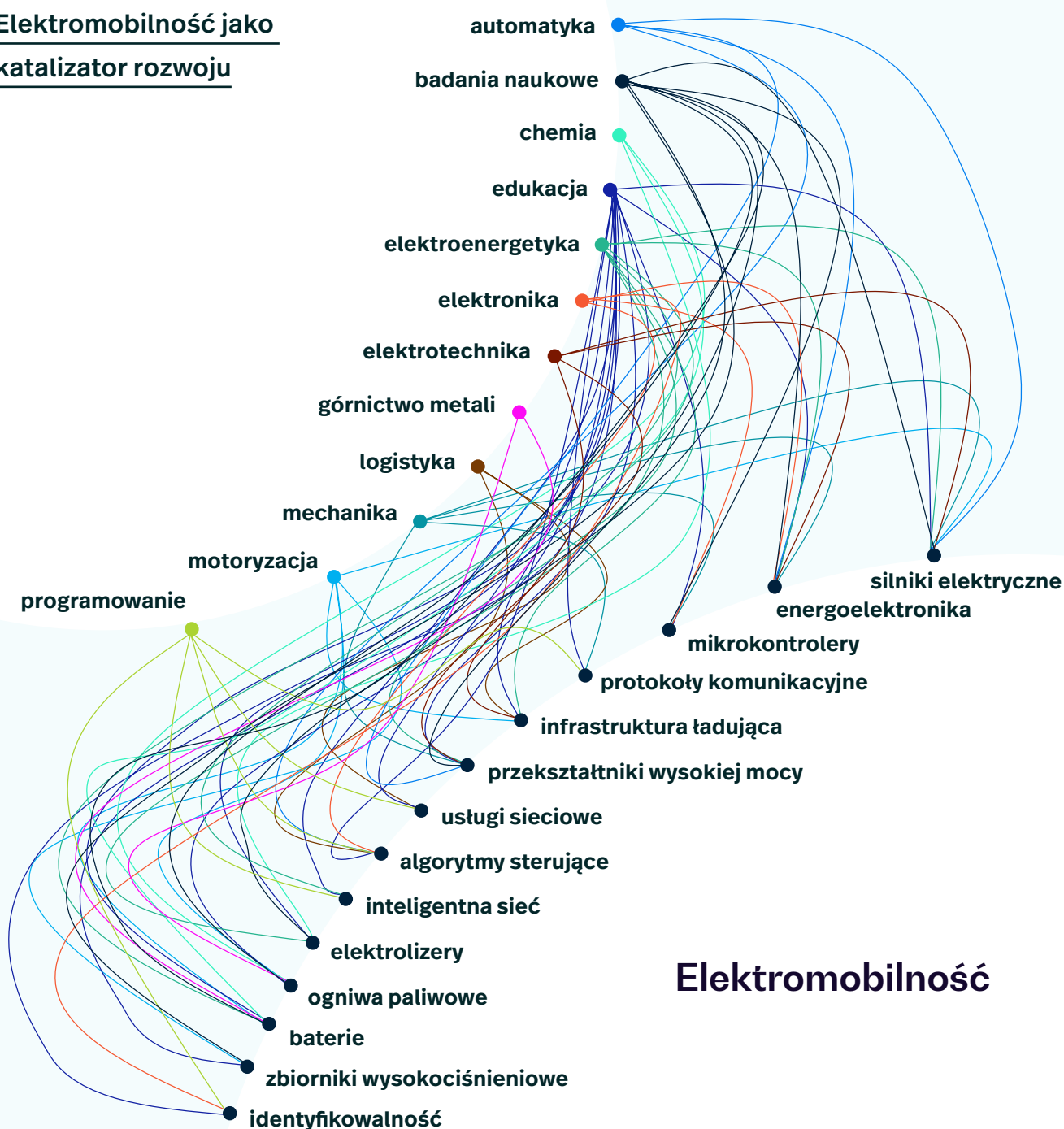


Intensywne prace badawcze nad elektromobilnością przyniosą korzyści również innym obszarom gospodarki: dzięki samochodom elektrycznym renesans przeżywa wynalazek silnika reluktancyjnego, który produkowany masowo, będzie tańszy i sprawniejszy od silnika indukcyjnego, powszechnie stosowanego w przemyśle. Coraz doskonalsze i tańsze baterie spowodowały również rozwój

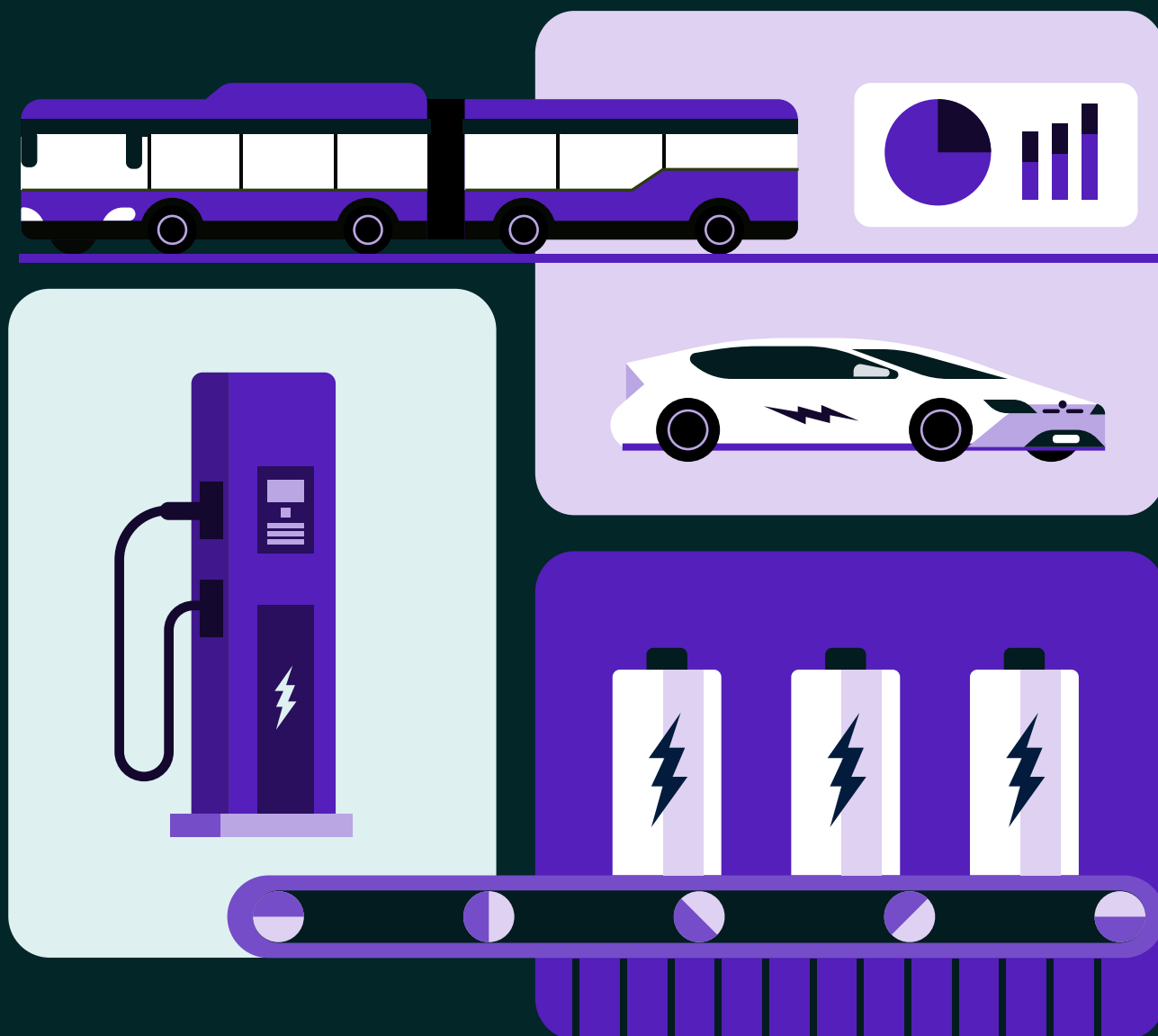
magazynów energii, których moc zainstalowana w Wielkiej Brytanii już teraz przekracza 1,3 GW, wobec typowego zapotrzebowania systemu elektroenergetycznego na poziomie 35,0 GW. Takich rozwiązań będzie tylko przybywać.

Zdekarbonizowana i zelektryfikowana gospodarka to wzór, do którego dążą dziś wszyscy, którzy mają ambicję. Miejmy i my...

Elektromobilność jako katalizator rozwoju



Elektromobilność



Elektromobilność - szansa dla polskiej gospodarki



AUTOR: RAFAŁ BISZCZ

Jakie są obecnie wyznaczniki wysokorozwiniętej gospodarki, zdolnej konkurować nie tylko na europejskim, ale także światowym rynku ? Tu możemy zidentyfikować kilka kluczowych obszarów, które o tym decydują.



Automatyzacja

Na szeroką skalę stosowana od lat 70, wraz z pojawieniem się na świecie jednocukładowego procesora – Intel 4004. Na początku wdrażana punktowo – w sektorach strategicznych, takich jak kolejnictwo czy wojsko. Ograniczeniem automatyzacji był głównie brak wykwalifikowanej kadry programistów oraz niedostępność aparatury (czujniki, elektrozaopory itd.). Dziś, dzięki standaryzacji języków programowania, masowej produkcji elementów elektronicznych oraz wypracowaniu metod kształcenia, automatyzacja stała się zjawiskiem powszechnym, a do programowania podstawowych funkcji wystarcza pracownik z dyplomem technika. W 2021 r. w Polsce do egzaminu zawodowego na technika automatyka podeszło ponad 400 uczniów.



Robotyzacja

Jest połączeniem mechaniki z automatyką, które umożliwia wprowadzenie automatyzacji punktowo – bez konieczności przebudowywania całej linii produkcyjnej. Robotyzacja prowadzi do przejmowania części prac manualnych, poprzez zabudowę gniazd z manipulatorami, co skokowo zwiększa efektywność danego zakładu. Najnowszym trendem są coboty, czyli roboty przystosowane do pracy z człowiekiem. Obecnie robotyzacja jest trendem dojrzałym, aczkolwiek koszt robotów

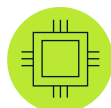
i manipulatorów jest wciąż wysoki. W 2021 r. w Polsce do egzaminu zawodowego na technika mechatronika podeszło ponad 4 tys. uczniów, co najlepiej świadczy o popularności tego obszaru gospodarki.



Cyfryzacja

To przenoszenie zasobów informacyjnych do postaci cyfrowej, która umożliwia obróbkę danych przez programy komputerowe. Cyfryzacja nie jest jednak prostym przenoszeniem informacji na inny nośnik – dzięki zaawansowanym algorytmom i ogromnym mocom obliczeniowym dzisiejszych komputerów, czynności, takie jak: trasowanie dróg i linii przesyłowych, planowanie zapotrzebowania materiałowego, czy tropienie nieprawidłowości podatkowych, są efektywniejsze o rzędy wielkości. Dane są dzisiaj traktowane jako niezwykle cenny zasób, gdyż bez nich niemożliwy jest rozwój algorytmów. Polska jest cyfryzacyjną potęgą – CD Projekt RED jest jednym najpopularniejszych developerów na świecie, a Asseco Poland jest największą firmą IT w Europie Środkowo-wschodniej.

Najważniejsze, aby mieć świadomość, że w nowoczesnej gospodarce wymienione dziedziny nie mogą być rozpatrywane osobno, ale muszą się przeplatać, wykorzystując efekt synergii.



Automatyzacja

Postępująca cyfryzacja wygenerowała tak wielką ilość danych, iż nie da się nimi w całości zarządzić programami pisanymi przez ludzi. Stworzono więc algorytmy, które są zdolne do autonomicznej modyfikacji części własnego programu, w celu wypełnienia warunków brzegowych, nałożonych przez człowieka. Sztuczna inteligencja (z ang. artificial intelligence, AI) początkowo analizowała bardzo proste problemy statystyczne, ale wraz ze wzrostem mocy obliczeniowej i udoskonaleniem metod, jej możliwości rosną. W 1997 r. AI pokonała w szachy arcymistrza, zaś dziś jest np. w stanie zdiagnozować raka skóry na podstawie zdjęć pacjenta. Największymi barierami w rozwoju AI są dziś ograniczenia mocy obliczeniowych oraz dostęp do dużej ilości danych. Brak również kompleksowego systemu uregulowań prawnych, bez których dalsze upowszechnienie AI będzie niemożliwe.



Miniaturyzacja

Zaawansowane roboty wymagają większej ilości elementów elektronicznych, zaś złożone oprogramowanie do swojej pracy wymaga ogromnych mocy obliczeniowych. Oba wymagania można zaspokoić jedynie przez miniaturyzację podzespołów i układów mikroprocesorowych. Dzisiejsze procesory osiągają wielkości 3 nanometrów, co czyni ich proces produkcyjny jednym z największych inżynierskich wyzwań na świecie, któremu może podołać tylko kilka firm. Mikroprocesory są dziś jednym z najważniejszych półproduktów, których niedobór prowadzi do wstrzymania produkcji w całych gałęziach gospodarki. Ponowne stworzenie mocy produkcyjnych nowoczesnych mikroprocesorów to obecnie jedno z najważniejszych wyzwań gospodarczych dla Europy i Stanów Zjednoczonych.



Zaawansowane materiały

Najlepszym przykładem roli zaawansowanych materiałów w rozwoju gospodarczym niech będzie domieszkowany krzem, służący do produkcji tranzystorów które zrewolucjonizowały świat komputerów. Kompozyty takie jak kevlar, czy żywice z włóknem szklanym, stanowią granicę pomiędzy starym a nowym. Dziś najintensywniejsze badania materiałowe prowadzi się w obszarze medycyny, półprzewodników, oraz baterii.



Skomunikowanie

Nowoczesna gospodarka wymaga dróg, kolei, portów kontenerowych, masowych, czy gazowych, wydajnego hubu lotniczego, sieci elektroenergetycznej i teleinformatycznej, rurociągów, oraz gazociągów. To nie wszystko – te składowe muszą ze sobą współpracować: stąd potrzeba rozbudowy intermodalnych terminali przeladunkowych, czy centrów logistycznych. Polska dzięki swojemu położeniu znajduje się na skrzyżowaniach szlaków komunikacyjnych i przesyłowych. Polskie firmy mają także największy udział w międzynarodowych przewozach transportu drogowego w UE. Racją stanu jest obrona naszej pozycji na rynku logistyki, a tutaj największym wyzwaniem będzie dekarbonizacja floty pojazdów ciężarowych.

Wyznaczniki, o których była mowa na początku, przekładają się na dziedziny gospodarki, a następnie na konkretne branże, które są opisane dwójako: za pomocą Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD), oraz Klasyfikacji Zawodów i Specjalności, a każda z kwalifikacji jest z kolei dodatkowo opisana przez Polską Ramę Kwalifikacji (PRK). Niestety ujęcie nowoczesnej gospodarki według klucza PKD nastręcza wiele trudności, toteż pozostaniemy przy intuicyjnym opisie dziedzin gospodarki na które dzielą się zaprezentowane wyznaczniki.

Najważniejsze, aby mieć świadomość, że w nowoczesnej gospodarce wymienione dziedziny nie mogą być rozpatrywane osobno, ale muszą się przeplatać, wykorzystując efekt synergii. Przykładem może być porównanie tradycyjnego łańcucha logistycznego – od fabryki, przez hurtownię, sklep detaliczny, aż do klienta – z zakupami dokonywanymi na platformach cyfrowych, z płatnością za pośrednictwem bankowości internetowej, zamówieniami zarządzanymi przez algorytmy grupujące produkty, i nadające je do określonych centrów logistycznych, z których są dystrybuowane do paczkomatów, obsługiwanych za pomocą smartfonów. Dzisiejsza logistyka nie tyle usprawniła przepływ towarów, co zrewolucjonizowała gospodarkę, prowadząc do powstania zupełnie nowych form działalności, jak choćby zdalne centra poligraficzne, czy pracownie druku 3D.

Powyższy przykład obrazuje, że należy maksymalnie stymulować wzajemne przenikanie się sfer nowoczesnej gospodarki. Nie możemy pozwolić, by jakakolwiek dziedzina przemysłu funkcjonowała w izolacji. Dawniej mechanik pojazdowy nie znał się na programowaniu, a programista nie miał pojęcia o funkcjonowaniu sieci elektroenergetycznej, co prowadziło do powstawania mentalności silosowej i w konsekwencji zamierania innowacyjności. Idąc dalej tym tokiem myślenia, każda z dziedzin życia musi zostać przemyślana na nowo – tak, by w maksymalny sposób skorzystać z osiągnięć technicznych pozostałych obszarów. Przykładem niech będą sklepy wielkopowierzchniowe, które wzbogaciły stary koncept kasy fiskalnej o zdobycze elektroniki, cyfryzacji i programowania – tworząc kasy samoobsługowe. Takie działanie nie tylko ułatwia życie klientom, ale przede wszystkim wzmacnia efektywność polskiej gospodarki, a co za tym idzie – jej pozycję w świecie.

