Publikacja
Europejskiego
Kongresu
Finansowego

E-mobliność:

wizje i scenariusze rozwoju

pod redakcją Jerzego Gajewskiego,
Wojciecha Paprockiego i Jany Pieriegud

Sopot 2017

Recenzent: prof. dr hab. Marek Garbicz

Opracowanie redakcyjne: Aleksandra Gibała
Korekta: Marlena Dobrowolska
Projekt okładki: Sopocka Grupa Marketingowa
Skład: Ewa Nowaczyk

© Copyright by Centrum Myśli Strategicznych
Sopot 2017

ISBN 978-83-945091-2-5

Centrum Myśli Strategicznych
ul. Powstańców Warszawy 19
81-718 Sopot

Publikacja w wersji elektronicznej dostępna na:
www.efcongress.com
www.festiwalfinansowy.pl

Korzystamy z dofinansowania
Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku

Spis treści

Jerzy Gajewski, Wojciech Paprocki, Jana Pieriegud: Wprowadzenie 5

Część I. Wizje i koncepcje globalne i europejskie

Jana Pieriegud: E-mobilność jako koncepcja rozwoju sektorów infrastrukturalnych 8

Jakub Zawieska: Koncepcja e-mobilności w świetle polityki klimatycznej i transportowej Unii Europejskiej i Polski 22

Katarzyna Nowicka: Rozwój świata wirtualnego i jego wpływ na e-mobilność 40

Bartosz Grucza: Wizje i scenariusze rozwoju autonomicznych systemów transportowych 62

Maciej Szymczak: Perspektywy rozwoju technologii i rynku dronów 92

Część II. Perspektywy i bariery rozwoju elektromobilności na świecie i w Polsce

Przemysław Komarnicki, Bartłomiej Arendarski, Michał Ramczykowski: Scenariusze rozwoju technologii magazynowania energii 120

Krzysztof Polakowski: Kierunki rozwoju rynku pojazdów elektrycznych 146

Janina Molenda, Konrad Świerczek: Fundamentalne problemy rozwoju energetyki wodorowej 174

Michał Wolański, Mateusz Pieróg: Ocena potencjału rozwoju car-sharingu w Polsce 200

Hubert Igliński: Instrumenty wsparcia e-mobilności: doświadczenia innych krajów i wnioski dla Polski 220

Wojciech Paprocki: Perspektywy rozwoju e-mobilności: szanse i ryzyka 244

Wprowadzenie

Przekazujemy w ręce Czytelników piątą monografię poświęconą aktualnym aspektom rozwoju sektorów infrastrukturalnych, wydaną w ramach serii „Publikacje Europejskiego Kongresu Finansowego”[1]. Tegoroczne opracowanie zawiera wyniki badań zespołu naukowo-eksperckiego poświęconych perspektywom i barierom rozwoju e-mobilności (ang. *e-mobility*), która wymaga głębokiej konwergencji trzech sektorów: transportowego, energetycznego i teleinformatycznego.

Koncepcja e-mobilności obejmuje rozwój technologii w zakresie magazynowania energii i upowszechnienie na szeroką skalę pojazdów z napędem elektrycznym (ang. *electromobility*), w tym zasilanych wyłącznie z baterii (ang. *battery electric vehicle* – BEV), hybrydowych, a także wykorzystujących wodorowe ogniwa paliwowe. W wizjach przyszłości zarządzanie i sterowanie ruchem pojazdów będzie odbywało się przy coraz większym wykorzystaniu technologii cyfrowych (ang. *connected mobility*), a także coraz wyższym stopniu automatyzacji ruchu, w tym w pełni automatycznie (ang. *autonomous mobility*). Nowe rozwiązania będą wdrażane obok już stosowanych od końca XIX wieku środków transportu szynowego: pociągów kolejowych, tramwajów, metra i trolejbusów, wykorzystujących trakcję elektryczną.

E-mobilność ma kluczowe znaczenie w trwającej obecnie dyskusji publicznej dotyczącej przyszłości rozwoju systemów społeczno-gospodarczych – zarówno w skali globalnej i europejskiej, jak i Polski. W ostatnich dziesięciu latach władze publiczne na różnych szczeblach zarządzania (globalnym, wspólnotowym, państwowym krajów członkowskich, regionalnym i lokalnym) opublikowały wiele dokumentów o charakterze koncepcyjnym i strategicznym, które wskazują pożądane kierunki rozwoju oraz narzędzia wspierające rozwój e-mobilności. Zgodnie z założeniami *Europejskiej strategii na rzecz mobilności niskoemisyjnej* z 2016 roku oraz *Planu rozwoju elektromobilności w Polsce „Energia do przyszłości”*, przyjętym przez Radę Ministrów RP 16 marca 2017 roku, pojazdy o napędzie elektrycznym, wykorzystywane m.in. w modelu car-sharingowym, zintegrowane z inteligentnymi sieciami elektroenergetycznymi (ang. *smart grid*) w przyszłości mają być ważnymi elementami miejskich systemów transportowych.

Monografia jest krokiem w kierunku usystematyzowania wiedzy o e-mobilności oraz wskazania możliwych kierunków rozwoju sektorów sieciowych, przede wszystkim w miastach. Kompleksowo przeanalizowane zostały możliwości i ograniczenia technologiczne i ekonomiczne, natomiast zagadnienia prawne uznano za przedmiot rozważań, które będzie warto przeprowadzić na etapie poprzedzającym upowszechnianie nowych rozwiązań. Autorzy monografii podjęli się poszukiwania odpowiedzi na różnorodne pytania, aby ustalić, jakie warunki powinny być spełnione, aby wizje w zakresie e-mobilności mogły się stać w Polsce rzeczywistością.

Przygotowane opracowania autorskie w ramach monografii zgrupowano w dwie części odpowiadające podjętym zagadnieniom. Pierwsza część monografii obejmuje

[1] Wcześniejsze opracowania dostępne są na stronie: www.efcongress.com/pl/materialy/publikacje-ekf.

pięć opracowań, w których przedstawiono koncepcje rozwoju e-mobilności. W pierwszym rozdziale, autorstwa Jany Pieriegud, przedstawiono kierunki ewolucji koncepcji mobilności oraz określono warunki niezbędne dla upowszechnienia koncepcji e-mobilności. Rolę e-mobilności w polityce klimatycznej oraz transportowej prowadzonej na poziomie Unii Europejskiej oraz Polski rozwinął w następnym rozdziale Jakub Zawieska. W tekście zaprezentowano wybrane, najważniejsze dokumenty strategiczne dotyczące klimatu i ochrony środowiska naturalnego oraz zarządzania sektorem transportu, przyjęte w ostatnich latach przez Komisję Europejską oraz polskie władze. Oba wymienione obszary zarządzania w dużym stopniu się uzupełniają, a koncepcja zrównoważonego transportu, oparta m.in. na elektromobilności, jest szeroko uwzględniana w przyjmowanych planach strategicznych. Rozważania dotyczące istoty efektów rozwoju współczesnego świata wirtualnego w obszarze mobilności oraz najistotniejszych technologii, które niosą ze sobą największy potencjał w kształtowaniu funkcjonowania współczesnego i przyszłego ekosystemu e-mobilności, zostały przedstawione w opracowaniu przygotowanym przez Katarzynę Nowicką. Ostatnie dwa rozdziały w tej części monografii zostały poświęcone wizjom oraz perspektywom rozwoju autonomicznych systemów transportowych. Bartosz Grucza przedstawił dotychczasowe osiągnięcia w rozwoju technologii autonomicznych w dziedzinie transportu lotniczego, kolejowego oraz samochodowego, jak również wskazał czynniki, które ograniczają ich upowszechnienie na masową skalę. Następnie Maciej Szymczak szczegółowo omówił perspektywy rozwoju technologii, aplikacji i rynku usług, które będą realizowane przy zastosowaniu dronów.

W drugiej części monografii znalazło się kolejnych sześć opracowań prezentujących perspektywy rozwoju samochodów elektrycznych w Polsce, w tym rozwiązań i instrumentów sprzyjających rozwoju e-mobilności, jak również wskazujących bariery realizacji przyjętych w tym zakresie programów. Możliwe scenariusze rozwoju technologii magazynowania energii w swoim opracowaniu wskazują Przemysław Komarnicki, Bartłomiej Arendarski i Michał Ramczykowski. Kierunki rozwoju rynku pojazdów elektrycznych w wymiarze globalnym i krajowym zostały przestawione w opracowaniu Krzysztofa Polakowskiego. Przedmiotem rozważań w rozdziale autorstwa Janiny Molendy i Konrada Świerczka są fundamentalne problemy rozwoju energetyki wodorowej. W następnym rozdziale Michał Wolański i Mateusz Pieróg dokonali oceny potencjału rozwoju car-sharingu w Polsce. Następnie Hubert Igliński przedstawił doświadczenia różnych krajów w zakresie wsparcia koncepcji e-mobilności oraz sformułował wnioski dla Polski. W ostatnim rozdziale, przygotowanym przez Wojciecha Paprockiego, podjęto próbę podsumowania rozważań związanych z perspektywami rozwoju e-mobilności, w tym omówienia ekonomicznych aspektów jej upowszechniania. Uwzględniono rolę współpracy różnych środowisk: akademickiego, biznesowego i politycznego oraz wkład start-upów w przygotowanie i wdrożenie innowacyjnych rozwiązań.

Część I.

Wizje i koncepcje globalne i europejskie

Dr hab. Jana Pieriegud, prof. SGH

Inżynier i ekonomista transportu. W Katedrze Transportu Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie pracuje od 2001 roku, obecnie na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Jej zainteresowania badawcze koncentrują się wokół technologicznych i ekonomicznych aspektów rozwoju systemów gospodarczych, transportowych i logistycznych. Jest niezależną ekspertką Komisji Europejskiej, JPI Urban Europe, The Austrian Research Promotion Agency (FFG), Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR). W latach 2013–2015 uczestniczyła w pracach *Transport Advisory Group* w ramach Programu Horyzont 2020. Od marca 2015 roku jest członkiem Komitetu Naukowego Shift2Rail – europejskiego programu badań i innowacji dla transportu kolejowego. Jest autorką i współautorką ponad 130 publikacji; współredaktorką i autorką trzech monografii poświęconych rozwojowi sektorów infrastrukturalnych, wydanych w ramach serii „Publikacje Europejskiego Kongresu Finansowego".

Jana Pieriegud

E-mobilność jako koncepcja rozwoju sektorów infrastrukturalnych

Wprowadzenie

Szybki rozwój technologiczny transportu w drugiej połowie XX wieku, w tym szczególnie transportu samochodowego i lotniczego, spowodował, że mobilność społeczeństwa przestała być zwykłym pokonywaniem czasu i przestrzeni, a stała się nowym wymiarem wolności. Mobilność jest od dawna postrzegana jako ważny element rozwoju personalnego i zawodowego człowieka, jakości jego życia, a także jest czynnikiem sprzyjającym tzw. włączeniu społecznemu (ang. *inclusive growth*).