Rozwój technologiczny zapewniany przez inwestycje w elektromobilność, pomaga polskiej gospodarce w wydobyciu się z pułapki średniego rozwoju. O tym, czym dla Polski może być elektryczna rewolucja, niech świadczy fakt, iż już dziś baterie litowo-jonowe są najważniejszą pozycją eksportową polskiej gospodarki – w 2021 r. stanowiły 2,4% wartości całego eksportu. Pierwsza w Europie gigafabryka baterii, uruchomiona w 2018 r. pod Wrocławiem przez koncern LG Energy Solutions spowodowała napływ kolejnych inwestycji z branży, co sprawiło, że obecnie w Polsce znajduje się niemal pełny łańcuch dostaw do produkcji baterii, obejmujący materiały aktywne, separatory, elektrolit i folię miedzianą (początek produkcji – 2024 r.). Oprócz LG ES w Polsce zainwestowały również Daimler (Jawor), Northvolt (Gdańsk), czy SK Innovation (Dąbrowa Górnicza).

Należy maksymalnie stymulować wzajemne przenikanie się sfer nowoczesnej gospodarki. Nie możemy pozwolić, by jakakolwiek dziedzina przemysłu funkcjonowała w izolacji.

2,4%

Taki udział wartości polskiego eksportu stanowiły pakiety bateryjne w 2021 roku

Mapa inwestycji w sektorze elektromobilności



-  Baterie
-  Samochody elektryczne
-  Autobusy
-  Inne
-  Recykling
-  Komponenty baterii
-  Ładowarki

Źródło: Polska Izba Rozwoju Elektromobilności

Polska jest liderem wdrażania nowoczesnych technik recyklingu baterii – w Zawierciu za 380 milionów zł powstanie zakład odzyskiwania metali firmy Elemental Holding, zaś w Legnicy pracuje linia pilotażowa Royal Bees Recycling. Polska jest również największym w Europie producentem autobusów elektrycznych, na czele z Solarisem (Bolechowo) i MANem (Starachowice).

Równocześnie po polskich drogach jeździ już ponad tysiąc elektrycznych autobusów, co lokuje nas w pierwszej piątce w Europie. W województwie lubuskim swoją siedzibę posiada również europejski lider na rynku infrastruktury ładowania autobusów elektrycznych – zielonogórska Ekoenergetyka, która właśnie buduje krajowe zdolności wytwarzania komponentów energoelektronicznych, dotychczas importowanych.

Wartość polskiego eksportu akumulatorów litowo-jonowych (mld €)

Udział w całości polskiego eksportu



Źródło: Rocznik Statystyczny Handlu Zagranicznego GUS

Udział kosztów pracy ludzkiej w tradycyjnej fabryce w porównaniu do produkcji pakietów bateryjnych

10-15%

Tyle wynosi szacowany udział pracy ludzkiej w koszcie produktu dla typowej fabryki automotive

1%

Do takiej wartości spada udział dla fabryki ogniw litowo-jonowych

Źródło: Opracowanie własne

Z punktu widzenia polskiego eksportu, baterie litowo-jonowe w ciągu trzech lat przesunęły się z marginalnej, na kluczową pozycję eksportową polskiej gospodarki. W 2022 r. baterie stanowiły już niespełna 2,5% całego polskiego eksportu i zajmowały pierwsze miejsce w sektorze auto-moto, a należy tutaj zauważyć dwie rzeczy:

⚡ po pierwsze: praktycznie całość produkcji akumulatorów pochodziła z jednej fabryki LG ES pod Wrocławiem,

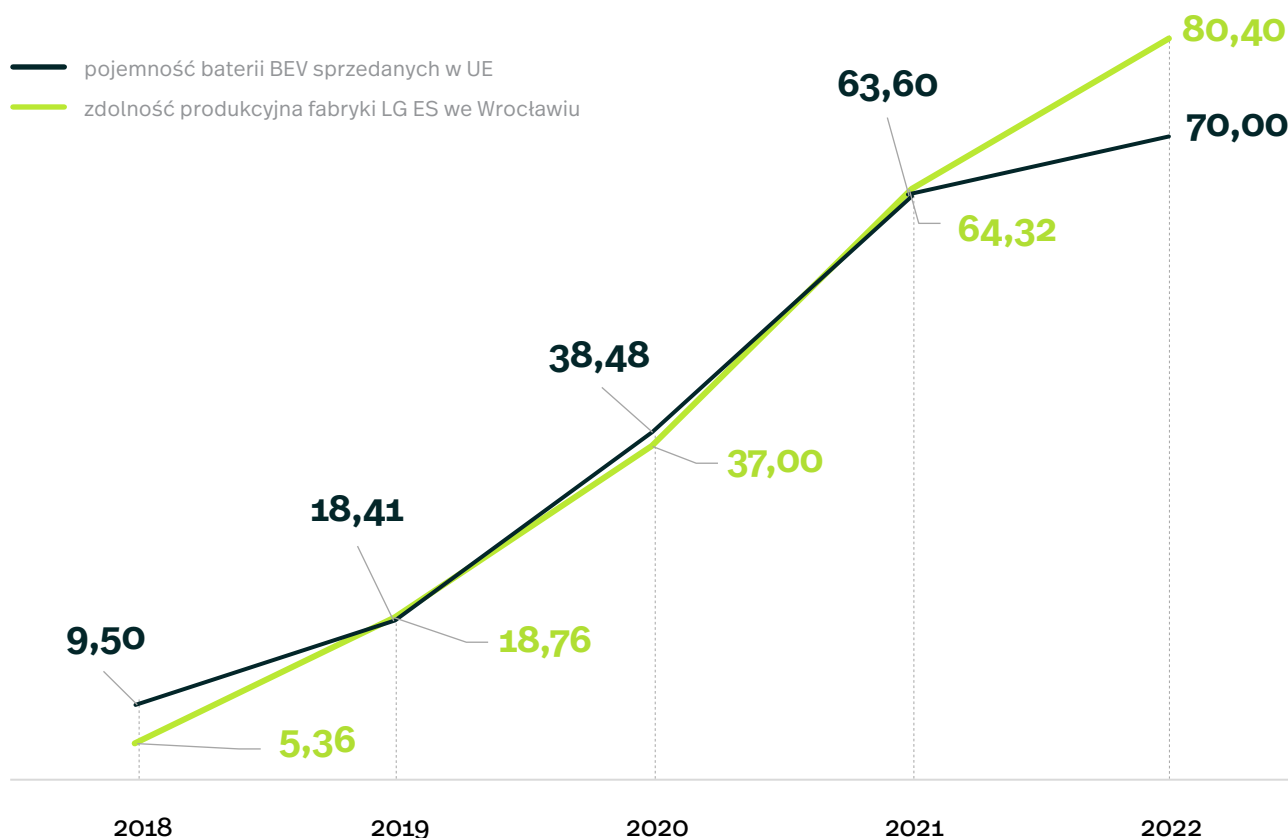
⚡ po drugie: 2021 rok był niekorzystny dla branży automotive z powodu niedostępności mikroprocesorów, co spowodowało przestoje w fabrykach.

W 2022 roku wybuchła wojna na Ukrainie, która doprowadziła do spowolnienia gospodarczego w Europie, przerywając wiele łańcuchów dostaw również w sektorze elektromobilności.

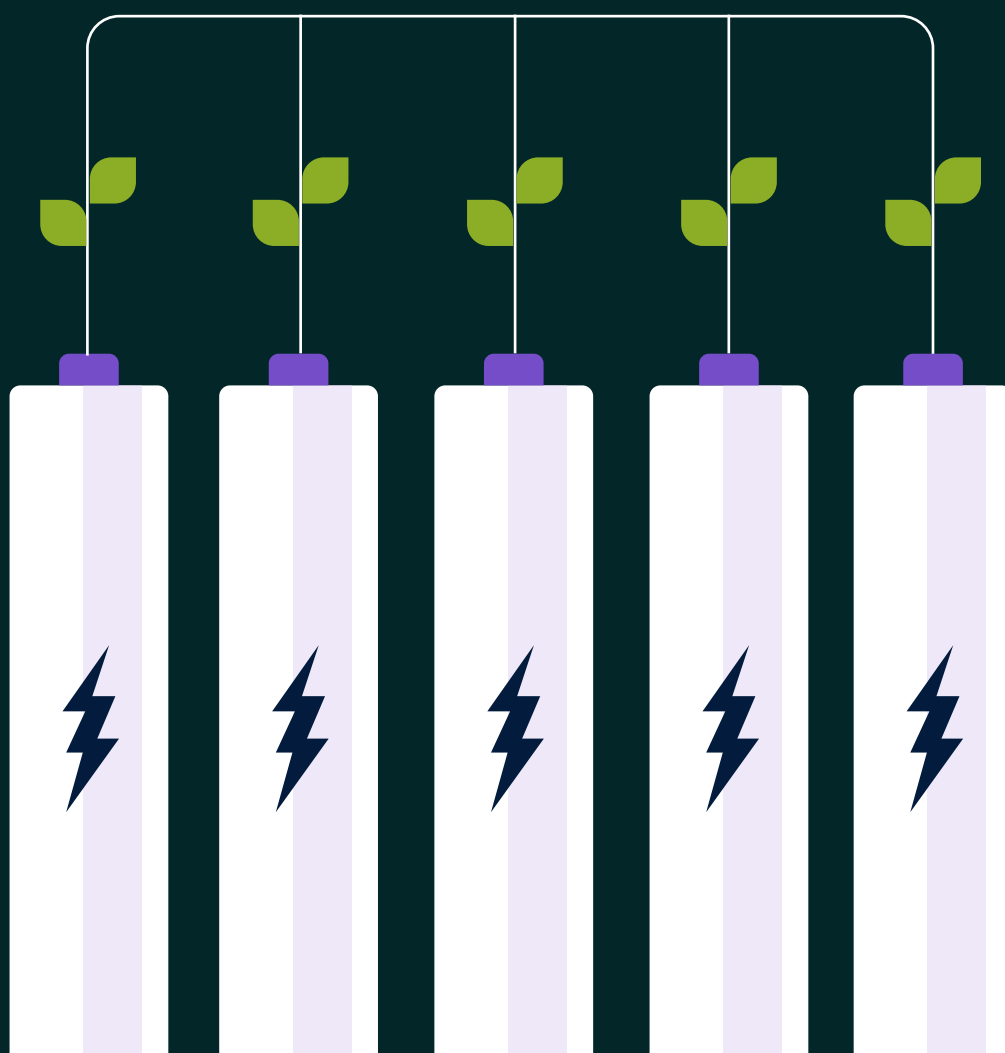
W minionych latach sprzedaż bateryjnych samochodów elektrycznych (BEV) była definiowana stroną podażową – nie popytową. Klienci szukali możliwości zakupu, ale producenci samochodów nie byli w stanie zabezpieczyć dostatecznej ilości baterii. Mimo tego w 2022 roku w UE sprzedano 2.68 miliona EV. O skali rynku bateryjnego niech świadczy fakt, że w UE rocznie sprzedaje się około 12 milionów samochodów, to w przeliczeniu na pojemności baterii daje zapotrzebowanie na poziomie 600 GWh – nie licząc dynamicznie rosnącego rynku e-busów, e-trucków oraz magazynów energii. Dlatego też perspektywy dla rozwoju przedsiębiorstw działających w szeroko rozumianym obszarze elektryfikacji i elektromobilności są zapewnione na wiele, wiele lat.

O tym, czym dla Polski może być elektryczna rewolucja, niech świadczy fakt, iż już dziś baterie litowo-jonowe są najważniejszą pozycją eksportową polskiej gospodarki.

Szacowana pojemność baterii BEV sprzedanych w UE, w porównaniu do szacowanej zdolności produkcyjnej fabryki LG ES we Wrocławiu na koniec roku (GWh)



Źródło: Opracowanie własne



Budowa pakietu akumulatorowego



AUTOR: RAFAŁ BISZCZ

Elektryczne: autobus, samochód osobowy, rower, przydomowy magazyn energii czy ogromny magazyn sieciowy; wszystkie te urządzenia łączy jeden komponent, bez którego nie mogłyby działać: pakiet akumulatorów.

Jak wygląda budowa takich pakietów ?

Jakie są podstawowe parametry charakteryzujących pakiet ?

Postaramy się to wyjaśnić w przystępny sposób.



Ogniwo – podstawowy budulec pakietu akumulatorów

U samej podstawy pakietu bateryjnego leży jego podstawowy budulec – ogniwo elektrochemiczne, które przetwarza energię potencjalną wiązań jonowych na użyteczną energię elektryczną.

Może się to wydawać skomplikowane (i takie w istocie jest), ale w uproszczeniu można napisać, że wiązania jonowe wewnątrz dwóch oddzielonych od siebie elektrod takiego ogniwa są utrzymane w stanie nierównowagi, niczym dwa zbiorniki z gazem o różnych ciśnieniach odizolowane zamkniętym zaworem. Gdy połączymy bieguny elektrod, lub gdy otworzymy zawór między zbiornikami z gazem, zarówno elektrody jak i zbiorniki będą dążyć do tego, by osiągnąć stan równowagi. W przypadku zbiorników przepłynie więc gaz, zaś w przypadku elektrod, przez zamknięty obwód przepłyną elektrony dając nam pożądany prąd elektryczny, a wewnątrz samego ogniwa zajdą reakcje jonowe, prowadzące do przepływu jonów pomiędzy tymi elektrodami.

Pisząc jeszcze prościej: nierównowaga wewnątrz ogniwa prowadzi do reakcji wewnątrz niego, co z kolei powoduje pojawienie się nierównowagi potencjałów, a więc napięcia na biegunach tego ogniwa. Wysokość napięcia na biegunach będzie więc odbiciem stanu nierównowagi wewnątrz samego ogniwa.

Tutaj pierwsze zastrzeżenie: nośnikiem ładunków elektrycznych wykonujących dla nas pracę będą elektrony, ale wewnątrz ogniwa ruch elektronów będzie naśladowany przez ruch jonów. Jakich jonów? To zależy od chemicznej budowy ogniwa. Mogą być to jony metali: miedzi, cynku, żelaza, litu czy sodu.

Rozumiejąc już podstawowy mechanizm działania ogniwa możemy dokonać podstawowego rozróżnienia:

⚡ **Ogniwa pierwotne** (primary cells) to takie, w których po ustaleniu się równowagi (rozładowaniu), reakcja ustaje i nie da się jej odwrócić (ogniwo zostaje nieodwracalnie zużyte).

⚡ **Ogniwa wtórne** (secondary cell) to takie, w których po ustaleniu się równowagi (rozładowaniu), reakcja ustaje, ale da się przywrócić stan nierównowagi poprzez przyłożenie napięcia na bieguny (ładowanie).

Obecnie najpopularniejszymi ogniwami są tzw. **ogniwa litowo-jonowe**, co oznacza, że są to ogniwa wtórne, w których nośnikiem ładunku są jony litu.

Jak już zostało napisane, ładunki elektryczne, które wykonują dla nas pracę, są transportowane poprzez obwód elektryczny za pośrednictwem elektronów, ale wewnątrz samego ogniwa również odbywa się ruch ładunków elektrycznych, których nośnikiem są jony.

A zatem prąd elektryczny płynie również wewnątrz samego ogniwa.

Tutaj dochodzimy do pierwszego parametru, którym jest **rezystancja wewnętrzna ogniwa** – DCIR (direct current internal resistance), która w ogniwie li-ion waha się od kilku do kilkudziesięciu miliohmów [$m\Omega$]. To właśnie rezystancja wewnętrzna jest odpowiedzialna za przetworzenie części energii elektrycznej w energię ciepłą wewnątrz ogniwa, a więc za „grzanie się baterii”. Moc cieplna odpowiada równaniu: $P=I^2 \times R$, a więc rośnie liniowo wraz ze wzrostem rezystancji wewnętrznej, i wykładniczo wraz ze wzrostem prądu.

Wysokość napięcia na biegunach ogniwa jest odbiciem stanu nierównowagi wewnątrz tegoż ogniwa.

Stąd też jednym z kluczowych parametrów ogniwa jest **maksymalne natężenie prądu (I)** mierzone w amperach [A], które może przez te ogniwo przepłynąć. Krótkie impulsy prądowe nie zagrzeją ogniwa w takim samym stopniu jak jego ciągły przepływ, stąd w specyfikacji technicznej ogniwa zawsze mamy do czynienia z dwoma wartościami:

- ⚡ Maksymalne ciągłe natężenie prądu (maximum continous current)
- ⚡ Maksymalne chwilowe natężenie prądu (maximum peak current)

W celu zrozumienia kolejnego parametru ogniwa cofnijmy się do wcześniejszego opisu jego działania. Ładując nasze ogniwo, wychylamy je niejako z położenia równowagi. Po zamknięciu obwodu pomiędzy elektroda-

mi płyną elektrony oraz jony, które niosą ze sobą ładunki elektryczne. Gdy dostateczna ilość ładunków zostanie przetransportowana, ogniwo znów wraca do położenia równowagi, przez co napięcie między biegunami zanika. Widzimy zatem, że do rozładowania ogniwa potrzebujemy skończonej ilości ładunków. Tę ilość ładunków niezbędnych do rozładowania ogniwa nazywamy **pojemnością ogniwa**, a jej miarę kulombem [C], który jest równy amperosekundzie [As]. W praktyce użytkowej przeliczamy amperosekundę na amperogodzinę [Ah], która to jednostka widnieje na każdej tabliczce znamionowej pakietów akumulatorów.