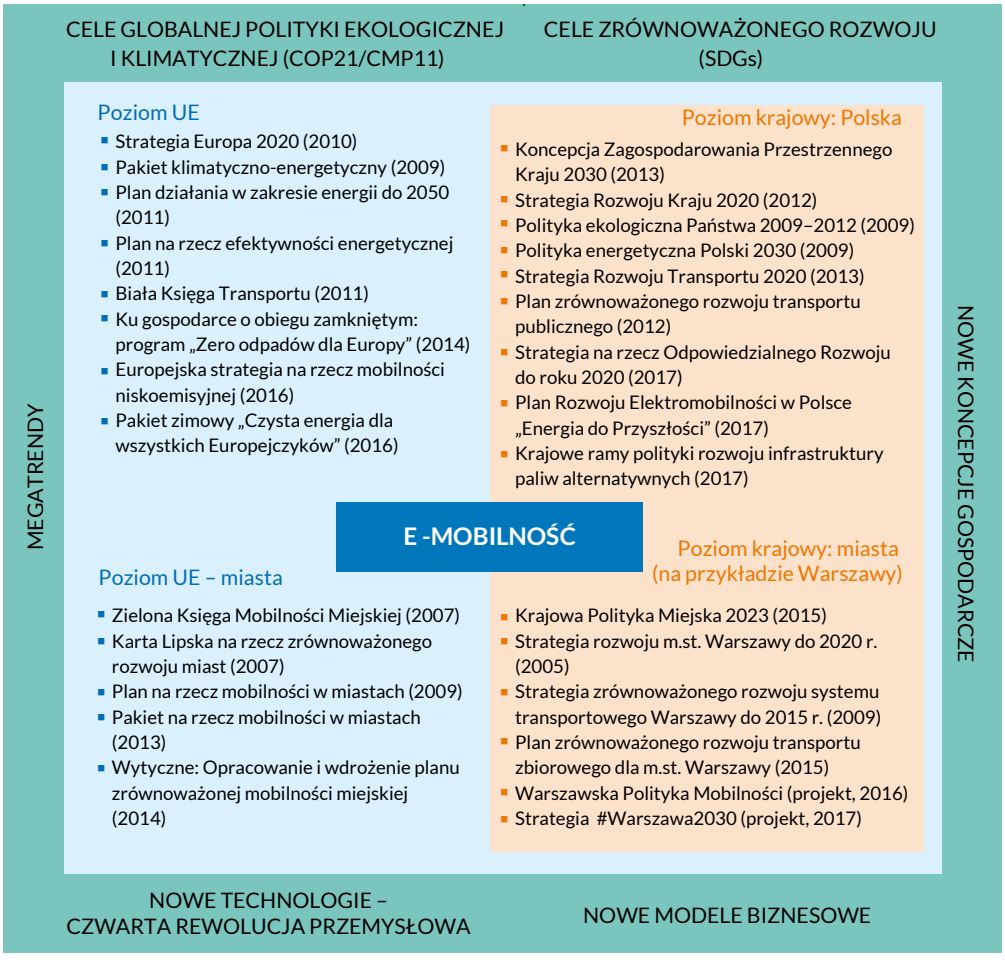
Od początku lat 90. ubiegłego wieku masowe korzystanie z samochodów osobowych w wielu miastach europejskich, zwłaszcza w celach zapewnienia potrzeb mobilności codziennej (ang. *daily mobility*), stało się jednym z kluczowych wyzwań polityki transportowej, jak również polityk: ekologicznej, klimatycznej, energetycznej i przestrzennej. Poprawa sytuacji w zakresie nadmiernego zatłoczenia komunikacyjnego oraz zanieczyszczenia powietrza w dużych miastach i aglomeracjach nie jest już możliwa bez wdrożenia nowych koncepcji mobilności (ang. *new mobility concepts*). Ich rozwój ma wspierać zasady zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego (ang. *sustainable development*), zakładające prowadzenie wszelkiej działalności człowieka w harmonii z przyrodą tak, aby nie spowodować nieodwracalnych zmian[1].

Już w 1992 roku w białej księdze dotyczącej transportu za podstawowy cel polityki transportowej w Unii Europejskiej uznano dążenie do osiągnięcia zrównoważonej mobilności (ang. *sustainable mobility*). Cel ten w ostatnich latach stał się jeszcze bardziej aktualny, a głównym instrumentem jego realizacji mają być tzw. ekosystemy elektromobilności tworzone w miastach. Zgodnie z upowszechnionym przekonaniem, które zostało wykreowane przez wiele dokumentów programowych o charakterze politycznym i strategicznym (rys. 1)[2], mają one sprzyjać ogólnemu procesowi dekarbonizacji gospodarki, dlatego e-mobilność nazywana jest także mobilnością niskoemisyjną (ang. *low-emission mobility*), a nawet całkowicie bezemisyjną (ang. *emission-free mobility*, *zero-emission mobility*). Tymczasem e-mobilność jest koncepcją dużo szerszą,

[1] Mają temu służyć tzw. 17 celów zrównoważonego rozwoju (ang. *Sustainable Development Goals* – SDGs). Zob. World Bank, *Atlas of Sustainable Development Goals 2017: From World Development Indicators. World Bank Atlas*, Washington, DC, 2017, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26306 (18.04.2017).

[2] Przeglądu najważniejszych dokumentów strategicznych dotyczących polityki transportowej i klimatycznej, wymienionych na rys. 1, dokonano w następnym rozdziale monografii.

która ma zapewnić równoważenie mobilności w miastach nie tylko z uwzględnieniem globalnych wyzwań ekologicznych, lecz także megatrendów technologicznych, społecznych, ekonomicznych. Zakłada się, że funkcjonowanie systemów e-mobilności będzie oparte na wartościach cechujących koncepcje gospodarki współdzielenia (ang. *sharing economy*) czy też gospodarki okrężnej (ang. *circular economy*), które umożliwiają upowszechnienie nowych modeli biznesowych[3].



Rys. 1. **Dokumenty strategiczne i czynniki zewnętrzne rozwoju e-mobilności**
Źródło: opracowanie własne.

[3] W przeciwieństwie do tradycyjnego modelu biznesowego, w którym producent sprzedaje, a konsument kupuje, czyli obowiązuje zasada „pobierz – wytwórz – użytkuj – wyrzuć", w nowych modelach biznesowych, przewidujących ponowne zastosowanie zasobów, wartość tworzona w ramach „obiegu zamkniętego" pozwala na uzyskiwanie mikroekonomicznego pożytku zarówno przez producenta, jak i konsumenta. Warunkiem funkcjonowania takich modeli jest szerokie zastosowanie technologii cyfrowych. Istota funkcjonowania tej koncepcji została wyjaśniona szerzej w: W. Paprocki, *Bezbronny naturysta w objęciach circular economy*, „Gazeta SGH" 2016, nr 11, http://www.paprocki.pl/pliki/Publicystyka/Gazeta_SGH_332_11_2016_listopad_2016s34-35.pdf (3.03.2017).

Celem rozdziału było przedstawienie najważniejszych czynników mających wpływ na zmiany związane z mobilnością, a także wyjaśnienie istoty i kierunku rozwoju nowych koncepcji mobilności w miastach. Na końcu zdefiniowano warunki *sine qua non* upowszechnienia koncepcji e-mobilności.

1. Rola samochodu osobowego w kulturze mobilności

Mobilność jest pojemnym pojęciem, dlatego powinna być definiowana w zależności od celu i przedmiotu przeprowadzanych analiz. W socjologii i geografii ekonomicznej termin mobilność obejmuje zarówno przemieszczania ludzi (migracje), towarów, kapitału i informacji pomiędzy różnymi regionami, jak i zjawiska lokalne związane z codziennym poruszaniem się w przestrzeni publicznej, tj. ruchliwością codzienną[4]. W ekonomice transportu przyjęto używać określenia ruchliwość komunikacyjna, oznaczającego wszelkiego rodzaju przemieszczania się człowieka do określonego miejsca docelowego, bez względu na przyczynę czy wykorzystywany środek transportu (lub też pieszo). Potrzeba pokonania przestrzeni wynika z różnorodnej aktywności oraz społecznych i gospodarczych związków pomiędzy ludźmi, w tym dojazdami do miejsca pracy czy nauki (tzw. podróże obligatoryjne) oraz w ramach kontaktów rodzinno-towarzyskich lub wyjazdów rekreacyjno-turystycznych, powodujących podróże, które chcemy lub jesteśmy skłonni podejmować incydentalnie (tzw. podróże fakultatywne). Wszystkie te podróże odbywają się w różnego rodzaju relacjach przestrzennych. W zależności od odległości podróży wyodrębniane są przejazdy: miejscowe (lokalne), aglomeracyjne, regionalne, międzyregionalne oraz międzynarodowe. Podstawową miarą oceniającą intensywność potrzeb w zakresie mobilności jest wskaźnik ruchliwości ludności mierzony średnią liczbą podróży wykonanych przez jedną osobę w ciągu doby[5].

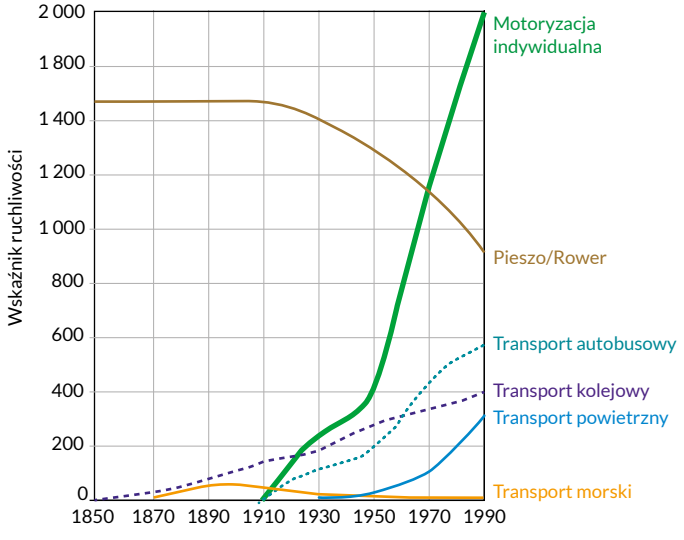
Analiza rozwoju środków transportu oraz popularność ich wykorzystania pokazuje, że zaczynając od drugiej połowy XX wieku (rys. 2), w kulturę mobilności wpisane jest przyzwyczajenie do posiadania samochodu osobowego (ang. *car ownership*), które pozwoliło na poszerzenie granic przemieszczania się mieszkańców, dając im możliwość dotarcia do miejsc dotychczas z różnych powodów nieosiągalnych za pomocą innych środków transportu. Zdaniem Johna Urry'ego, jednego z najbardziej znanych brytyjskich socjologów, współczesnego życia społecznego nie można analizować bez uwzględnienia motoryzacji indywidualnej, która nie jest zwykłym aktem konsumpcji[6]. Jest to ważny element stylu życia, zapewniający elastyczność, prywatność i wygodę utożsamianą z posiadaniem samochodu na własność. Co więcej, posiadanie samochodu, które zazwyczaj jest jednym z najbardziej drogich wydatków konsumpcyjnych, przyjęło w krajach wysoko rozwiniętych status praw demokratycznych

[4] T. Komornicki, *Przemiany mobilności codziennej Polaków na tle rozwoju motoryzacji*, „Prace Geograficzne" nr 227, IGiPZ PAN, Warszawa 2011, s. 15–16.

[5] Zob. M. Madeyski, E. Lissowska, W. Morawski, *Transport. Rozwój i integracja*, WKŁ, Warszawa 1978, s. 140–150.

[6] J. Urry, *Socjologia mobilności*, PWN, Warszawa 2009, s. 47–48.

i wolności obywatelskich, a możliwość użytkowania samochodu może być ważniejsza niż prawo głosowania[7].



Rys. 2. **Wskaźnik ruchliwości mieszkańców w latach 1850–1990 (pasażero-km per capita rocznie)**
Źródło: opracowanie własne na podstawie: R. Gilbert, A. Perl, *Transport Revolutions: Moving People and Freight without Oil*, Earthscan 2008, s. 66.

Należy jednak pamiętać, że rozwój motoryzacji w poszczególnych krajach na świecie przebiegał w różnym tempie, dlatego obecnie w niektórych krajach punkt zwrotny w rosnących trendach pracy przewozowej oraz liczby samochodów przypadających na jednego mieszkańca (tzw. wskaźnik motoryzacji) został już osiągnięty, natomiast w innych krajach (przykładem jest Polska) ciągle wykazuje dodatnią dynamikę. Ponadto, mimo znacznego postępu w zakresie technik zbierania i analizy danych, znajomość pełnej rzeczywistej ruchliwości ludności, zwłaszcza codziennej, nadal pozostaje ograniczona.

Prowadząc rozważania nad istniejącą i przyszłościową strukturą mobilności w miastach, należy brać pod uwagę, że ze względu na cechy charakterystyczne każdego miasta oraz występowania dużej liczby przejazdów nierejestrowanych, wykonywanych za pomocą indywidualnych środków transportu (np. samochód osobowy, rower, skuter), dane o przejazdach są szacunkowe, a ich struktura istotnie się różni między poszczególnymi miastami zarówno w skali krajowej, jak i globalnej. Jednocześnie analiza potrzeb oraz zachowań komunikacyjnych mieszkańców (ang. *travel behaviour*) jest elementem, który powinien być uwzględniany w dyskusjach dotyczących potencjału i perspektyw rozwoju e-mobilności.

[7] R. Gilbert, A. Perl, *Transport Revolutions*: *Moving People and Freight without Oil*, Earthscan 2008, s. 66 i 86; J. Szołtysek, *Kreowanie mobilności mieszkańców miast*, Wolters Kluwer Polska, Warszawa 2011, s. 14.