Stosunek ładunku, który nie przepłynął jeszcze między elektrodami do całkowitego dostępnego ładunku nazywamy **poziomem naładowania ogniwa** (SoC – state of charge).

Warto tutaj zaznaczyć, że poziom naładowania ogniwa SoC nie mówi nam ile użytecznej energii elektrycznej pozostało w ogniwie! Tę jest określić bardzo trudno, gdyż w celu jej uzyskania należy pomnożyć pojemność ogniwa przez jego napięcie, a te drugie nie jest wartością stałą, nie przyjmuje też kształtu żadnej funkcji.

Przejdźmy zatem do samego **napięcia** pomiędzy biegunami ogniwa. Te mierzymy tradycyjnie w woltach [V], ale równie tradycyjnie jak to w przypadku ogniwa bywa, sprawa się szybko komplikuje.

Z racji tego, że przez samo ogniwo przepływa prąd elektryczny, napotykając na rezystancję wewnętrzną DCIR, napięcie ogniwa pod obciążeniem nie równa się napięciu ogniwa bez obciążenia. Stąd w przypadku ogniwa różniamy:

- ⚡ Napięcie obwodu otwartego (OCV – open circuit voltage)
- ⚡ Napięcie obwodu zamkniętego (CCV – close circuit voltage)

To właśnie mierząc różnicę pomiędzy OCV i CCV przy danym natężeniu prądu, jesteśmy w stanie wyliczyć rezystancję wewnętrzną (DCIR) ogniwa.

Napięcie ogniwa zmienia się wraz poziomem jego naładowania, zaś zależność ta nie poddaje się modelowaniu za pomocą funkcji matematycznej. Przebieg napięcia wyznacza się więc eksperymentalnie i jest on prezentowany jako **krzywa napięciowa** w funkcji SoC. Ogniwa o różnym składzie chemicznym będą różnić się przebiegiem krzywej napięciowej. Na podstawie przebiegu tej krzywej oblicza się zaś **napięcie nominalne** ogniwa (nominal voltage).

Gdy dostateczna ilość ładunków zostanie przetransportowana, ogniwo znów wraca do położenia równowagi, przez co napięcie między biegunami zanika.

Gdy pomnożymy napięcie nominalne ogniwa [V] przez jego pojemność [Ah], otrzymamy nominalną **energię ogniwa** [Wh].

W tym momencie należy wprowadzić wątek **okna stabilnej pracy** ogniwa, które musi zawierać się w określonych granicach napięciowych oraz temperaturowych. Po przekroczeniu określonych temperatur, bądź też wartości napięciowych, wewnątrz ogniwa zaczyna dochodzić do niezamierzonych reakcji chemicznych, przez co te ulega uszkodzeniu bądź całkowitemu zniszczeniu.

Dlatego kolejnymi kluczowymi parametrami ogniwa są:

- ⚡ Maksymalne napięcie ogniwa
- ⚡ Minimalne napięcie ogniwa

Z racji tego, że napięcie ogniwa zmienia się wraz z poziomem rozładowania, a moc ogniwa jest iloczynem napięcia i natężenia prądu, również moc ogniwa zmienia się wraz z poziomem rozładowania – będąc największą w momencie największego SoC.

Jak widać – im wyższe napięcie nominalne ogniwa, tym więcej użytecznej energii może ono pomieścić. Wśród ogniw li-ion najpopularniejszymi podtypami są:

- ⚡ NMC – napięcie znamionowe około 3,7 V
- ⚡ LFP – napięcie znamionowe około 3,2 V
- ⚡ LTO – napięcie znamionowe około 2,4 V

Już sam rzut oka na napięcia znamionowe pozwala stwierdzić, które z powyższych podtypów gromadzą najwięcej energii oraz które z nich są najbardziej niestabilne chemicznie...

No właśnie, a co oznaczają tajemnicze skróty NMC, LFP, LTO, LMO, LCO, NCA i inne?

To nic innego jak nieprecyzyjne, potoczne nazwy składów chemicznych poszczególnych ogniw, które wraz ze wzrostem zróżnicowania mają coraz mniejszą wartość informacyjną, a wprowadzają coraz więcej zamętu.

Przykładowo ogniwo NMC oznacza takie, w którym katoda składa się z tlenków litu, niklu, manganu i kobaltu. Ale proporcje trzech ostatnich pierwiastków różnią się, stąd wprowadzenie oznaczeń NMC₁₁₁, NMC₅₃₂, NMC₈₁₁ itd. Jednak skrót ten nie definiuje już np. budowy anody, dodatków zawartych w elektrolicie itd. Stąd też należy uważać, używając takich potocznych skrótowców, gdyż mogą być mylące.

Na koniec jeszcze jeden ważny parametr a mianowicie C-rate [C – nie mylić z Kulombem] lub [1/h]. C-rate jest to stosunek natężenia prądu ładowania/rozładowania ogniwa [A] w stosunku do jego pojemności [Ah]. Im C-rate jest większy, tym większe natężenie prądu może znieść dane ogniwo. C-rate jest bardzo przydatnym parametrem przy porównywaniu osiągnięć danego pakietu akumulatorów, choć przeciętnemu użytkownikowi wystarczy wartość mocy [P], ewentualnie natężenia prądu [A].



Moduł

Jeśli przyswoiliśmy wiedzę na temat ogniw, to dalej pójdzie już bardzo prosto.

Moduł składa się z jednego bądź kilku połączonych ogniw, zaopatrzonych w układ monitorowania, oraz zarządzania ich pracą.

Ogniwa możemy łączyć:

- ⚡ Szeregowo, przez co dodajemy ich napięcia
- ⚡ Równolegle, przez co dodajemy ich pojemności

Sposób połączenia ogniw w module opisujemy skrótami (x)**s** (y)**p**, gdzie s (serial) oznacza ilość ogniw podłączonych szeregowo, a p (parallel) – równolegle.

Przykładowo, jeśli mamy ogniwo o napięciu 2 [V] i pojemności 1 [Ah], to następujące moduły będą posiadały parametry:

- ⚡ 1s2p: 2 [V], 2 [Ah]
- ⚡ 2s2p: 4 [V], 2 [Ah]
- ⚡ 2s1p: 4 [V], 1 [Ah]
- ⚡ 3s2p: 6 [V], 2 [Ah]

Jak już wcześniej wspomniano ogniwa mają określone maksymalne i minimalne wartości napięciowe, oraz maksymalną wartość natężenia prądu, a zatem moduły są wyposażone w układy pomiaru napięcia ogniw oraz natężenia prądu.

Mierzone wartości są przesyłane do układu mikrokontrolerowego, który zawiera zaprogramowane instrukcje, sterujące pracą ogniw, np. poprzez rozłączenie układu po przekroczeniu minimalnego napięcia (rozładowaniu ogniwa).

Układ pomiarowy spięty z układem mikrokontrolerowym nazywamy **sterownikiem baterii**, choć w codziennym użyciu krąży nazwa **BMS** (battery management system).

BMS w swojej najprostszej postaci będzie posiadać następujące nastawy:

- ⚡ Maksymalne natężenie prądu ładowania i rozładowania [A]
- ⚡ Maksymalne napięcie – czyli napięcie odcięcia podczas ładowania (cutoff voltage – charge)
- ⚡ Minimalne napięcie – czyli napięcie odcięcia podczas rozładowania (cutoff voltage – discharge)

Taki bieda-BMS nie pozwoli na naładowanie ogniw powyżej 80% SoC, gdyż przy takiej wielkości SoC napięcie ogniwa osiąga maksymalną dopuszczalną wartość, ale nadal jest możliwe przesłanie 20% ładunków między elektrodami. Gdy jednak napięcie zostanie osiągnięte, BMS rozłączy obwód i proces ładowania zostaje zatrzymany.

Tutaj warto podkreślić: **to BMS – nie pakiet akumulatorów, bądź ładowarka odpowiada za ładowanie ogniw.**

Bardziej zaawansowany BMS zezwala na przepływ prądu elektrycznego po osiągnięciu maksymalnego napięcia. Z racji tego, że samo napięcie pozostanie już na stałym maksymalnym poziomie, wraz z przepływem kolejnych ładunków, natężenie prądu będzie maleć. Gdy to natężenie będzie dostatecznie małe, BMS rozpozna, że ogniwo zostało w pełni naładowane. Ten parametr nazywamy:

- ⚡ Minimalnym natężeniem prądu [A] – czyli prądem odcięcia (cutoff current – charge)

Faza ładowania, w której nastawą sterownika jest maksymalne natężenie prądu nazywamy fazą stałoprądową (CC – constant current), zaś fazę po osiągnięciu maksymalnego napięcia, nazywamy fazą stałonapięciową (CV – constant voltage).

Warto tutaj podkreślić, że wraz ze spadkiem prądu ładowania w fazie CV, maleje również moc ładowania, przez co ładując pakiet baterii prądem o wartości 1 [C], naładowanie go do 80% SoC zajmie nam 48 minut, a naładowanie pozostałych 20% zajmie jeszcze około dwóch godzin!

Ładowanie baterii powyżej 80% SoC wpływa również negatywnie na jej żywotność, toteż często BMS fabrycznie blokuje możliwość takiego ładowania.

BMSy profesjonalne oprócz monitorowania napięcia i prądu, poprzez zaawansowane algorytmy potrafią określić jaki jest poziom naładowania (SoC) modułu, a nawet określić jaki jest ich stan zdrowia (SoH – state of health), który jest stosunkiem maksymalnej dostęp-

Moduł składa się z jednego bądź kilku połączonych ogniw, zaopatrzonych w układ monitorowania, oraz zarządzania ich pracą.

nej pojemności ogniwa zdegradowanego, do pojemności ogniwa fabrycznie nowego.

Kolejną funkcją zaawansowanych BMS jest monitoring temperatury ogniw poprzez układy termistorowe, oraz odcinanie obwodów w chwili przekroczenia wartości granicznych temperatury.

BMSy mają również możliwość monitorowania parametrów poszczególnych ogniw w module i ich wzajemnego balansowania, by zapobiec przeladowaniu lub nadmiernemu rozładowaniu pojedynczych ogniw.

Moduł sam w sobie jest układem całkowicie wystarczającym do pełnienia funkcji akumulatora – stąd popularne battery banki czy baterie w rowerach elektrycznych to właściwie pojedyncze moduły.

Natomiast moduły wchodzące w skład większych zespołów – pakietów akumulatorów (battery pack) mają przede wszystkim złącze, którym łączą się z centralnym sterownikiem pakietu i poprzez protokół komunikacyjny przesyłają wszystkie zebrane oraz obliczone informacje do układu centralnego.



Pakiet akumulatorów (battery pack)

Pakiet akumulatorów to zbiór modułów połączonych ze sobą szeregowo bądź równolegle, za pośrednictwem wysokoprądowych szyn (busbarów), oraz wpiętych do centralnego sterownika pakietu.

W skład pakietu może wchodzić pokładowy **sterownik ładowania** (OBCM – on board charging module), który zawiera protokoły komunikacyjne, umożliwiające komunikowanie się z zewnętrzną ładowarką (EVSE – electric vehicle supply equipment), ale również i pokładowym przekształtnikiem czterokwadrantowym, umożliwiającym odzysk energii elektrycznej z silnika. To właśnie OBCM na podstawie odczytów z BMS określa plan ładowania pakietu, na który składa się przede wszystkim zapotrzebowanie prądowe, które jest przesyłane do ładowarki. Dobrym przykładem jest tutaj sytuacja w której odpalamy naszego elektryka w zimie i pomimo ustawienia rekuperacji na najwyższy poziom, auto wyraźnie „nie chce hamować” z taką intensywnością jak zwykle – to dlatego, że sterownik pakietu ogranicza prąd z powodu zbyt niskiej temperatury ogniw co wpływa na zwiększenie ich rezystencji wewnętrznej DCIR.

Pakiet posiada również **system zarządzania temperaturą** (TMS – temperature management system), który analizuje odczyty temperatury przesyłane przez BMS i bądź to chłodzi bądź też ogrzewa moduły za pośrednictwem

przepływającego w wężownicach medium, połączonych z nagrzewnicami lub chłodnicami.

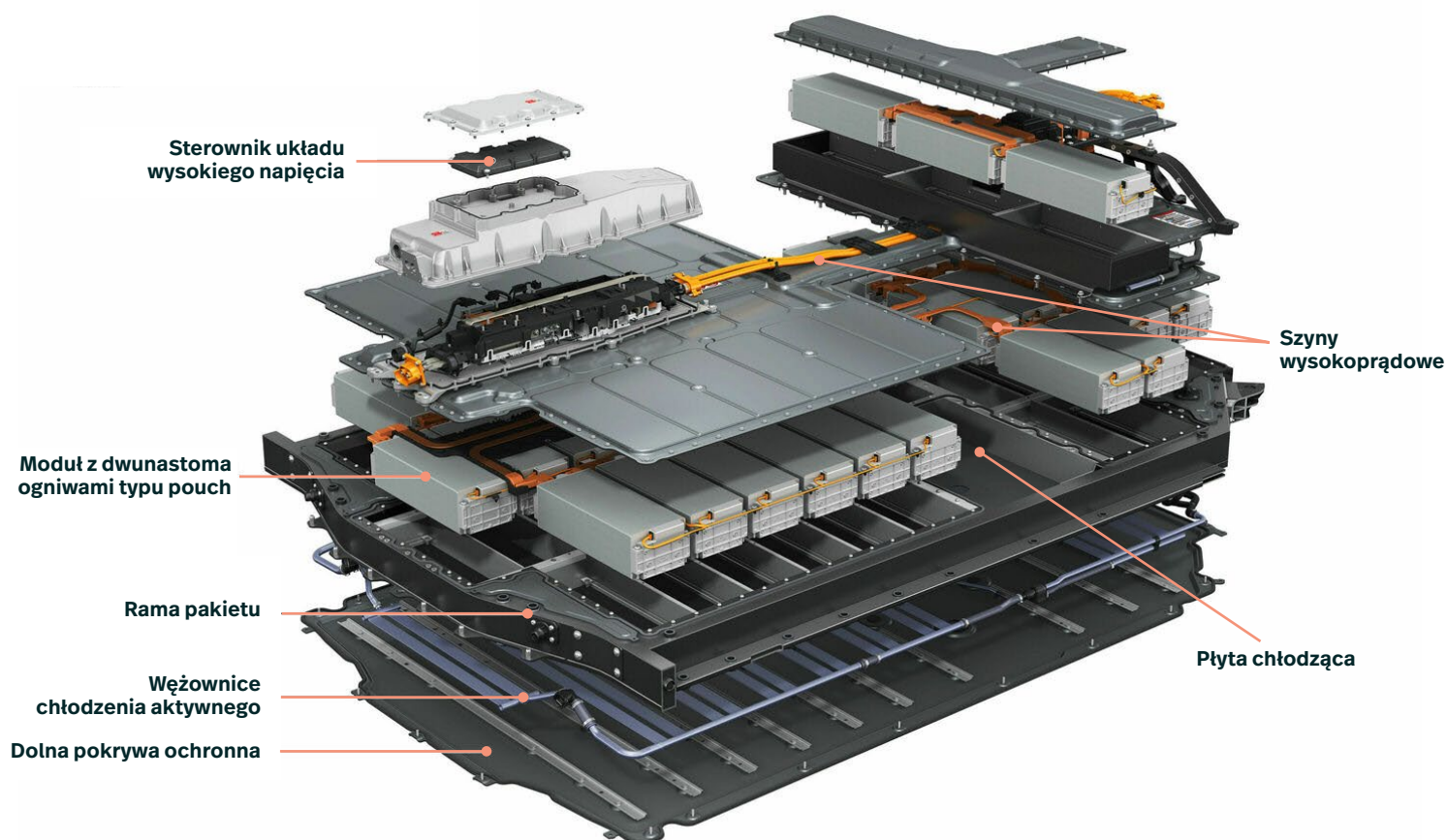
Pakiet posiada również złącza, a czasami i transmisję bezprzewodową za pośrednictwem których łączy się z komputerem pojazdu elektrycznego i finalnie z chmurą należącą do dostawcy pakietu, co pozwala na diagnostykę w czasie rzeczywistym i otrzymywanie aktualizacji.