2. Czynniki wpływające na rozwój nowych koncepcji mobilności

Przemiany społeczno-gospodarcze w XXI wieku przyniosły ze sobą wiele nowych zmian w stylu życia mieszkańców, systemie wartości społecznych i mobilności zawodowej. Obecny rynek pracy wymaga stałej elastyczności i aktywności, wskutek czego zmieniają się relacje, takie jak: miejsce pracy – miejsce zamieszkania, praca zawodowa – życie rodzinne. Wyzwaniem staje się łączenie ambicji zawodowych i aspiracji życiowych. Z jednej strony, postęp technologiczny, dotyczący sposobów komunikowania się na odległość oraz środków technicznych warunkujących możliwości takiej łączności, spowodował, że aby się kształcić lub wykonać swoje obowiązki służbowe, nie zawsze jest niezbędne opuszczanie domu (telepraca, telekonferencje, e-learning, webinaria). Z drugiej strony, wykonywanie codziennych obowiązków w kilku miejscach doprowadziło do powstania pojęcia multilokalizacji (ang. *multilocation*), a oddzielne życie w różnych miejscach zamieszkania dotyczy coraz większej liczby osób i rodzin[8], generując dodatkowy popyt na podróże. Jednocześnie wzrasta znaczenie podróży związanych z czasem wolnym oraz aktywnym udziałem w życiu kulturalnym. Mimo że częściej podróżują lepiej zarabiający, różnorodna oferta tanich połączeń, dostępna obecnie we wszystkich gałęziach transportu, zwiększa mobilność osób o mniejszych dochodach.

Pod wpływem procesu cyfryzacji gospodarki i społeczeństwa wymogiem współczesnej mobilności staje się efektywne wykorzystanie czasu oraz funkcjonowanie w dwóch równoległych światach: rzeczywistym i wirtualnym[9]. Pozwalają na to nowoczesne urządzenia mobilne, np. netbooki, tablety, smartfony, a także urządzenia do komunikacji głosowej i obrazowej między człowiekiem a systemem cyfrowym (Amazon Echo oraz Amazon Echo Look), które wykształciły wirtualną mobilność (ang. *virtual mobility*). Mówi się o powstaniu nowego typu osobowości *homo mobilis*[10], którą cechują m.in. nowe rozumienie wolności i komfortu życiowego, cybermentalność, potrzeba ciągłego bycia online, dostępu do internetu i komunikowania się za pomocą mediów społecznościowych, a także potrzeba nowych zindywidualizowanych produktów i usług, w pełni dopasowanych do wartości, stylu życia, uczuć i marzeń. Można nawet mówić o „kulturze nanosekundy"[11], kiedy wszystko ma być dostępne natychmiast, czyli na żądanie (ang. *on demand*). Sprostać tym oczekiwaniom mają nowe koncepcje mobilności, które przyjmują różnorodne nazwy: *mobility on demand*, *any time mobility*, *networked mobility*, *integrated mobility*.

Każdy z nowych modeli cechuje się „usieciowieniem" (ang. *connected*), czyli zapewnioną możliwością dostępu do sieci internetowej oraz systemów teleinformatycznych pozwalających na szybkie sprawdzenie aktualnej informacji o podróży w celu wyboru i zaplanowania najbardziej dogodnego sposobu podróżowania oraz doko-

[8] Nazywane w socjologii określeniem LAT, z ang. *living apart together*.

[9] Szerzej koncepcje łączenia rzeczywistości z elementami wirtualnymi (AR, VR, MR) zostały przedstawione w rozdziale K. Nowickiej.

[10] Zob. G. Amar, *Homo Mobilis*. *Le nouvel âge de la mobilité, éloge de la reliance*, FYP 2010.

[11] N. Hatalska, *TrendBook 2011*, s. 16, http://www.hatalska.com/wp-content/uploads/2011/03/trendbook2011.pdf (5.03.2017).

nanie niezbędnych rezerwacji i zapłaty za bilety. Powstające w oparciu o platformy elektroniczne i aplikacje rozwiązania określono mianem mobilności jako usługi (ang. *Mobility as a Service* – MaaS). Do efektywnego funkcjonowania MaaS niezbędne jest zapewnienie szeregu parametrów technicznych i organizacyjnych[12]:

- powszechny dostęp urządzeń do sieci komórkowej o standardzie 3G/4G/5G oraz wysoki poziom jakości sieci telekomunikacyjnych,
- systemy informacji wizualnej oraz mobilne wyszukiwarki dostarczające bezpieczną, dynamiczną i aktualną informację o wariantach podróży,
- systemy zarządzania danymi i platformami,
- integracja infrastruktury transportowej, energetycznej i teleinformatycznej,
- odpowiednio zaprojektowana infrastruktura zintegrowanych węzłów przesiadkowych, uwzględniająca miejsca do parkowania rowerów i samochodów używanych w modelu car-sharingu,
- bezgotówkowe systemy płatnicze.

3. Kierunki rozwoju koncepcji e-mobilności

Koncepcje rozwoju mobilności miejskiej, które pojawiły się w ostatnich pięciu latach, są ściśle powiązane z rozwojem koncepcji inteligentnego miasta (ang. *smart city*)[13]. Początkowo, w latach 90. XX wieku, przy definiowaniu inteligentnego miasta brano pod uwagę przede wszystkim stopień wykorzystania technologii, a zwłaszcza inteligentnych systemów transportowych (ang. *Intelligent Transport Systems* – ITSs) w funkcjonowaniu miast (można to nazwać etapem Smart City 1.0). Obecnie ten element jest w dalszym ciągu istotny, jednakże ogólna koncepcja będzie ewoluowała w kierunku miasta opartego na kapitale ludzkim i przyjaznego dla jego mieszkańców, jak również aktywnym udziale ich mieszkańców w tworzeniu i wykorzystaniu inteligentnych rozwiązań we wszystkich obszarach[14].

Przejawem tzw. inteligentnej mobilności (ang. *smart mobility*) jest dążenie do optymalnego – z punktu widzenia całego systemu – wykorzystywania środków różnych gałęzi transportu, czyli zapewnienie intermodalności, a także zdecydowanie większe zaangażowanie poszczególnych interesariuszy w inicjatywy związane ze zrównoważonym rozwojem miast. W kolejnych dziesięcioleciach wyzwania związane z funkcjonowaniem miast będą dotyczyły nowych modeli biznesowych i zarządzania mobilnością (Smart City 3.0).