Przykładowo w 2017 roku w czasie huraganu Irma, Tesla przestała szybką aktualizację do pojazdów zagrożonych huraganem, zmniejszając restrykcje nałożone na wybrane parametry pakietu, przez co zwiększył się ich

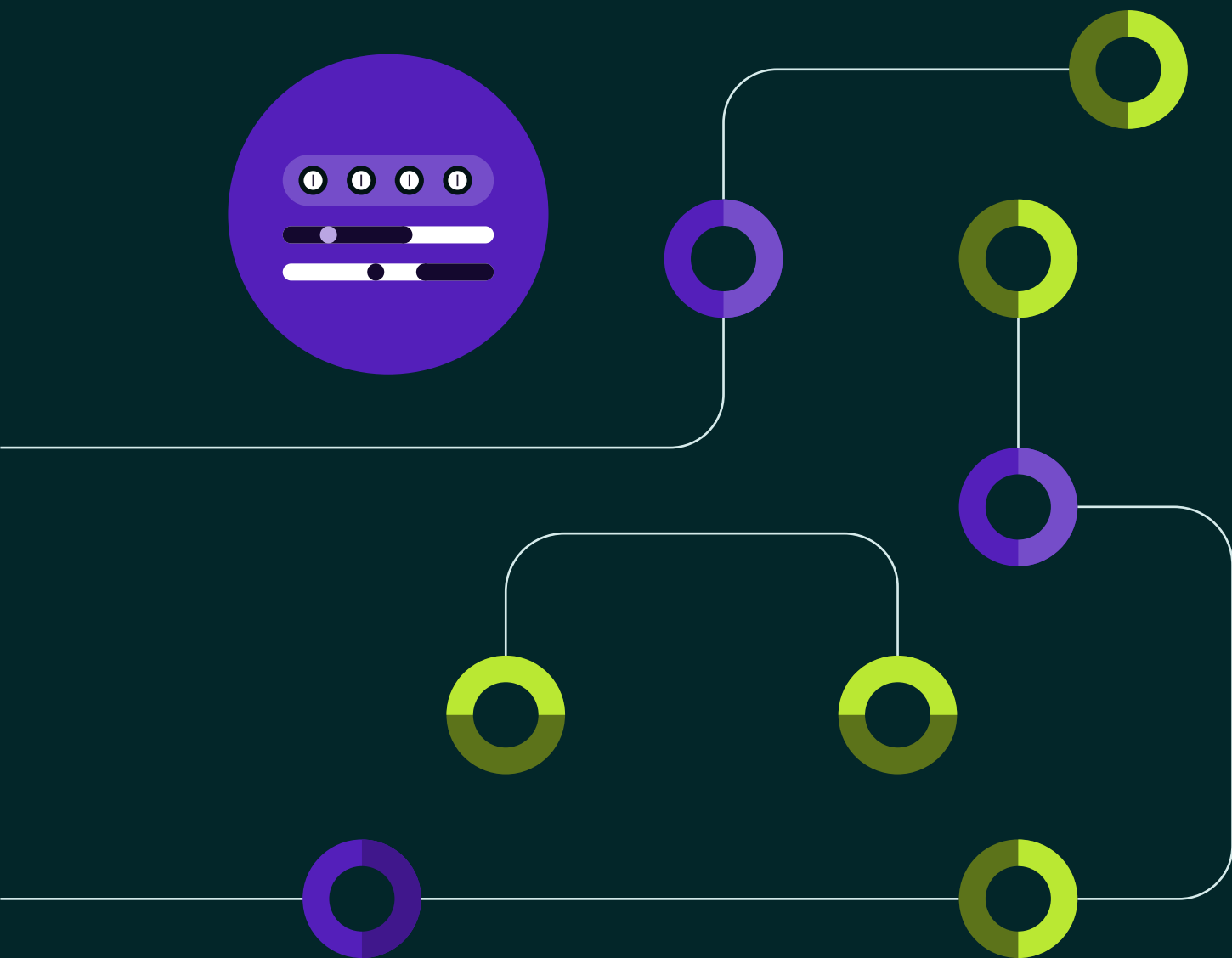
zasięg (oczywiście kosztem żywotności pakietów).

Na koniec warto nadmienić, że o ile napięcie znamionowe pojedynczego ogniwa NMC to zaledwie około 3,7 [V], to napięcia pakietów wynoszą około 400 [V] a nawet 800 [V], to też należy obchodzić się z nimi z największą ostrożnością.

Audi RS e-tron GT



Źródło: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/photos/detail/audi-rs-e-tron-gt-98555>



Łańcuch dostaw – czy wystarczy nam surowców ?



AUTOR: RAFAŁ BISZCZ

Często podnoszonym tematem w dyskusji na temat potencjału elektromobilności w skali globalnej jest zapotrzebowanie na surowce, w tym strategiczne.

Ich ograniczona dostępność i zasoby często podawane są jako podstawowa bariera dla upowszechnienia się pojazdów elektrycznych i technologii bateryjnej. Przyjrzyjmy się zatem nieco bliżej najważniejszym składnikom najbardziej obecnie popularnego jonowego ogniwa bateryjnego typu kieszeniowego (pouch) i z jakich materiałów/surowców są wytwarzane.

Materiał aktywny oraz domieszki

- ⚡ Dostarczane w workach w formie proszku
- ⚡ Służą do wyrobienia elektrod
- ⚡ Dla katody są to różne mieszanki np. NMC622, gdzie N – nikiel, M – mangan, C – kobalt, 622 – proporcja mieszanki
- ⚡ Dla anody jest to mieszanka grafitów naturalnego i syntetycznego
- ⚡ Domieszkowanie jest objęte ścisłą tajemnicą

N-Metylopirolidon (NMP)

- ⚡ Dostarczany w zbiornikach 1m³ lub beczkach
- ⚡ Służą do wyrobienia tzw. szlamu katodowego

Folia przewodząca

- ⚡ Dostarczana w formie rolek
- ⚡ Użytkowane są dwa rodzaje – miedziana dla anody i aluminiowa dla katody
- ⚡ Służą do wyrobienia elektrod
- ⚡ Grubości to około: Cu: 5-10µm Al: 10-15µm

Separator

- ⚡ Dostarczany w formie rolek
- ⚡ Używany do budowy ogniwa – oddziela anodę i katodę
- ⚡ Wykonany z tworzywa (np. PP) w formie taśmy z mikroskopijnymi porami, umożliwiającymi przepływ jonów
- ⚡ Produkt bardzo zaawansowany technicznie

Folia PET

- ⚡ Dostarczana w formie rolek
- ⚡ Używana do wytwarzania ogniwa – nie wchodzi jednak w jego skład
- ⚡ Służą do osłony elektrod podczas procesu laminacji
- ⚡ Użytkowane są dwa rodzaje – jedna do elektrod, druga do separatorów (pod wpływem temperatury separator przykleiłby się do zwykłej folii PET)

Taśma PET

- ⚡ Dostarczana w formie rolek
- ⚡ Używana do budowy ogniw ale również do procesu produkcyjnego
- ⚡ Używane różne szerokości – w zależności od procesu
- ⚡ Ważne by uzgodnić z odbiorcą kolor – systemy wizyjne mogą być ustawione pod konkretną barwę

Wyprowadzenia elektryczne

Występują dwa rodzaje:

- ⚡ dla anody są to blaszki miedziane powleczone niklem
- ⚡ dla katody są to blaszki aluminiowe
- ⚡ Wyprowadzenia mają naniesiony pasek z PP, służący do szczelnego zgrzania torebki ogniwa
- ⚡ Wyprowadzenia muszą nadawać się do spawania laserowego i ultradźwiękowego

Taśma izolacyjna poliestrowa

- ⚡ Dostarczana w formie rolek
- ⚡ Używana do zabezpieczania spoiny wprowadzeń ogniwa
- ⚡ Musi dobrze znosić temperaturę około 200°C (proces zgrzewania torebki pouch)

Elektrolit

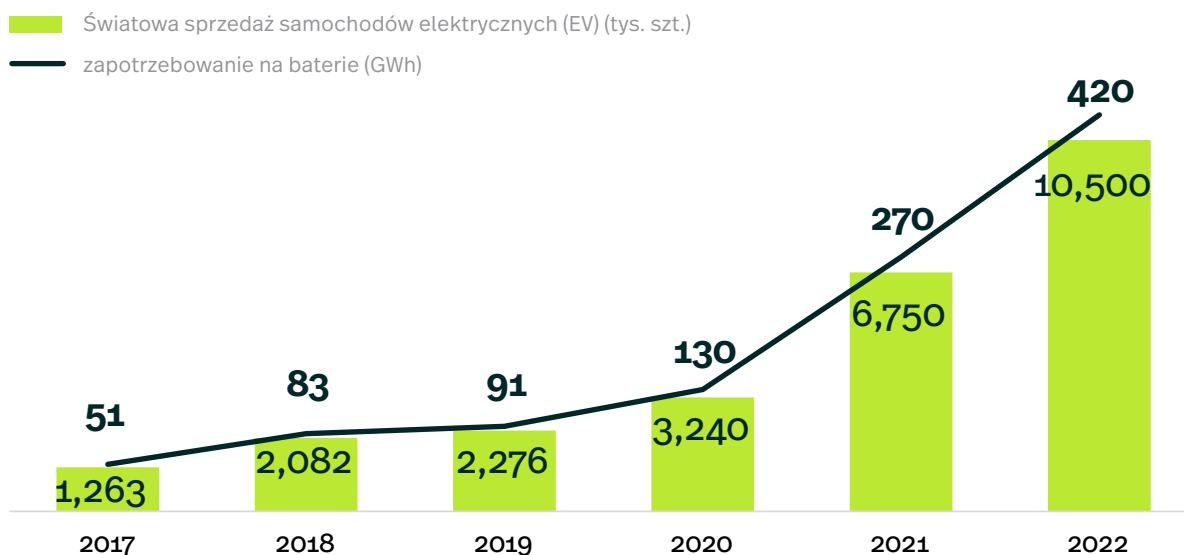
- ⚡ Dostarczany w formie płynnej w beczkach
- ⚡ Konieczność przechowywania w niskich temperaturach
- ⚡ Skład chemiczny (domieszki) jest objęty tajemnicą

Folia aluminiowa pouch

- ⚡ Dostarczana w formie rolek
- ⚡ Służy do tworzenia torebki mieszczącej całe ogniwo
- ⚡ Produkt kompozytowy z warstwami nylonu, PP oraz aluminium
- ⚡ Musi dobrze znosić tłoczenie w formie
- ⚡ Musi dobrze znosić temperaturę około 200°C
- ⚡ Wymagana duża adhezja warstw po zalaminowaniu

Sprzedaż samochodów elektrycznych nabiera rozpędu – i to pomimo kryzysu wywołanego pandemią koronawirusa, utrzymującego się niedoboru mikroprocesorów oraz problemów z zachowaniem ciągłości łańcuchów dostaw. Szczęólnego przyspieszenia doznała Europa, w której wynik sprzedaży wyniósł 2,683 tys., a więc niemal 1/3 wszystkich sprzedanych EV na świecie.

Światowa sprzedaż samochodów elektrycznych (EV) (tys. szt.) oraz ich szacowane zapotrzebowanie na baterie (GWh)



Źródło: Sprzedaż samochodów: <https://ev-volumes.com/>
pojemność baterii: opracowanie własne

Pojemności pakietów baterii trakcyjnych sprzedanych pojazdów różnią się od siebie znacznie, ale do celów szacunkowych można przyjąć, że typowy pakiet baterii trakcyjnej posiada pojemność 50 kWh. W ten sposób na podstawie ilości sprzedanych pojazdów dokonuje się szacunek zapotrzebowania na baterie. Warto w tym miejscu przypomnieć, że sama fabryka LG ES pod Wrocławiem na koniec 2021 r. miała teoretyczną szacowaną zdolność produkcyjną na poziomie 64,32 GWh – jednak jest to zdolność osiągnięta na koniec roku, a więc rzeczywista produkcja na pewno nie przekroczyła tej wartości.

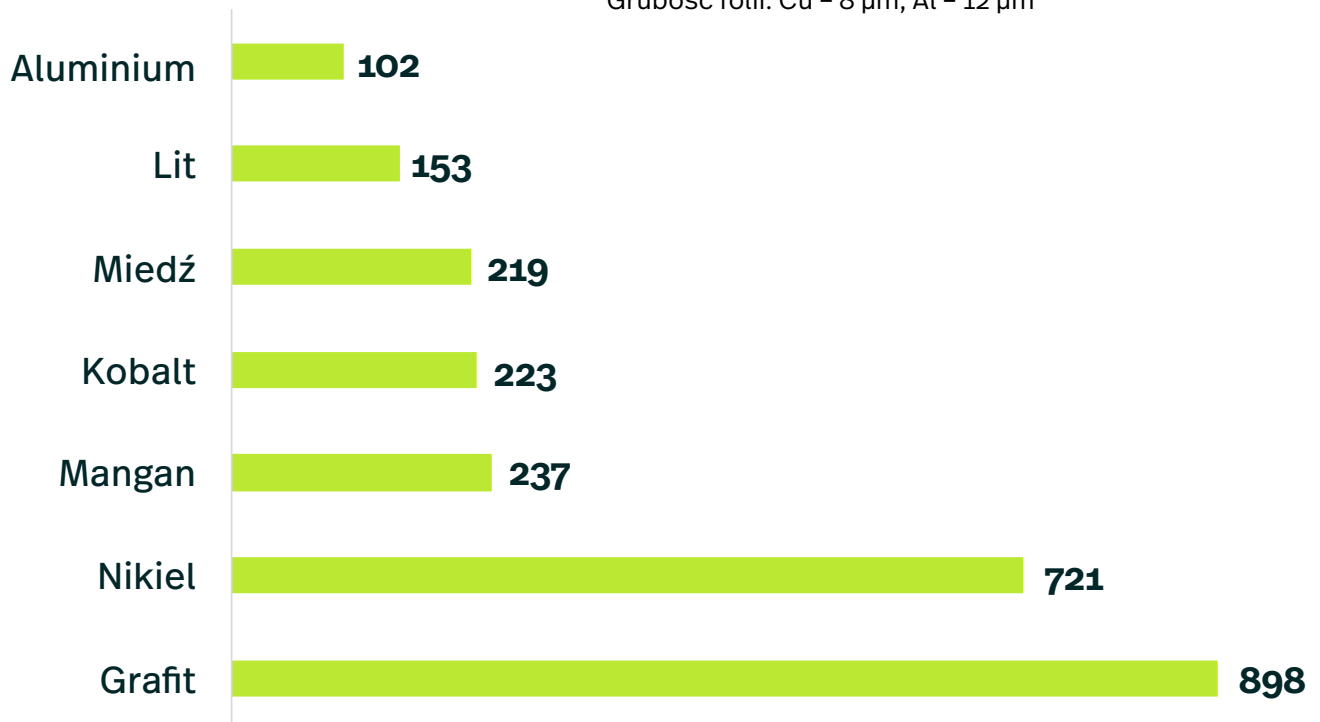
Na wykresie poniżej zobrazowano, ile megagramów danego pierwiastka jest niezbędne do wyprodukowania jednej gigawatogodziny pojemności ogniwa. Szacunki zostały przeprowadzone w stosunku do ogniwa a nie pakietów, by zminimalizować błąd szacunku. Ważnym jest, by pamiętać, że istnieje wiele różnych składów chemicznych ogniwa, toteż niniejszy szacunek odnosi się wyłącznie do

ogniwa opisanego na wykresie (NMC622). Niemniej jednak – przeliczenie prognozowanej sprzedaży EV na pojemność baterijną, tę zaś na masę poszczególnych pierwiastków, daje nam niezwykle przydatne narzędzie do analizy trendów na rynku surowcowym.

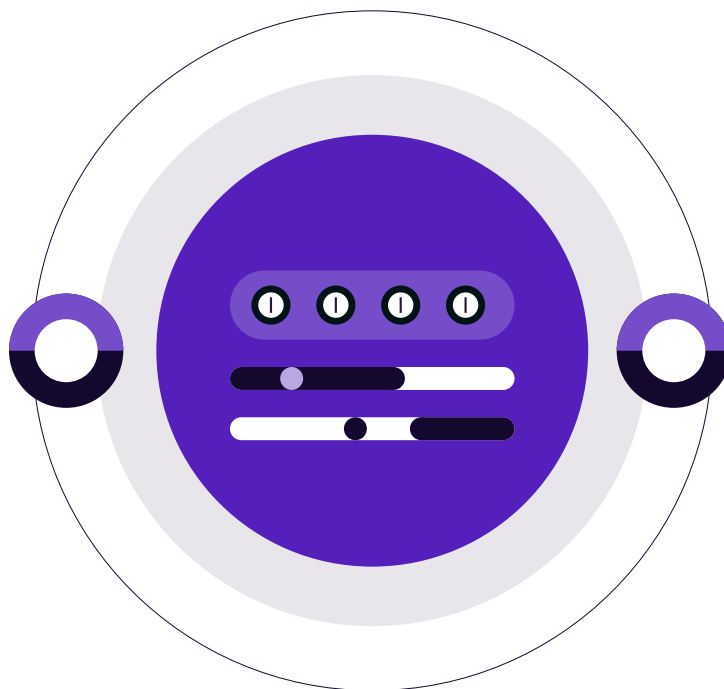
Istnieje wiele różnych składów chemicznych ogniwa, dlatego też nasze szacunki odnoszą się wyłącznie do typu ogniwa opisanego na wykresie.