W świetle koncepcji inteligentnego miasta e-mobilność powinna być rozumiana jako wielosektorowa strategia rozwoju, obejmująca zarówno rozwój technologii w zakresie magazynowania energii i upowszechnienie na szeroką skalę rowerów i samochodów elektrycznych (w tym hybrydowych elektrycznych, a także wykorzystu-

[12] *The future of mobility: What's next?*, Deloitte University Press 2016, s. 11, https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/3367_Future-of-mobility-whats-next/DUP_Future-of-mobility--whats-next.pdf (5.03.2017).

[13] J. Zawieska, *Inteligentne miasta w Polsce a cele polityki transportowej Unii Europejskiej*, praca doktorska, promotor: J. Pieriegud, SGH, Warszawa 2016, s. 145–146.

[14] Por. B. Cohen, *The 3 Generations of Smart Cites*, https://www.fastcoexist.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities (5.03.2017).

jących wodorowe ogniwa paliwowe) oraz przechodzenie na autonomiczne systemy transportowe, jak i wdrażanie nowych modeli biznesowych w zarządzaniu mobilnością w miastach. Zakłada się, że jednym z elementów ekosystemu e-mobilności w miastach mają być w przyszłości inteligentne sieci energetyczne połączone z elektrycznymi pojazdami (ang. *vehicle-to-grid* – V2G).

Czynnikami przyśpieszającymi rozwój koncepcji e-mobilności są[15]:

- postęp w zakresie technologii napędu samochodów (baterie elektryczne i ogniwa paliwowe) oraz technologii automatycznego prowadzenia pojazdów,
- wykorzystywanie lżejszych materiałów o wyższej wytrzymałości do elementów konstrukcji samochodów,
- rozwój internetu rzeczy i systemów komunikacji: V2I (ang. *vehicle-to-infrastructure*), V2V (*vehicle-to-vehicle*), V2C (*vehicle-to-cloud*),
- zmiany w preferencjach i zachowaniach mieszkańców.

Od szybkości tych ostatnich będzie zależał sukces rozwoju rozwiązań opartych na współdzieleniu zarówno czasu użytkowania samochodów (ang. *car-sharing*), jak i przestrzeni samochodów (ang. *car-pooling*). Kluczowe znaczenie w upowszechnieniu tych rozwiązań jest zapewnienie dostępności środków transportu w tych systemach w czasie i przestrzeni. Co więcej, jak pokazały badania przeprowadzone z inicjatywy International Transport Forum's Corporate Partnership Board (CPB) dotyczące współdzielonej mobilności (ang. *shared mobility*), osiągniecie znaczącej (o 1/3) redukcji emisji CO_2 oraz zwiększenie wolnej przestrzeni parkingowej w miastach będzie możliwe wyłącznie przy radykalnej zmianie modelu mobilności, tj. całkowitym wyeliminowaniu prywatnych samochodów z miast[16]. Jest to jednak postulat modelowy, którego realizacja nie jest możliwa w najbliższych dekadach.

W tabeli 1 zestawione zostały cechy przeszłego (określonego jako Mobilność 1.0), obecnego (Mobilność 2.0) oraz przyszłościowego systemu mobilności miejskiej (Mobilność 3.0), którego wizje są opisywane w różnego rodzaju opracowaniach i raportach[17]. Docelowy model rozwoju tej koncepcji to ekosystem e-mobilności:

- wykorzystujący elektryczne i autonomiczne środki różnych gałęzi transportu,
- usieciowiony i współpracujący z systemem energetycznym,
- oparty na współdzielonych przejazdach mieszkańców.

---

[15] *The future of mobility. How transportation technology and social trends are creating a new business ecosystem*, Deloitte University Press 2015, s. 1, https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/transportation-technology/DUP-1374_Future-of-mobility_vFINAL_4.15.16.pdf (5.03.2017).

[16] *Shared Mobility*, Corporate Partnership Board Report, OECD/ITF, 2016, s. 49–50, https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/shared-mobility-liveable-cities.pdf (20.03.2017).

[17] Zob. S. Singh, *Mega Trends and Their Impact on Future of Mobility*, Frost & Sullivan, 2014, http://www.exportfinland.fi/documents/10304/1549251/Intelligent+Mobility+3.0+Mega_+trends+and+their+impact.pdf (15.03.2017); O. Greiner, M. Deeg, *Mobilitäts-Studie 2012/13 – Mobility 3.0*, Horváth & Partners, Stuttgart, 2013, http://www.ub.unibas.ch/digi/a125/sachdok/2013/BAU_1_6171219.pdf (15.03.2017); *Mobility 2040 – Staying ahead of disruption*, Oliver Wyman, 2016, http://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2016/Nov/Mobility2040Report.pdf (15.03.2017); Seria: *The future of mobility*, Deloitte University Press, https://www2.deloitte.com/us/en/pages/about-deloitte/topics/future-of-mobility.html (5.03.2017).

Tab. 1. **Cechy etapów rozwoju koncepcji mobilności miejskiej w XX i XXI wieku**

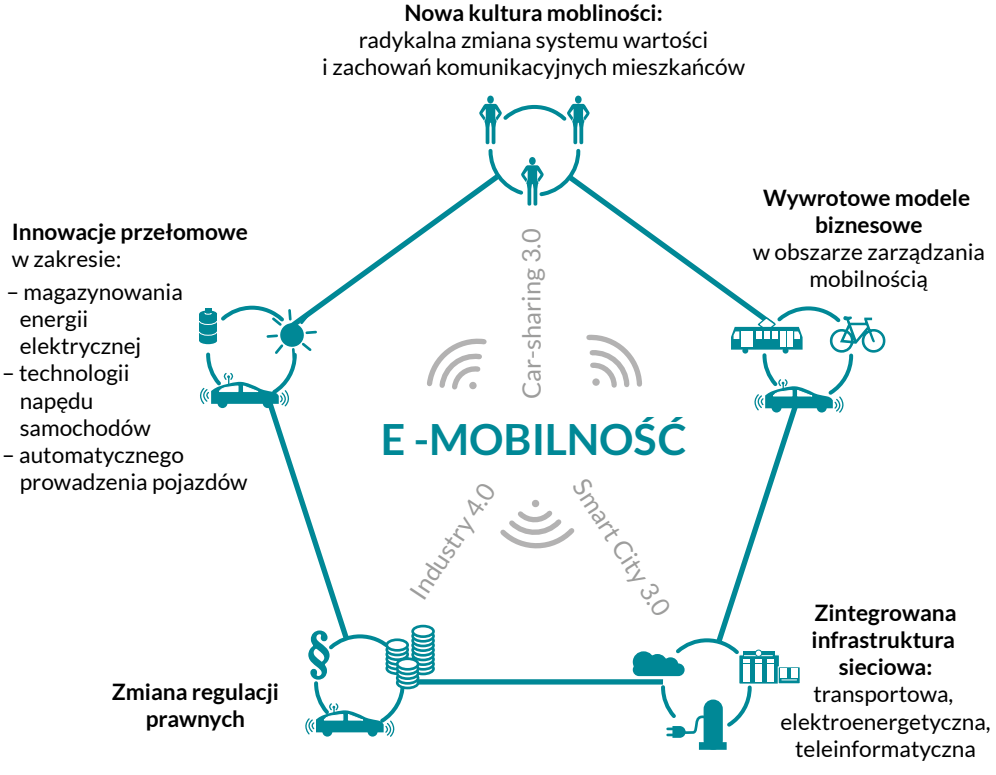
Cecha systemu	**Mobilność 1.0** koniec XIX wieku – lata 50. XX wieku	**Mobilność 2.0** lata 60. XX wieku – ?	**Mobilność 3.0** ?
Model funkcjonowania gospodarki i społeczeństwa (główne źródło utrzymania)	Społeczeństwo przemysłowe (produkcja przemysłowa) **Przemysł 2.0**	Społeczeństwo postindustrialne, gospodarka cyfrowa (wiedza i przetwarzanie informacji) **Przemysł 3.0**	Społeczeństwo współdzielenia, gospodarka okrężna (zasoby wykorzystywane w cyklu zamkniętym) **Przemysł 4.0**
Podstawowe źródła energii w gospodarce	Konwencjonalne (głównie węgiel)	Konwencjonalne (ropa naftowa i węgiel, a także gaz ziemny i uran), rosnąca rola OZE	Dominujące OZE
Podstawowy środek transportu zapewnienia mobilności miejskiej,	Motoryzacja indywidualna (silniki spalinowe) oraz komunikacja publiczna (częściowo zelektryfikowana)	Motoryzacja indywidualna (silniki spalinowe i hybrydowe) oraz komunikacja publiczna (głównie wykorzystująca trakcję elektryczną)	Komunikacja publiczna (prawie wyłącznie trakcja elektryczna) oraz motoryzacja indywidualna (z rosnącym znaczeniem ruchu pojazdów autonomicznych)
w tym niezmechanizowanej	podróże pieszo, pojazdy konne, rower	wdrażanie roweru z napędem elektrycznym	upowszechnienie roweru elektrycznego
Dominujący poziom automatyzacji w transporcie*: – szynowym – samochodowym	 GoA1 L0	 GoA2 L1, L2, L3	 GoA3, GoA4 L4
Podstawowa technologia ICT wspierająca przejazd środka transportu	Radio	Sieci radiowe Komputery pokładowe GPS (nawigatory) Mobilny internet (aplikacje, mapy cyfrowe) Sieci bluetooth	Zintegrowana platforma internetowa (usieciowiony samochód) Wirtualna mobilność (AR, VR, MR)
Dominująca forma modelu biznesowego w: – przejazdach indywidualnych	**Car-sharing 1.0:** – tradycyjne wypożyczalnie samochodów – tradycyjne usługi taksówkowe	**Car-sharing 2.0:** – wypożyczalnie z obsługą przez mobilną aplikację – korporacje cyfrowe umożliwiające jednoczesną pracę dla innej, klasycznej korporacji – platformy pośredniczące w usługach transportowych – car-sharing, bike-sharing, taxi-sharing	**Car-sharing 3.0:** MaaS – system transportowy w pełni zintegrowany z pozostałą infrastrukturą
– komunikacji zbiorowej	Mass transit (tradycyjna komunikacja zbiorowa)	– połączone produkty/usługi – integracja taryfowa – aplikacje do planowania podróży i transakcyjne	
Model inteligentnego miasta	–	**Smart City 1.0**, **Smart City 2.0**	**Smart City 3.0**

*Wyjaśnienie poziomu automatyzacji środków transportu znajduje się w rozdziale B. Gruczy.
Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie

Przegląd wielu publikacji poświęconych nowym koncepcjom mobilności oraz skonfrontowanie tej wiedzy z obecnym poziomem rozwiązań funkcjonujących w miastach pokazuje, że omówione w rozdziale koncepcje są jeszcze na bardzo wczesnym etapie swojego rozwoju nawet w miastach, które przodują w rankingach inteligentnych miast na świecie.

Aby koncepcja e-mobilności (Mobilność 3.0), którą należy uznać za wielowymiarową, wielosektorową koncepcję o cechach innowacji systemowej (ang. *system innovation*)[18], tj. łączącą rozwiązania technologiczne i organizacyjne, stała się rzeczywistością, muszą być spełnione jednocześnie warunki przedstawione na rys. 3. Będzie to niewątpliwie zadaniem niezwykle trudnym, biorąc chociażby pod uwagę fakt, iż mimo że napędy samochodów elektrycznych są udoskonalane od 130 lat, nie znalazły one masowego upowszechnienia w systemach transportowych. Pod koniec lat 70. XX wieku prognozowano, że w 2000 roku ok. 30% wszystkich samochodów na świecie



Rys. 3. **„Złoty" pięciokąt upowszechnienia koncepcji e-mobilności**
Źródło: opracowanie własne.

[18] K. Augenstein, *E-Mobility as a Sustainable System Innovation. Insights from a Captured Niche*, Shaker Verlag, Aachen 2015, http://www.reiner-lemoine-stiftung.de/pdf/dissertationen/Dissertation-Augenstein-Shaker-1.pdf (30.03.2017).

będzie mieć napęd elektryczny[19]. Gdyby prognozy te się sprawdziły nawet w połowie, tę zmianę można byłoby uznać za rewolucję transportową, która miałaby istotny wpływ na dalszy rozwój mobilności miejskiej. Jednakże oczekiwany przełom nie nastąpił. Na początku 2017 roku udział samochodów elektrycznych zarówno na świecie, jak i w Europie był poniżej 1%, a według nawet najbardziej optymistycznych prognoz (m.in. stowarzyszenia zrzeszającego przemysł elektryczny w Europie – Eurelectric) do roku 2035 nie uda się osiągnąć 30-procentowego udziału w rynku.