Szacowana masa surowców potrzebnych do produkcji ogniw litowo-jonowych (Mg/GWh)

Oszacowanie dla ogniwa NMC 622; $\text{LiNi}_{0.6}\text{Mn}_{0.2}\text{CO}_{0.2}\text{O}_2$
Grubość folii: Cu – 8 μm , Al – 12 μm



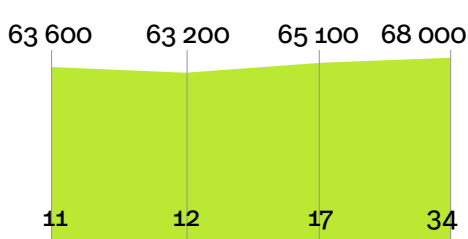
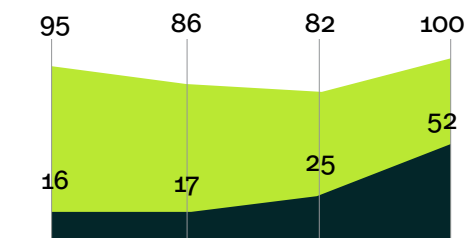
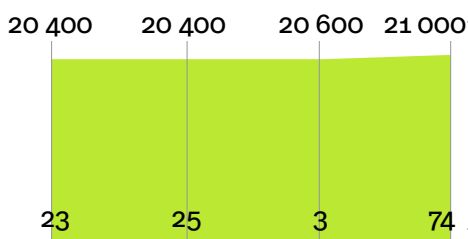
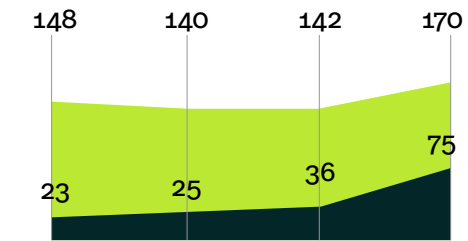
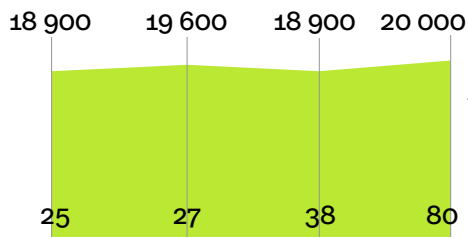
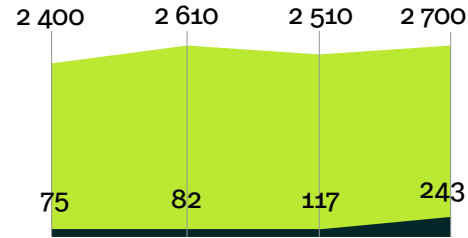
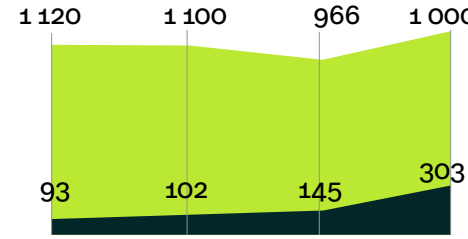
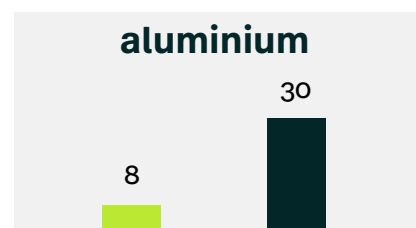
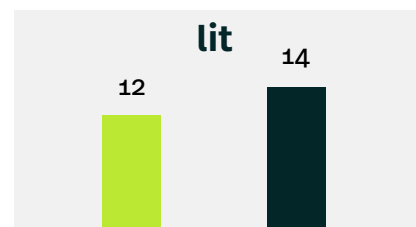
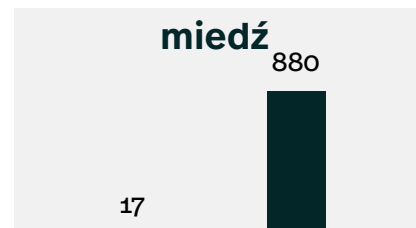
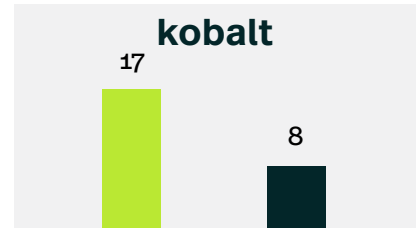
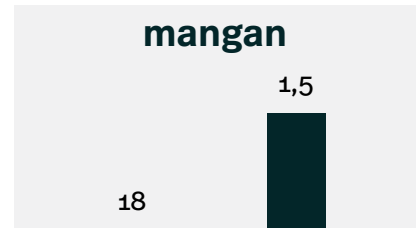
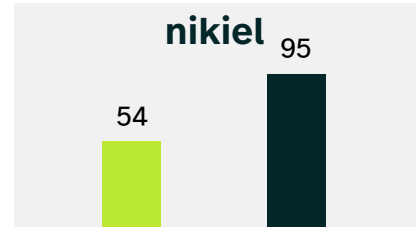
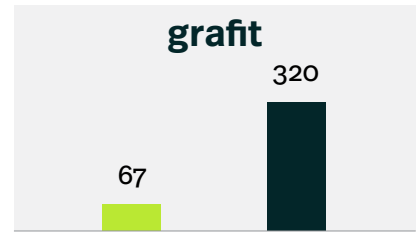
Źródło: Opracowanie własne



Produkcja światowa (tys. Mg)
Zapotrzebowanie (tys. Mg)

Szacowana masa surowców potrzebnych do produkcji ogniw litowo-jonowych (Mg/GWh)

zapotrzebowanie dla 1,5 miliarda EV (mln Mg)
udokumentowane rezerwy światowe (mln Mg)



Na wykresie po lewej stronie przeliczono sprzedaż samochodów elektrycznych w latach 2018-2021 na zapotrzebowanie na konkretne surowce (kolor ciemnozielony). Kolorem zielonym oznaczono zaś wydobycie danego surowca w tym samym okresie.

Na wykresach widać doskonale, że zwiększone zapotrzebowanie na baterie ma wpływ głównie na rynki: grafitu, kobaltu oraz litu. Na razie nie ma jednak zagrożenia, że podaż surowców nie zaspokoi popytu.

Wydobycie minerałów rządzi się swoimi prawami, dlatego decyzje inwestycyjne dotyczące uruchamiania danego wyrobiska nie są podejmowane z dnia na dzień. Niemniej jednak już dziś słyszy się o wielu nowych przedsięwzięciach górniczych – szczególnie w Czechach, gdzie znajduje się około 4% światowych zasobów litu.

Na potwierdzenie tezy, że surowców nie zabraknie, przeprowadzono symulację zapotrzebowania na surowce, potrzebne do zamiany wszystkich samochodów na świecie na elektryczne (wykres po prawej stronie), i zestawiono je z obecnie udokumentowanymi zasobami niezbędnych pierwiastków.

Jak widać, by zbudować baterie dla 1,5 miliarda samochodów elektrycznych, zabrakłoby jedynie kobaltu – dlatego właśnie obserwujemy masowe odchodzenie od tego pierwiastka w kierunku elektrod żelazowo-fosforowych (LFP).

W tej samej symulacji blisko zrównania zapotrzebowania i udokumentowanych zasobów jest również lit. Warto jednak pamiętać, że wraz z upływem czasu, udokumentowanych rezerw pierwiastków będzie przybywać. Lit również nie jest niezastąpiony – w 2021 roku koncern CATL zapowiedział wypuszczenie baterii opartej o jony sodu w miejsce litu – produkcja samplowa rozpoczęła się zaś w roku 2023 roku.

Jak widać, dziś nie ma najmniejszego zagrożenia, że zabraknie surowców do elektryfikacji transportu. Głosy, które podnoszą się w tej sprawie, płyną z niezrozumienia specyfiki branży górniczej, która po prostu nie jest w stanie dynamicznie dostosowywać podaży do gwałtownie zmieniającego się popytu.

Źródło danych geologicznych: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/>
Źródło zapotrzebowania baterijnego: opracowanie własne



Potencjał rynkowy technologii bateryjnej



AUTOR: RAFAŁ BISZCZ

Spróbujemy szczegółowo przyjrzeć się potencjałowi europejskiego rynku ogniw litowo-jonowych, oraz głównym motorom jego wzrostu. Dzięki temu będziemy w stanie lepiej odczytywać trendy i dostrzec przyszłe szanse biznesowe w branży.

Elektromobilność



POJAZDY OSOBOWE

W samej tylko Unii Europejskiej rocznie sprzedaje się 11,3 miliona samochodów osobowych. Przy założeniu, że energia gromadzona przez przeciętny pakiet akumulatorów to 50 kWh, daje to roczny potencjał rynkowy na poziomie 565 GWh rocznie, co – przy uwzględnieniu ceny 100 €/kWh – oznacza wartość rynkową na poziomie 56,5 miliarda Euro.



POJAZDY CIĘŻAROWE

Roczna sprzedaż pojazdów ciężarowych w Unii Europejskiej wynosi około 290 tysięcy. Rynek elektrycznych ciągników siodłowych i ciężarówek służących do przewozu towarów jest obecnie słabo rozwinięty, a zatem nie wyklarowała się jeszcze standardowa wielkość pakietu akumulatorów. Jeśli jednak przyjąć wielkość pakietu ciągnika Tesla Semi, który wynosi 850 kWh, to potencjał produkcyjny dla tej branży wynosi 246 GWh rocznie, co przekłada się na 24,6 miliarda Euro. Warto tu podkreślić, że obecnie rynek elektrycznych pojazdów ciężarowych jest na bardzo wczesnym etapie rozwoju, ten jednak przyspieszy w najbliższych latach wskutek wdrożenia dyrektywy AFIR.



AUTOBUSY

Choć elektryfikacja transportu w dużej mierze rozpoczęła się od autobusów, to w rzeczywistości rynek ten nie jest duży. W Unii Europejskiej rocznie sprzedaje się około 30 tysięcy autobusów rocznie. Przy średniej wielkości pakietu akumulatorów na poziomie 350 kWh daje to 11 GWh, co z kolei przekłada się na 1,1 miliarda Euro wartości rynkowej baterii dla tych pojazdów. Warto tu jednak zwrócić uwagę na to, że trendy w UE wskazują na wzrost znaczenia transportu publicznego, co może prowadzić do nieznacznego zwiększenia ilości sprzedanych autobusów.



POJAZDY SZYNOWE

Obecnie rynek ten jest zupełnie dziewiczy, jednak to właśnie pojazdy szynowe wydają się być idealnym kandydatem do wdrożenia zasilania baterijnego, choćby w miejsce obecnie stosowanych pojazdów dwutrakcyjnych, które są przeznaczone na trasy, których pokrycie siecią trakcyjną nie jest kompletne.

Kolejnym obszarem w który wpasowałoby się zasilanie baterijne są lokomotywy manewrowe, które dziś są pojazdami spalinowymi (podczas przetaczania wagonów korzystanie z sieci trakcyjnej jest niemożliwe). To właśnie do pracy manewrowej jest przeznaczona

pierwsza w Europie lokomotywa wodorowa od Pesy Bydgoszcz. Na obecnym etapie rozwoju trudno jest oszacować wartość rynku, ale warto podkreślić, że sama lokomotywa Pesy posiada zapas energetyczny na poziomie około 6 MWh, to daje perspektywę na potencjał tego rynku.



URZĄDZENIA TRANSPORTU OSOBISTEGO

Do UTO zaliczają się motocykle, skutery, rowery, hulajnogi, wózki i inne małe pojazdy. Sama sprzedaż motocykli i skuterów w Unii Europejskiej to około 350 tysięcy sztuk rocznie. Jeśli przeciętny pakiet akumulatorów to 3 kWh, to zapotrzebowanie wynosi 1,05 GWh. Widzimy zatem że jest to rynek niewielki. Jeśli nawet weźmiemy pod uwagę, że te dane nie obejmują hulajnóg, czy rowerów, to nie wydaje się, by rynek baterii do UTO przekroczył 2 GWh rocznie zapotrzebowania, co przekłada się na jego wartość w wysokości 0,2 miliarda Euro.



STATKI WODNE

Tutaj mamy do czynienia z kolejną branżą, która dopiero stawia pierwsze kroki. Warto przy tym podkreślić, że ciężar baterii w przypadku transportu morskiego ma znacznie mniejsze znaczenie, niż w przypadku transportu lądowego, gdyż ładowności statków wodnych są znacznie większe od tych znanych z transportu lądowego. Wprowadzanie zasilania baterijnego jest więc ograniczone głównie przez czynniki ekonomiczne, gdyż wymagane są tu wielkie pojemności pakietów akumulatorów, co z kolei przekłada się na koszt zakupu ogniw.

Baterie mają jednak niewątpliwie miejsce w małych jednostkach, pływających po rzekach bądź jeziorach. Już dziś na wielu akwenach obowiązują ścisłe normy związane z emisją hałasu, co wyłącza łodzie spalinowe z dostępu do tych wód.

Na tym etapie nie pokusimy się o oszacowanie wielkości rynku, ale warto tę branżę obserwować.



STATKI POWIETRZNE

Podobnie jak w przypadku swoich wodnych odpowiedników, dziś bardzo trudno oszacować rynek pojazdów latających. Jeśli chodzi o samoloty pasażerskie, to poza demonstratorami technologii, nie ma obecnie komercyjnych rozwiązań, które spełniałyby swoją funkcję. Według ekspertów zajmujących się konstruowaniem samolotów, baterie mogą stać się źródłem zasilania, gdy przekroczą grawimetryczną gęstość energii na poziomie 500 Wh/kg.

Inna sytuacja panuje na rynku dronów, czyli statków bezzałogowych. Już dziś baterie zasilają tego typu pojazdy, co widać szczególnie po zastosowaniach wojskowych. Silnik elektryczny oraz baterie mają niską sygnaturę termiczną, co utrudnia ich wykrycie i namierzenie środkami naprowadzanymi na promieniowanie podczerwone. Pakiety akumulatorów dla dronów mają wielkość od kilkudziesięciu Wh do nawet kilku kWh. Biorąc popularny pakiet 12s o pojemności 22 Ah i napięciu 44,4 V i zakładając roczną produkcję takich dronów na milion sztuk, otrzymujemy zapotrzebowanie na poziomie około 1 GWh rocznie. W przypadku pojazdów latających bardzo ważna jest gęstość energii, toteż wysokojakościowe ogniwa mogą kosztować znacznie więcej niż rynkowa średnia, co podnosi wartość tego rynku.



POJAZDY SPECJALNE I MASZYNY ROLNICZE

Pojazdami specjalnymi zasilanymi bateryjnie mogą być: koparki, podnośniki, ogromne wywrotki wożące urobek w kopalniach odkrywkowych, czy wozy odstawcze i kotwiarki pod ziemią. Warto tu wspomnieć o tym, że w kopalniach głębinowych, takich jak KGHM niska sprawność silnika spalinowego stanowi dodatkowy, ogromny koszt. Ciepło odpadowe oraz spalina trzeba odprowadzać za pomocą kosztownych wyciągów, zaś w te miejsce należy pompować duże ilości świeżego powietrza, by silniki spalinowe w ogóle mogły pracować.

Warto tu podkreślić, że na świecie są już stosowane wywrotki elektryczne, które zwożą urobek z kopalni na wzniesieniu, zrzucają go i powracają na górę „na pusto”, co sprawia, że dzięki rekuperacji energii przy zjeździe w dół, pojazdy te poruszają się bezkosztowo jeśli idzie o energię elektryczną.

Pokaźnym segmentem pojazdów specjalnych będą również w przyszłości wózki widłowe i samojezdne pojazdy transportowe (AMR, AGV).

Bardzo ważnym obszarem, zwłaszcza w obliczu dynamicznego wzrostu udziału energii elektrycznej wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii, jest kwestia magazynowania energii. Tutaj technologia bateryjna będzie pełnić ważną rolę przy magazynowaniu w okresie nadprodukcji i oddawania energii w okresach jej niedoboru w systemie. Rynek magazynów energii opartych na pakietach bateryjnych ma **zatem wysoki potencjał rozwoju.**

Rynek bateryjnych magazynów energii można podzielić na trzy zasadnicze kategorie:

MAGAZYNY PRZYDOMOWE

Najczęściej o wielkości od kilku do kilkunastu kWh. Umożliwiają przejście domu w zasilanie off-grid w przypadku zaniku energii elektrycznej w sieci. Takie magazyny sprawdzają się jako uzupełnienie przydomowych instalacji fotowoltaicznych, chroniąc prosumenta przed zjawiskiem curtailmentu, czyli odcinania generacji OZE w chwilach nadprodukcji energii elektrycznej, bądź niemożności odbioru energii przez sieć dystrybucyjną. Wraz z taryfą dynamiczną energii elektrycznej magazyn energii umożliwia zarabianie na spreadach cenowych wynikających z nierównowagi zapotrzebowania oraz generacji energii elektrycznej. Cykl pracy może wyglądać następująco: ładowanie nocne, rozładowanie w porannym szczycie zapotrzebowania, ładowanie dzienne, rozładowanie w wieczornym szczycie zapotrzebowania.

MAGAZYNY NA POZIOMIE SIECI DYSTRYBUCYJNEJ

Ten rodzaj magazynów ma wielkość kilku MWh i może być alternatywą dla rozbudowywania zdolności przesyłowych sieci dystrybucyjnej w miejscach, gdzie występują okresowe nadwyżki energii np. wskutek nagromadzenia instalacji fotowoltaicznych na osiedlach domków jednorodzinnych. Taki magazyn może odbierać nadwyżkę energii z sieci, co zapobiegnie wzrostowi napięcia i w konsekwencji wyłączenia falowników pobliskich instalacji.

W przyszłości magazyny energii mogą też umożliwić zakładom przemysłowym na instalację fotowoltaiki o mocy przewyższającej moc przyłączeniową, pod warunkiem gwarancji nie wprowadzenia energii do sieci elektroenergetycznej.

Magazyn energii może również służyć do obniżenia mocy przyłączeniowej dla odbiorców, którzy potrzebują jej jedynie cyklicznie (np. rozgrzewanie elektrycznie ogrzewanych komór lakierniczych).

DUŻE MAGAZYNY SYSTEMOWE

W tym przypadku magazyny takie zarabiają na dwa sposoby: na spreadzie cenowym za energię elektryczną (podobnie jak w przypadku magazynów przydomowych), ale również na gotowości dostarczenia mocy na polskim rynku mocy, bądź jednym z jego europejskich odpowiedników.

Magazyny energii są dopuszczone do aukcji na polskim rynku mocy pod warunkiem przekroczenia mocy 2MW oraz gotowości do nieprzerwanego dostarczania energii elektrycznej przez minimum cztery godziny, co daje minimalny rozmiar magazynu na poziomie 8 MWh.

Obecnie największym budowanym magazynem energii w Europie jest niemiecki projekt Kyon Energy, budowany w Alfeld, Dolna Saksonia. Magazyn ten będzie miał moc 137,5 MW i zgromadzi 275 MWh energii elektrycznej.

Próba oszacowania wielkości rynku magazynów energii

Powyżej opisaliśmy poszczególne typy magazynów energii, jeśli jednak idzie o próbę oszacowania wielkości tego segmentu rynku, sytuacja się komplikuje. Istnieje wiele takich prognoz, ale ich rozpiętość sprawia, że trudno wyciągnąć konstruktywne wnioski.

Spróbujmy więc odnieść się do jakichś danych, które są pewne. Będzie to fundament dla przyszłych rozważań oraz przewidywań.

Praktycznie cały obszar UE znajduje się we wspólnym systemie elektroenergetycznym ENTSO-E. Jest to największy zintegrowany obszar elektroenergetyczny na świecie.

W 2022 roku zapotrzebowanie szczytowe sieci ENTSO-E wyniosło 441 GW. Jeśli zgodnie z wymaganiami polskiego rynku mocy założymy, że magazyny energii powinny podtrzy-

mać działanie sieci przez cztery godziny, to otrzymujemy zawrotną energię w wielkości 1764 GWh! Jeśli jednak założymy, że magazyny te będą budowane stopniowo, oraz to, że ich deprecjacja potrwa około 15 lat, to otrzymamy zapotrzebowanie roczne na poziomie 118 GWh.

Oczywiście można zadać pytanie: dlaczego bierzemy pod uwagę zapotrzebowanie szczytowe, a nie średnioroczne, dlaczego z przeszłości, zamiast prognozować przyszłe moce, wreszcie dlaczego magazyn ma podtrzymać działanie sieci przez cztery a nie np. osiem godzin. I te wszystkie pytania są zasadne, dlatego my w tym artykule opisujemy nasze założenia, by można było w łatwy sposób zmodyfikować je zgodnie z własnym uznaniem.

Na koniec nie zapominajmy o obszarach zwyczajowo pomijanych w dyskusji o potencjale rynkowym technologii baterijnej. To smartfony, z których korzysta praktycznie każdy z nas, elektronarzędzia i inne obszary.



SMARTFONY

Rocznie w Unii Europejskiej sprzedaje się około 120 milionów smartfonów, co przy baterii o wielkości 20 Wh daje 2,4 GWh wymaganych mocy produkcyjnych.

Warto tutaj podkreślić, że baterie do smartfonów są znacznie droższe od ich odpowiedników z branży automotive, toteż wartość rynku jest nieproporcjonalnie duża.

Ciekawostką jest to, że ogniwa typu pryzmatycznego i pouch powstały właśnie jako odpowiedź na wyzwania płynące z rynku telefonów przenośnych, które wraz z kolejnymi generacjami robiły się coraz cieńsze.



NARZĘDZIA ELEKTRYCZNE

W tym przypadku żadnych wiarygodnych danych dotyczących zapotrzebowania na baterie nie ma, ale warto o tym rynku pamiętać, szczególnie że wraz ze wzrostem gęstości energii ogniw oraz spadkiem ich cen, baterie będą zasilać coraz więcej urządzeń, które dziś rzadko z tego korzystają – kosiarki, podkaszarki, bądź sprzęt AGD.



INNE

Wśród tej kategorii znajdują się powerbanki, zasilanie awaryjne układów elektrycznych i inne urządzenia elektryczne.

Na koniec spróbujemy szczegółowo przyjrzeć się potencjałowi europejskiego rynku ogniw litowo-jonowych, oraz głównym motorom jego wzrostu. Dzięki temu będziemy w stanie lepiej odczytywać trendy i dostrzec przyszłe szanse biznesowe w branży.

Szczegółowa analiza europejskiego potencjału rynkowego dla baterii

Elektromobilność → 823 GWh

	Pojazdy osobowe	→	11,3 mln * 50kWh = 565 GWh
	Pojazdy ciężarowe	→	0,29 mln * 850kWh = 246 GWh
	Autobusy	→	0,03 mln * 350kWh = 565 GWh
	Pojazdy szynowe	→	?
	Urządzenie transportu osobistego	→	0,35 mln * 3kWh = 1 GWh
	Statki nawodne	→	?
	Statki powietrzne	→	?
	Pojazdy specjalne i maszyny rolnicze	→	?

Magazynowanie energii elektrycznej → 118 GWh

Magazyny przydomowe	}	→	441 mln * 4h/15 lat = 118 GWh
Magazyn na poziomie sieci dystrybucyjnej			
Duże magazyny systemowe			

Elektronika użytkowa → 2,4 GWh

	Smartfony	→	120 mln * 20kWh = 2,4 GWh
	Narzędzia elektryczne	→	?
	Inne	→	?

Potencjał rynku wynosi:

943,4GWh * 100€ / kWh = 94,3 miliarda euro



Recykling akumulatorów litowo-jonowych



AUTOR: RAFAŁ BISZCZ

Podczas rozmów o szeroko pojętej elektromobilności, gdy temat schodzi na źródło napędu pojazdów elektrycznych w formie akumulatorów, sceptycy podnoszą problem utylizacji zużytych ogniw, które rzekomo pełne są toksycznych związków i stanowią ogromne zagrożenie dla środowiska.

Wizja rozrzuconych po lasach zużytych baterii jest serwowana przez różnej maści siewców paniki, a rzetelnych informacji próżno szukać w obiegu medialnym. Przyjrzymy się zatem nieco bliżej temu, co dzieje się z pakietami baterijnymi, których pojemność spadnie poniżej akceptowalnego poziomu, tj. poniżej 70% pojemności fabrycznej. Zobaczmy jak wygląda sytuacja obecnie oraz jaka będzie przyszłość.

1. Proces degradacji ogniw

Niezależnie od sposobu użytkowania, każde ogniwo zostanie kiedyś wyeksploatowane, co wynika z zachodzących weń reakcji chemicznych, oraz obciążeń mechanicznych. Najpowszejszym mechanizmem degradacji ogniw jest przechodzenie jonów litu z elektrolitu do warstwy pasywacyjnej na powierzchni anody, co prowadzi do spadku pojemności ogniw i wzrostu rezystancji wewnętrznej DCIR. Ogniwo degraduje się nawet, gdy nie jest w ogóle użytkowane – stąd w notach katalogowych podaje się parametr „calendar life”, co oznacza wyeksploatowanie w funkcji czasu użytkowania. Natomiast podczas użytkowania ogniw degradacja naturalnie przyspiesza, co opisuje parametr „cycle life”, wyeksploatowanie w funkcji cykli ładowania-rozładowania.

Stopień degradacji ogniw opisujemy parametrem SoH (state of health), który otrzymujemy przez podzielenie aktualnej pojemności ogniw przez jego pojemność w chwili opuszczenia linii produkcyjnej. Wraz ze spadkiem SoH mamy do czynienia nie tylko ze spadkiem pojemności ogniw, ale również ze wzrostem rezystancji wewnętrznej DCIR, co z kolei zmniejsza sprawność ogniw i prowadzi do zwiększenia strat energii w postaci ciepła, co obciąża układ chłodzenia pakietu akumulatorów.

Jeśli wartości prądowe dla danego pakietu nie ulegną zmianie, w pewnym momencie rezystancja wewnętrzna może stać się na tyle duża, że TMS (temperature management system) nie będzie już w stanie utrzymać pakietu w zakresie temperatur bezpiecznych, co zakończy się awaryjnym rozłączeniem zasilania.

2. Systemowe przedłużenie czasu życia ogniw

Zacznijmy więc od odpowiedzi na pytanie, co oznacza, że ogniwo zostało wyeksploatowane?

Większość producentów samochodów uznaje pakiet za wyeksploatowany, gdy jego SoH spadnie poniżej 80%. Jest to spowodowane głównie obawą o zagrzewanie się ogniw wraz ze wzrostem rezystancji wewnętrznej.

Obecnie producenci udzielają nieco innych warunków gwarancyjnych na pakiety akumulatorów w zależności od ich typu, obejmujących zarówno gwarantowany okres użytkowania zanim pojemność spadnie do poziomu 80% jak również gwarantowaną liczbę cykli ładowania. Przykładowo takie warunki gwarancyjne wyglądają następująco:

OKRES UŻYTKOWANIA

- ⚡ NMC – 2 lata do 80% SoH
- ⚡ LFP – 3 lata do 80% SoH
- ⚡ LTO – 5 lat do 80% SoH

LICZBA CYKLI ŁADOWANIA

- ⚡ NMC – 700 cykli do 80% SoH przy DoD 100%
- ⚡ LFP – 1200 cykli do 80% SoH przy DoD 100%
- ⚡ LTO – 3000 cykli do 80% SoH przy DoD 100%

Oczywiście są to wartości orientacyjne, które zależą od prądów ładowania, temperatury itd. Pozwalają jednak złapać pewną perspektywę.

Jednak istnieje możliwość ograniczenia przez BMS mocy pakietu wraz ze spadkiem SoH, co pozwala utrzymać temperaturę pakietu w pożądanym zakresie.

W takim wypadku pakiet można użytkować w dalszym ciągu. Jedynymi niedogodnościami będą wtedy spadek zasięgu pojazdu (spowodowany spadkiem pojemności pakietu) oraz spadek przyspieszenia pojazdu i maksymalnej mocy ładowania (wskutek ograniczenia maksymalnego natężenia prądu podawanego, bądź pobieranego z ogniwa).

3. Zmiana zastosowań pakietu akumulatorów

Przychodzi jednak moment, w którym użytkowanie danego pakietu w pojeździe staje się nieakceptowalne z uwagi na spadek jego parametrów o których wcześniej mówiliśmy. Czy w tym momencie wrzucamy go na śmietnik lub do lasu? W żadnym wypadku!

Już obecnie za taki pakiet można otrzymać nawet 50% jego początkowej wartości, gdy sprzedamy go firmie zajmującej się tzw „repurposing” czyli zmianą zastosowania.

Co ciekawe, w najnowszym rozporządzeniu baterijnym Unia Europejska zastrzegła, że każdy układ zarządzania baterią (BMS) ma posiadać możliwość zmiany przeznaczenia pakietu akumulatorów wraz z systemowym resetem licznika cykli ładowania. Nie będzie więc sytuacji, w której producenci systemowo blokują możliwość ponownego zastosowania pakietów akumulatorów, co uczyniłoby je bezużytecznymi.

Oczywiście naturalnym zastosowaniem pakietów odzyskanych z pojazdów są stacjonarne magazyny energii, które pracują w zupełnie innym reżimie prądowym. Wartość C-rate dla magazynu energii to zazwyczaj poniżej 0,25 C, co oznacza czterogodzinne ładowanie i rozładowanie:

- ⚡ Ładowanie nocne: 22:00-6:00
- ⚡ Rozładowanie w szczycie porannym: 6:00-10:00
- ⚡ Ładowanie z fotowoltaiki: 10:00-18:00
- ⚡ Rozładowanie w szczycie wieczornym: 18:00-22:00

Tako rzecz się teoria, ale czy w praktyce możemy spotkać magazyny energii zbudowane ze zdemontowanych z pojazdów pakietów akumulatorów? Oczywiście! Przykładowo poniższa ilustracja obrazuje magazyn energii o wielkości 4 MWh, zbudowany przez firmę B2U z Kalifornii ze 160 pakietów zdemontowanych z Nissanów Leaf.

Większość producentów samochodów uznaje pakiet za wyeksploatowany, gdy jego SoH spadnie poniżej 80%.



Podobne projekty spotkamy również w Polsce. Tauron zbudował stacjonarny magazyn energii, stabilizujący pracę lokalnej sieci dystrybucyjnej, zbudowany z pakietów bateryjnych wymontowanych z pierwszych elektrycznych Solarisów, które wyjechały na drogi Jaworzna w 2015 roku. Magazyn ma pojemność 150kWh i jest w stanie oddawać moc 150kW.



W takim reżymie pracy, pakiety mogą pracować praktycznie do ich całkowitego wyeksploatowania, co w praktyce oznacza SoH w okolicach 40-50%.

Można by je eksploatować i dłużej, ale w pewnym momencie znów opłacalniej jest je wymienić na „nowe”, czyli świeżo wymontowane z pojazdów.

Oczywiście wymienione zostaną same pakiety akumulatorów, podczas gdy cała kosztowna elektronika z drogocennymi falownikami – raz zakupione będą służyć przez dziesiątki lat.

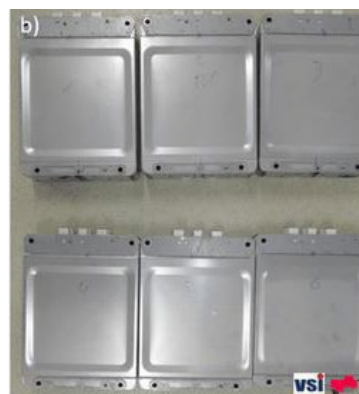
Czy to oznacza, że za tak wyeksploatowany pakiet nadal otrzymamy pieniądze, czy może będziemy musieli zapłacić za jego utylizację? Okazuje się, że wartość surowców zawartych w ogniwach jest na tyle duża, że za kompletnie wyeksploatowany pakiet wciąż otrzymamy do 5% jego pierwotnej wartości. Specjalistyczna firma przyjedzie, odbierze i wypłaci nam pieniądze na konto.

4. Recykling

Wreszcie dochodzimy do momentu, w którym pakiet akumulatorów zostaje wycofany z użytkowania i trafia do zakładu recyklingowego. Pierwszym krokiem jest jego całkowite rozładowanie, a następnie wstępna rozbiórka.

Aluminiowa rama, rurki, pokrywy z tworzywa, śruby, kable, szyny wysokoprądowe, złącza, oraz komponenty elektroniczne są demonstrowane ręcznie oraz wysyłane do standardowej przeróbki. Recykling tych elementów znany jest już dekad, wszak każdy samochód – elektryczny czy nie, posiada elektronikę, przekaźniki a nawet małe silniki elektryczne.

Gdy wstępna rozbiórka zostanie ukończona, z pakietu akumulatorów wyciągane są poszczególne moduły zawierające ogniwa. Ze względu na to, że rozmiar i budowa modułów nie są ustandaryzowane, nieopłacalna jest ich dalsza rozbiórka, toteż całe moduły są poddawane przeróbce mechanicznej.



W niedalekiej przyszłości wymienione będą same pakiety akumulatorów, podczas gdy cała kosztowna elektronika z drogimi falownikami pozostaje – raz zakupione będą służyć przez dziesiątki lat.

4.1. PRZERÓBKA MECHANICZNA MODUŁÓW/OGNIW

Po przetransportowaniu modułów do hali przeróbki mechanicznej, dla bezpieczeństwa raz jeszcze podłącza się je do rozładowania, by pozbyć się resztkowego napięcia. Następnie moduły są wrzucane do kruszarki, gdzie następuje ich wstępne rozdrobnienie.

Poprzez zastosowanie kombinacji urządzeń rozdrabniających i klasyfikujących, finalnym produktem przeróbki mechanicznej są następujące frakcje:

⚡ Czarna masa, zawierająca materiały aktywne obu elektrod oraz lit (anody i katody)

⚡ Tworzywo sztuczne z separatora, obudów, uszczelki itd.

⚡ Aluminium z obudów oraz z katody (na folii z tego materiału powleka się materiał aktywny)

⚡ Miedź z anody (taka sama sytuacja jak w przypadku katody)

⚡ Stal z obudów ogniw (nie zawsze występuje – zazwyczaj używa się aluminium)

Im proces przeróbki mechanicznej jest dokładniejszy, tym czystsze frakcje udaje się uzyskać, co wpływa na całościową efektywność ekonomiczną recyklingu.

4.2. RECYKLING POSZCZEGÓLNYCH FRAKCJI

Zacznijmy od miedzi, aluminium i stali, gdyż w ich przypadku dalszy proces jest bardzo prosty. Frakcje te wysyła się bezpośrednio do hut złomowych, gdzie są przetapiane na czyste metale.

Jeśli chodzi o tworzywa sztuczne, to ich recykling wygląda podobnie jak w przypadku innych produktów z tworzyw, czyli problematycznie. Polimery są oczywiście długimi łańcuchami węglowodorów, a zatem zawsze można je użyć jako paliwo w spalarniach, ale znane są również przypadki, w których po oczyszczeniu można z nich wytworzyć np. filament do druku 3D. Warto tu podkreślić, że na poziomie modułu, tworzywa sztuczne stanowią około 1% udziału wagowego, a więc nawet w przypadku skrajnym, czyli przy umieszczeniu tworzyw na składowisku odpadów, nie będą one stanowiły dużej ilości.

Finalnie dochodzimy do najważniejszej frakcji z przeróbki mechanicznej, czyli czarnej masy. Pod tą tajemniczą nazwą kryje się mieszanka wielu różnych materiałów:

⚡ Materiały aktywne obu elektrod (ponad 90% masy frakcji)

⚡ Domieszki przewodzące obu elektrod (głównie sadza, około 2% masy frakcji)

⚡ Lepiszcząca obu elektrod (PVDF – polifluorek winylidenu, CMC – karbometyloceluloza, około 3% całej frakcji)

⚡ Pozostałości elektrolitu, tlenki litu, lit metaliczny (poniżej 1%)

⚡ Wtrącenia z innych frakcji (aluminium, miedź itd., całość do 4%)

Oczywiście najważniejszą podfrakcją będą materiały aktywne, które będą się różnić w zależności od stosowanej chemii ogniw.

Wymieńmy główne składniki trzech najpopularniejszych stosowanych typów ogniw:

NMC

⚡ Anoda – grafit z możliwymi lekkimi domieszkami krzemu

⚡ Katoda – tlenki niklu, manganu i kobaltu o różnych proporcjach (o proporcji tych metali mówi nam typ ogniwa, np. NMC 622 oznacza proporcje nikiel, mangan, kobalt na 6:2:2)

LFP

⚡ Anoda – grafit z możliwymi lekkimi domieszkami krzemu

⚡ Katoda – tlenki żelaza i fosforu

LTO

⚡ Anoda – tlenek tytanu

⚡ Katoda – tlenki niklu, manganu i kobaltu o różnych proporcjach

Wartość czarnej masy jest więc definiowana przez udział cennych metali. W tym wypadku najlepiej przedstawia się ogniwo typu LTO, którego anoda nie zawiera grafitu, a kosztowny tytan. Ogniwo NMC również wypada korzystnie, podczas gdy przetop czarnej masy z ogniwa LFP przynosi znacznie mniejsze zyski ze względu na to, że żelazo jest metalem pospolitym i tanim.

W tym miejscu należy zdementować często pojawiające się informacje w dyskusji publicznej: pakiet bateryjny nie zawiera jakiegokolwiek znaczącej zawartości metali ziem rzadkich! Zarówno kobalt, mangan czy lit są surowcami strategicznymi, ale nie należą do metali ziem rzadkich, czyli lantanowców. Jeżeli więc gdzieś przeczytacie, że w bateriach są metale ziem rzadkich, to oznacza, że autor kompletnie nie wie o czym pisze.

Wartość rynkowa czarnej masy jest definiowana przez udział w niej cennych metali, np. kobaltu, niklu, manganu lub tytanu.

Czarną masę można próbować jeszcze poddać dalszej przeróbce mechanicznej, w celu odseparowania materiałów aktywnych anody i katody (dla NMC i LFP), ale w praktyce nie stosuje się takiego zabiegu i traktuje czarną masę jako całość.

Tak przygotowany materiał trafia jednego z dwóch finalnych etapów recyklingu.

4.3. PIROMETALURGIA

Proces pirometalurgiczny to nic innego jak wytop danego materiału w piecu, gdzie cenne metale przejdą do produktu finalnego, zaś cała reszta, jako żużel, trafi do odpadu (aczkolwiek żużle nadal mają swoje zastosowanie – np. jako podsypka stosowana przy budowie dróg). W procesie pirometalurgicznym zostanie odzyskane aluminium i miedź, o których była mowa wcześniej.

Jeśli natomiast idzie o czarną masę, to odzyskane zostaną: kobalt, nikiel, tytan czy żelazo (oraz wtrącenia miedzi). Grafit, sadza, wtrącenia polimerowe (np. PVDF) oraz pozostałości elektrolitu zostaną spalone, zmniejszając zapotrzebowanie procesu na energię, zaś lit i mangan (oraz wtrącenia aluminium) przejdą do żużla stając się odpadem.

Europejscy regulatorzy nie darzą pirometalurgii dużą sympatią, ze względu na energochłonność, produkcję gazów cieplarnianych i ogólną nieefektywność tego procesu. Widać to w wydanym w 2023 roku rozporządzeniu baterijnym, w którym ustalono minimalny udział litu z recyklingu w nowotworzonych ogniwach litowo-jonowych, co będzie wymuszać stosowanie innych procesów niż jedynie pirometalurgia, która nie pozwala na odzyskanie litu.

Warto przy tym mieć świadomość, że metale po wytopie w hucie nie nadają się bezpośrednio do zastosowania jako materiały aktywne elektrod – aby mogły spełnić tę funkcję potrzebna jest ich przeróbka (rafinacja) w zakładzie do produkcji materiałów aktywnych – jak ten umiejscowiony w Nysie (dolnośląskie), należący do koncernu Umicore.



4.4. HYDROMETALURGIA

Proces hydrometalurgiczny polega na serii operacji takich jak ługowanie, rozpuszczanie substancji w roztworach czy wytrącanie. W ten sposób selektywnie można odzyskać każdy z materiałów użytych do produkcji ogniw, co ma znaczenie w szczególności wobec litu, który w innych wypadkach jest tracony.

Proces hydrometalurgiczny nie wymaga tak wielkiej ilości energii jak jego pirometalurgiczny odpowiednik, nie emituje tylu gazów cieplarnianych, oraz pozwala odzyskać frakcje dobrej jakości. Jednakże obecnie poza instalacjami eksperymentalnymi proces ten nie jest stosowany na dużą skalę. Dlaczego?

Proces hydrometalurgicznego odzysku litu wciąż jest w fazie badań i wiele można tu poprawić. Jakby tego było mało, instalacje do hydrometalurgii nie są zbyt elastyczne, a technologia produkcji ogniw wciąż rozwija się na tyle szybko, że inwestorzy boją się podejmować ryzyko zgadywania, która che-

mia będzie dominować za kilka lat. Kolejną przyczyną jest wciąż brak kompleksowej, przewidywalnej legislacji dotyczącej szeroko pojętej gospodarki obiegu zamkniętego, przez co trudno budować modele finansowe dla inwestycji. Ogniw starzeją się do tego na tyle powoli, a zmiana ich przeznaczenia na magazyny energii tylko to zjawisko potęguje, że tak naprawdę wciąż nie ma zbyt wiele ogniw do recyklingu. Jeśli dodamy do tego fakt, iż budowa fabryki hydrometalurgicznej przeróbki frakcji z ogniw jest bardzo, ale to bardzo kapitałochłonna, to nie może nas dziwić fakt, iż większość inwestorów wstrzymuje się z inwestycjami w tę technologię. Jednak wszyscy w branży bacznie obserwują rynek i tak jak dziś górą jest pirometalurgia, tak spadek zawartości kobaltu w ogniwach, ustabilizowanie się składów chemicznych ogniw, regulacje unijne, oraz rosnący koszt emisji CO₂ mogą gwałtownie odwrócić ten rachunek. Już dziś najwięksi gracze pokroju niemieckiego BASFa mocno inwestują w rozwój eksperymentalnych procesów hydrometalurgicznych.



4.5. PRZYWRÓCENIE FUNKCJONALNOŚCI SELEKTYWNYM MATERIAŁOM

Jest to najmniej znana i dopiero co raczkująca forma recyklingu, ale warto ją obserwować. Idea stojąca za tą metodą jest taka, że w procesach pirometalurgicznym i hydrometalurgicznym z materiału aktywnego katody odzyskuje się metale z osobna (np. kobalt i nikiel), przez co by doprowadzić je ponownie do formy materiału aktywnego na potrzeby produkcji baterii, ponownie trzeba je przetworzyć. Koncepcja jest więc taka, by materiał katodowy odseparować od anodowego, a następnie oczyścić z innych wtrąceń, nie doprowadzając przy tym do zmiany struktury krystalicznej materiału.

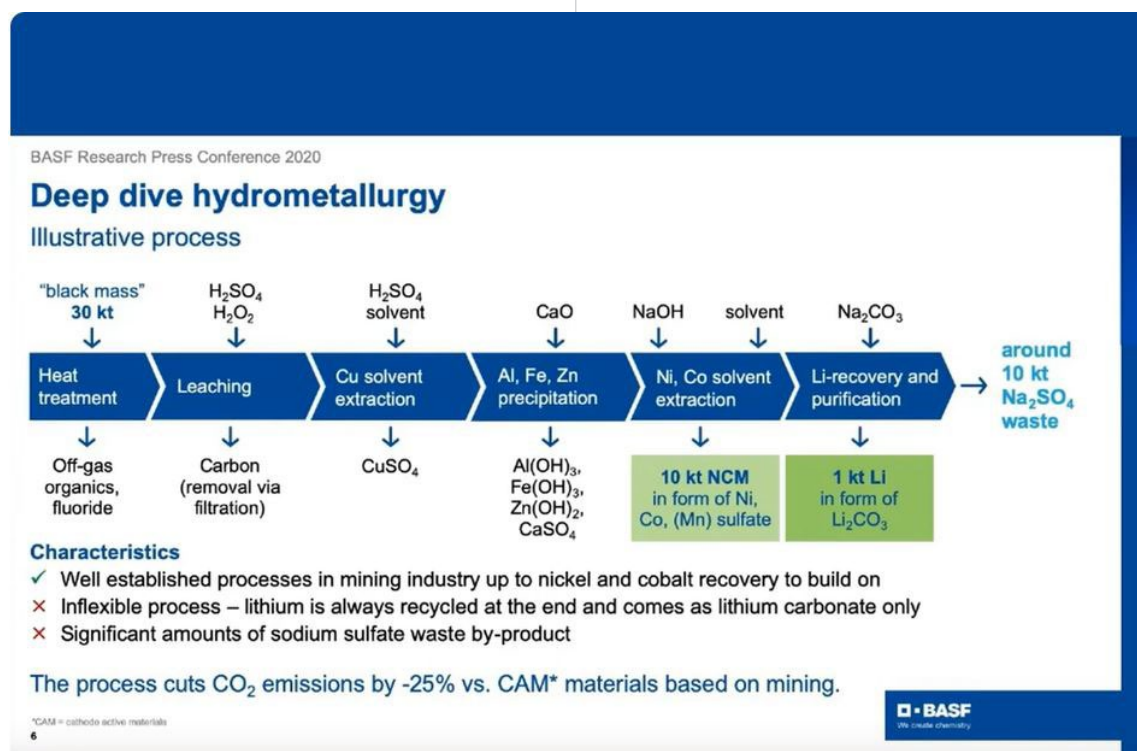
W ten sposób można by przykładowo odzyskać materiał NMC i wysłać go bezpośrednio do fabryki ogniw jako surowiec. Podobne założenia towarzyszą grafitowi, który w procesie pirometalurgicznym jest po prostu spalany. Jednak osiągnięcie powyższych założeń jest bardzo wymagające, gdyż poziom zanieczyszczeń w materiale aktywnym nie powinien przekraczać kilkunastu ppm (części na milion), co jest niezwykle trudne do osiągnięcia.

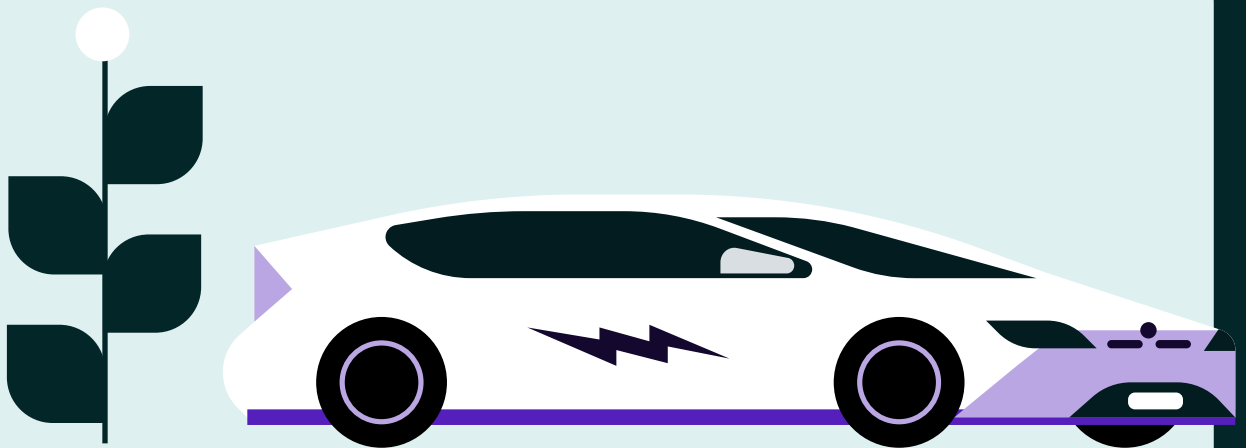
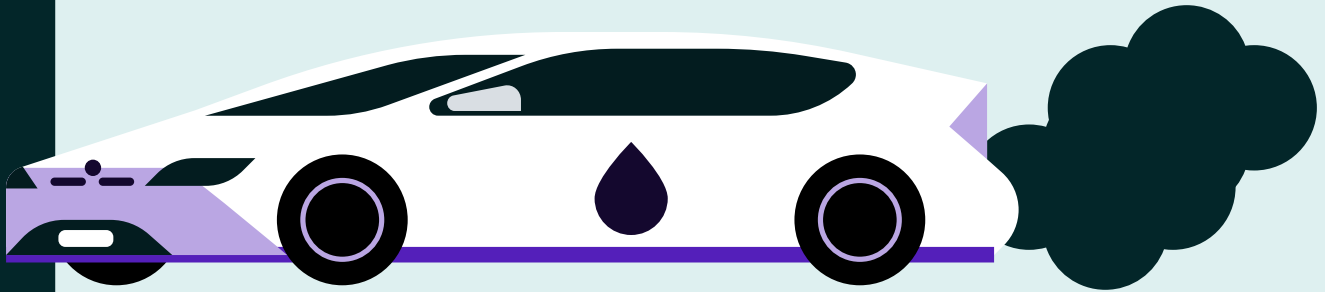
Prace laboratoryjne jednak trwają i być może niedługo doczekamy się komercjalizacji tych technologii.

4. Podsumowanie

W powyższym artykule omówiliśmy szczegółowo aspekt degradacji akumulatorów litowo-jonowych, zmianę przeznaczenia, proces ich wycofywania z rynku, i wreszcie sam recykling. Jak widać – recykling ogniw li-ion jest już dziś technicznie możliwy, oraz – co ważniejsze, ekonomicznie opłacalny. Między bajki można więc włożyć historie o tonach „elektrośmieci” w postaci zalegających baterii.

Warto jednak pamiętać, że tak jak sama elektromobilność w jej masowej skali jest dziedziną stosunkowo młodą, tak recykling akumulatorów stosowanych w tej dziedzinie dopiero stawia pierwsze komercyjne kroki. Przyszłość przyniesie z pewnością większą standaryzację ogniw, automatyzację wstępnej rozbiórki pakietów, udoskonaloną przeróbkę mechaniczną oraz przede wszystkim pojawienie się wielkich zakładów przeróbki hydrometalurgicznej.





Elektromobilność jako element transformacji elektroenergetyki



AUTOR: RAFAŁ BISZCZ

W przestrzeni publicznej często padają porównania pomiędzy ekonomiką zakupu i użytkowania samochodu elektrycznego i z silnikiem spalinowym.

Najczęstszymi argumentami przeciwko elektrykom są:

- ⚡ Wysoka cena
- ⚡ Wysoka masa
- ⚡ Szybsze zużycie opon
- ⚡ Niewystarczający zasięg
- ⚡ Strach przed zapłonem akumulatora
- ⚡ Strach przed szybkim wyeksploatowaniem pakietu akumulatorów
- ⚡ Długi czas ładowania
- ⚡ Szybsza utrata wartości

Podczas gdy wymienianymi zaletami są:

- ⚡ Niższy koszt eksploatacji i użytkowania (mniejsza liczba czynności serwisowych i elementów podlegających kontroli /wymianie), zwłaszcza kiedy mamy możliwość ładowania w domu
- ⚡ Brak emisji z procesu spalania paliwa
- ⚡ Wolniejsze zużycie okładzin i tarcz hamulcowych i niższa emisja pyłów z tym związana
- ⚡ Świetne właściwości jezdne (przyspieszenie, dostępny moment obrotowy)
- ⚡ Bezpieczeństwo

Co ciekawe, szeroko pojęte bezpieczeństwo, ale również i utrata wartości pojazdu są wymieniane zarówno wśród zalet jak i wad sa-

mochodów elektrycznych – w zależności od poglądów dyskutujących, gdyż często dyskusja opiera się bardziej na emocjach niż na danych.

W dyskusji publicznej bardzo często pada jeszcze jeden argument przeciwko baterijnym samochodom elektrycznym, który jest szczególnie interesujący: chodzi o wpływ samochodów elektrycznych na system elektroenergetyczny.

Dlatego warto się przyjrzeć bliżej ile energii zużywa samochód osobowy, gdzie i kiedy uzupełnia energię i jak przedstawia się pobór energii elektrycznej na potrzeby ładowania na tle całego zapotrzebowania na energię elektryczną polskiej gospodarki (czy wystarczy nam energii) i funkcjonowania systemu przesyłowego i dystrybucyjnego (czy będziemy w stanie przesać energię do miejsca jej poboru. Co ciekawe, wnioski będą tu dość zaskakujące.

1. Charakterystyka polskiego systemu elektroenergetycznego

Na samym początku zapoznajmy się z kilkoma istotnymi danymi.

Pod koniec 2022 roku moc zainstalowana w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) wyniosła **60,4 GW**, z czego 36,4 GW (60,26%) przypadło na elektrownie zawodowe cieplne, a 21,6 GW (35,76%) na elektrow-

nie wiatrowe i inne odnawialne źródła energii. W całym roku 2022 produkcja energii elektrycznej wyniosła **178,8 TWh**. Rekordowe zapotrzebowanie na moc wystąpiło dziewiątego stycznia 2024, kiedy to osiągnęło **28,65 GW**.

Na pierwszy rzut oka wydawać by się mogło, że moc zainstalowana jest na tyle duża w stosunku do zapotrzebowania, że polska energetyka jest bezpieczna, lecz w mediach co chwila widzimy artykuły, mówiące o problemach, które nas czekają. Jest to spowodowane faktem, iż w najbliższym pięcioleciu planuje się odstawienie kolejnych bloków opartych o spalanie węgla kamiennego i brunatnego, co spowoduje ubytek około **20 GW** mocy zainstalowanej.

Oczywiście w tym czasie zainstalowane zostaną nowe źródła energii – fotowoltaika i turbiny wiatrowe. Dość powiedzieć, że moc zainstalowana tej pierwszej wynosi już ponad **17 GW** i dynamicznie rośnie.

Problemem jest jednak to że OZE ze słońca i wiatru, w odróżnieniu od elektrowni ciepłych czy wodnych są źródłem energii, które posiada niską dyspozycyjność, czyli możliwość sterowania generacją. Innymi słowy, generują energię, gdy świeci słońce lub wieje wiatr. Jeśli warunki są niekorzystne (okres zimowy, pora nocna, bezwietrzna pogoda), „wypadają” one z systemu i trzeba je czymś szybko zastąpić.

Dochodzimy więc do sytuacji, w której moc źródeł dyspozycyjnych maleje, a źródeł niedyspozycyjnych rośnie. Przy tak złożonej strukturze wytwarzania energii, w celu ustabilizowania systemu elektroenergetycznego niezbędne będzie magazynowanie energii, bądź dynamiczne sterowanie popytem na energię – w przeciwnym wypadku będzie to prowadzić do okresowych niedoborów i nadwyżek mocy w sieci. Oznacza to, że coraz częściej będziemy mieli okresową dużą nadprodukcję energii (co może powodować

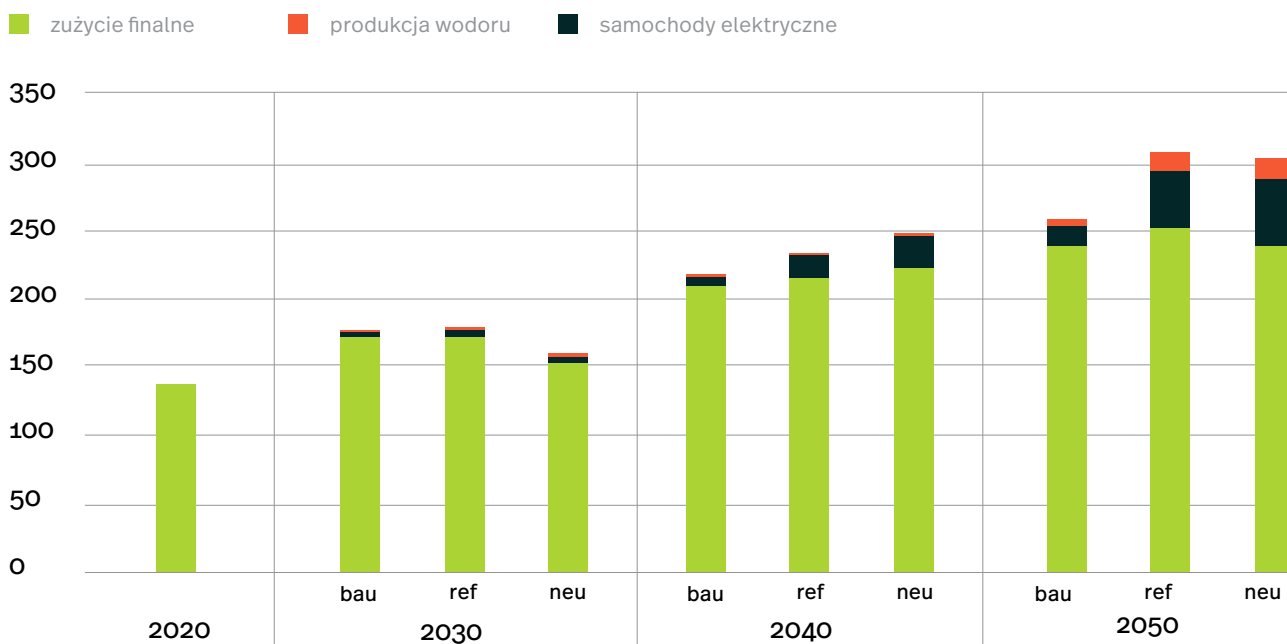
nawet ujemne ceny energii na spocie) oraz okresy dużego niedoboru, co skutkować będzie ogromnymi wahaniami cen. Taka sytuacja nie sprzyja rozwojowi gospodarczemu i utrzymaniu konkurencyjności.

2. Elektromobilność na tle polskiej energetyki

Powiedzieliśmy sobie kilka słów o energetyce, czas więc nanieść na nią dane znane z polskiego rynku samochodów elektrycznych. Pod koniec 2023 roku było zarejestrowanych **98 tysięcy** samochodów BEV + PHEV. Jeśli przyjmujemy, że średni dystans dzienny pokonywany przez samochód w Polsce to **30 km**, a energochłonność samochodu elektrycznego wynosi **200 Wh/km**, to dzienne zapotrzebowanie na energię jednego samochodu wyniesie **6 kWh**. Przy 98 tysiącach pojazdów roczne zapotrzebowanie wyniesie więc **214 GWh**, co stanowi **0,12%** zużytej przez polską gospodarkę w 2022 energii elektrycznej. Na dzień dzisiejszy pojazdy elektryczne nie stanowią zatem żadnego wyzwania dla strony wytwórczej.

Jednak gdyby już dziś wszystkie 27,8 milionów samochodów z bazy CEPiK było pojazdami w 100% elektrycznymi, to ich roczne zapotrzebowanie na energię wyniosłoby **60,9 TWh**, co stanowiłoby **34,05%** całkowitego zapotrzebowania na energię w polskiej gospodarce za rok 2022. Czyli aby zapewnić stabilne funkcjonowanie innych sektorów gospodarki i gospodarstw domowych, produkcja energii musi ulec znacznemu zwiększeniu. Proces całkowitej wymiany floty pojazdów w Polsce na elektryczne zajmie zapewne ok. 25-30 lat. Tyle mamy zatem czasu aby rozbudować moce wytwórcze, zwłaszcza że według np. prognoz KOBIZE inne sektory gospodarki również zwiększą zapotrzebowanie na energię elektryczną do 2050 roku, co w rezultacie zwiększy ponad dwukrotnie zapotrzebowanie na energię elektryczną do 2050 roku.

Projekcje zapotrzebowania netto na energię elektryczną w Polsce – scenariusze BAU, REF i NEU (TWh).



Źródło: POLSKA NET-ZERO 2050: Mapa drogowa osiągnięcia wspólnotowych celów polityki klimatycznej dla Polski do 2050 r., Centrum Analiz Klimatycznych, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2022

Dochodzimy obecnie do sytuacji, w której moc źródeł dyspozycyjnych maleje, a źródeł niedyspozycyjnych rośnie.

Jeśli założymy, że wszystkie pojazdy ładują się średnio jedną godzinę, to zapotrzebowanie na moc wynikające z użytkowania 90 tysięcy pojazdów wyniosłoby **588 MW**, a więc **0,97%** mocy zainstalowanej w polskim systemie elektroenergetycznym, lecz gdybyśmy odpowiednio sterowali popytem, wskutek czego ładowanie przełożyłoby się na osiem godzin, to moc zmalałaby do zaledwie **74 MW (0,12%)**.

Dla 27,8 miliona pojazdów ładujących się w tej samej godzinie byłoby to odpowiednio **166,8 GW** zapotrzebowania na moc, co stanowiłoby **276%** obecnej mocy zainstalowanej. Innymi słowy takie ładowanie w przypadku przyrostu liczby EV jest po prostu niewykonalne. Jednak przy rozłożeniu ładowania

na osiem godzin wartość ta spada już do **20,85 GW**, co stanowi **34,5%** mocy zainstalowanej, którą mamy już dziś.

Wartości podane dla 27,8 miliona samochodów elektrycznych mogą się wydawać ogromne, ale warto mieć na uwadze, iż nie stanie się to w najbliższym czasie, ale za 25-30 lat, co daje bardzo dużo czasu na wprowadzenie potrzebnych zmian w systemie elektroenergetycznym.

Jednak już nawet dziś, wielkości płynące z takiej liczby są wartościami ambitnymi i wymagającymi od systemu dostosowania, ale w żadnym wypadku nie można powiedzieć, że są z pogranicza fantastyki naukowej. 60,9 TWh energii rocznie i 20,85 GW mocy w ośmiu godzinach zwiększonej generacji z OZE są w technicznym zasięgu polskiego systemu elektroenergetycznego.

3. Dynamiczne sterowanie popytem

Jak już zostało wyżej zauważone, obciążenie systemu elektroenergetycznego w dużej mierze zależy od rozłożenia operacji ładowania w czasie.

Jeśli milion EV będzie się ładować w tej samej godzinie, zapotrzebowanie na moc wyniosłoby 6 GW, ale jeśli ten sam milion EV ładowałby się osiem godzin, to ta wartość spadłaby do zaledwie 0,75 GW – taką dodatkową moc system elektroenergetyczny mógłby dostarczyć już dziś.

Wspomnieliśmy także, że charakterystyka OZE prowadzi do okresowych nadwyżek energii w sieci. Wie to każdy prosument, gdyż coraz częściej falowniki instalacji fotowoltaicznych wyłączają się wskutek zbyt wysokiego napięcia w sieci, spowodowanego nadprodukcją energii elektrycznej. W 2023 r. na towarowej giełdzie energii po raz pierwszy w historii ceny energii elektrycznej osiągnęły ujemną wartość, tj. operator dopłacał za zużycie energii. Na giełdzie Epex Spot w Amsterdamie ceny w przeliczeniu na złotówki osiągnęły nawet – 3,19 za kWh! W sytuacji nadwyżki energii w sieci możliwość jej odbioru przez samochody elektryczne z obciążenia, staje się nagle wielkim atutem, balansującym pracę systemu elektroenergetycznego.

Aby jednak wydobyć ten potencjał, sesje ładowania winny być zgodne z cyklami zużycia energii w całym systemie EE. Innymi słowy powinien istnieć mechanizm, który zachęca do racjonalnego korzystania z energii w sieci. Takim mechanizmem jest taryfa dynamiczna opłat za energię elektryczną. Ta powstaje w oparciu o bilans zużycia oraz generacji energii w danym interwale czasowym (np. piętnastominutowym), co prowadzi do ustalenia ceny za energię na okres danego interwału. Jeśli cena ta będzie w czasie rzeczywistym upubliczniana otwartym protoko-

tem komunikacyjnym, bardzo szybko pojawią się aplikacje w których użytkownik będzie zaznaczał swoje preferencje (np. ładuj pojazd jedynie gdy cena spadnie poniżej ustawionej wartości), o które będzie opierał się algorytm ładowania. Można to przyrównać do nawigacji satelitarnej, gdzie program na bieżąco przelicza czas przejazdu po poszczególnych wariantach tras i sugeruje najoptymalniejszy.

Tak należy rozumieć wszystkie krzykliwe artykuły prasowe, które atakują nas stwierdzeniami, w których „operator wyłącza ładowarki w szczycie zapotrzebowania na energię!”. Tak, wyłącza, gdyż jeszcze obecnie brakuje odpowiednich mechanizmów rynkowych do optymalizacji czasu ładowania, ale gdy te mechanizmy się pojawią, to dodatkowe zapotrzebowanie na energię, skalibrowane z okresami nadprodukcji dadzą całej elektroenergetyce ogromne synergie. Warto przy tej okazji wspomnieć, że Polskie Sieci Elektroenergetyczne pracują obecnie nad wdrożeniem Centralnego Systemu Informacji o Rynku Energii (CSIRE), który pozwoli na dynamiczne modelowanie stanu zużycia i produkcji energii w sieci, co umożliwi wprowadzenie taryfy dynamicznej.

4. Wirtualny magazyn energii, technologia V2G

Wróćmy do ilości pojazdów elektrycznych na polskich drogach, czyli potencjalnie ogromnego magazynu energii na kołach. Jeśli przyjmiemy, że przeciętny pakiet akumulatorów gromadzi energię 50 kWh, to dla dużej ich ilości, ta energia wyniesie (roczna dostępna pojemność magazynu przy założeniu, że pakiet byłby ładowany – rozładowany raz dziennie):

⚡ Dla 98 tysięcy – **4,9 GWh** (1,79 TWh)

⚡ Dla miliona – **50 GWh** (18,25 TWh)

⚡ Dla 27,8 miliona – **1,39 TWh** (507,350 TWh)

Przypomnijmy, że w całym 2022 roku produkcja energii elektrycznej wyniosła **178,8 TWh!**

Wszystkie te pojazdy są zatem jednym wielkim rozproszonym magazynem energii, z którego mogłaby w chwilach kryzysowych korzystać polska energetyka. W praktyce wyglądałoby to tak, że użytkownik pojazdu elektrycznego mógłby udostępnić poprzez aplikację część swojego pakietu akumulatorów na potrzeby „wirtualnego tradera energii”, który miałby zgodę na oddanie określonej porcji energii z pakietu do sieci.

Nie byłoby więc tak, że system rozładowałby nam pakiet „do zera” i nigdzie byśmy nie pojechali. Wiedząc, że na codzienne dojazdy do pracy zużywamy zaledwie ułamek pojemności pakietu, moglibyśmy ustawić, że aplikacja ma prawo z niego korzystać np. w zakresie 55-80% SoC.

Upraszczając, jeśli udostępnilibyśmy jedynie 25% energii naszego akumulatora dla operatora, to wartości wyglądałyby tak (w nawiasach wartość rynkowa przy założeniu sprzedaży energii za 0,7 zł/kWh):

⚡ Dla 98 tysięcy – **1,2 GWh** (0,85 mln zł dziennie, 312,98 mln zł rocznie)

⚡ Dla miliona – **12,5 GWh** (8,75 mln zł dziennie, 3,194 mld zł rocznie)

⚡ Dla 27,8 miliona – **0,35 TWh** (243,25 mln zł dziennie, 88,786 mld zł rocznie)

Jak widać – już dziś jest to duży potencjał, który nie jest wykorzystywany przez brak odpowiednich regulacji prawnych, protokołów komunikacyjnych, oraz infrastruktury. Jednak korzyści płynące z technologii Vehicle to grid (V2G) są tak duże, że tylko kwestią czasu jest komercjalizacja tej technologii, co już następuje np. w Chinach .

4. Podsumowanie

Niniejszy artykuł jest próbą pokazania, że elektromobilność jest nie tyle zagrożeniem co komplementarnym narzędziem, wspomagającym pracę sieci elektroenergetycznej.

Obecnie jeszcze tego nie widać, gdyż postęp techniczny ma swoją bezwładność, ale elektryczny transport w połączeniu z nowoczesną, opartą o algorytmy siecią elektroenergetyczną, przyniesie synergie, które skokowo podniosą konkurencyjność całej gospodarki. Co ciekawe, tych synergii jest więcej niż opisano w artykule, gdyż samochody elektryczne mogą:

⚡ Kompensować moc bierną pojemnością i indukcyjną,

⚡ Zapewniać rezerwę na wypadek przerwania ciągłości sieci elektroenergetycznej,

⚡ Zapewniać punktowe wyspy wielkich mocy w miejscu pozbawionym infrastruktury (np. tymczasowe warsztaty naprawcze w miejscach oddalonych od przyłączy dużej mocy).

Zastosowań będzie z resztą tylko przybywać wraz z rozwojem technologii, tak jak to miało miejsce w przypadku komputerów, które również zaczęły skromnie – jako maszyny liczące.

Przyszłość niesie więc wiele możliwości i nie należy się jej bać, ale chwytać szansę, która się dla nas pojawia. Dzisiejszy pionierzy będą w przyszłości spijać śmietankę w postaci konkurencyjności gospodarki a co za tym idzie podwyższonych marż.