Jednocześnie poza przełomowymi innowacjami technologicznymi oraz wywrotowymi modelami biznesowymi za największe wyzwanie w procesie upowszechniania e-mobilności należy uznać wykreowane nowej kultury mobilności. Szczególnie w przypadku Polski – jako kraju, w którym rozwój motoryzacji był znacząco opóźniony w stosunku do wielu innych krajów europejskich, a udział podróży samochodem prywatnym w miastach nadal rośnie[20] – brak zmian w preferencjach komunikacyjnych mieszkańców może stanowić istotną barierę we wdrożeniu koncepcji e-mobilności.

Bibliografia

Amar G., *Homo Mobilis*. *Le nouvel âge de la mobilité, éloge de la reliance*, FYP 2010.

Augenstein K., *E-Mobility as a Sustainable System Innovation. Insights from a Captured Niche*, Shaker Verlag, Aachen 2015, http://www.reiner-lemoine-stiftung.de/pdf/dissertationen/Dissertation-Augenstein-Shaker-1.pdf (30.03.2017).

Cohen B., *The 3 Generations of Smart Cites*, https://www.fastcoexist.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities (5.03.2017).

Gilbert R., Perl A., *Transport Revolutions: Moving People and Freight without Oil*, Earthscan 2008.

Greiner O., Deeg M., *Mobilitäts-Studie 2012/13 – Mobility 3.0*, Horváth & Partners, Stuttgart, 2013, http://www.ub.unibas.ch/digi/a125/sachdok/2013/BAU_1_6171219.pdf (15.03.2017).

Hatalska N., *TrendBook 2011*, http://www.hatalska.com/wp-content/uploads/2011/03/trendbook2011.pdf (5.03.2017).

Komornicki T., *Przemiany mobilności codziennej Polaków na tle rozwoju motoryzacji*, „Prace Geograficzne" nr 227, IGiPZ PAN, Warszawa 2011.

Madeyski M., Lissowska E., Morawski W., *Transport. Rozwój i integracja*, WKŁ, Warszawa 1978.

Mobility 2040 – Staying ahead of disruption, Oliver Wyman, 2016, http://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2016/Nov/Mobility2040Report.pdf (15.03.2017).

[19] G. Wirbitzky, *Zeitgerechte Enwicklungen bei Ommnibus-Antrieben*, „Nahverkehrpraxis", 1979, nr 9, cyt. za: J. Opava, *Napęd elektryczny w samochodach*, w: *Rozwój środków transportu*, Międzynarodowy Rocznik Transportu, NADAS, Transpress, WKŁ, 1981, s. 142.

[20] Zob. T. Komornicki, *dz. cyt.*; J. Zawieska, *Zachowania i preferencje komunikacyjne mieszkańców Warszawy w kontekście zmian społeczno-ekonomicznych w latach 1993–2015*, „Transport Miejski i Regionalny", 2017, nr 3, s. 17–23.

Opava J., *Napęd elektryczny w samochodach*, w: *Rozwój środków transportu*, Międzynarodowy Rocznik Transportu, NADAS, Transpress, WKŁ, 1981.
Paprocki W., *Bezbronny naturysta w objęciach circular economy*, „Gazeta SGH", 2016, nr 11, http://www.paprocki.pl/pliki/Publicystyka/Gazeta_SGH_332_11_2016_listopad_2016s34-35.pdf (3.03.2017).
Shared Mobility, Corporate Partnership Board Report, OECD/ITF, 2016, https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/shared-mobility-liveable-cities.pdf (20.03.2017).
Singh S., *Mega Trends and Their Impact on Future of Mobility*, Frost & Sullivan, 2014, http://www.exportfinland.fi/documents/10304/1549251/Intelligent+Mobility+3.0+Mega_+trends+and+their+impact.pdf (15.03.2017).
Szołtysek J., *Kreowanie mobilności mieszkańców miast*, Wolters Kluwer Polska, Warszawa 2011.
The future of mobility. How transportation technology and social trends are creating a new business ecosystem, Deloitte University Press 2015, https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/transportation-technology/DUP-1374_Future-of-mobility_vFINAL_4.15.16.pdf (5.03.2017).
The future of mobility: What's next?, Deloitte University Press 2016, https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/3367_Future-of-mobility-whats-next/DUP_Future-of-mobility-whats-next.pdf (5.03.2017).
Urry J., *Socjologia mobilności*, PWN, Warszawa 2009.
Wirbitzky G., *Zeitgerechte Enwicklungen bei Ommnibus-Antrieben*, „Nahverkehrpraxis", 1979, nr 9.
Zawieska J., *Inteligentne miasta w Polsce a cele polityki transportowej Unii Europejskiej*, praca doktorska, promotor: J. Pieriegud, SGH, Warszawa 2016.
Zawieska J., *Zachowania i preferencje komunikacyjne mieszkańców Warszawy w kontekście zmian społeczno-ekonomicznych w latach 1993–2015*, „Transport Miejski i Regionalny", 2017, nr 3.
World Bank, *Atlas of Sustainable Development Goals 2017: From World Development Indicators. World Bank Atlas*, Washington, DC, 2017, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26306 (18.04.2017).

Streszczenie

W ciągu ostatnich pięciu lat powstało wiele koncepcji mobilności (m.in. *mobility on demand*, *smart mobility*, *shared mobility*, *integrated mobility*, *e-mobility*), których rozwój jest związany z funkcjonowaniem tzw. inteligentnych miast i wymaga głębokiej konwergencji trzech sektorów sieciowych: transportowego, energetycznego i teleinformatycznego. Tempo i kierunki transformacji tych koncepcji będą uzależnione od różnorodnych czynników o charakterze technologicznym, społecznym, kulturowym, ekologicznym i ekonomicznym. W wielu wizjach rozwojowych zakłada się, że w przyszłości mają się wykształcić ekosystemy e-mobilności, w których dominującym środkiem transportu będą elektryczne, autonomiczne oraz usieciowione pojazdy, współpracujące z inteligentnymi sieciami elektroenergetycznymi. Do warunków niezbędnych do upowszechnienia koncepcji e-mobilności w opracowaniu zaliczono: przełomowe innowacje technologiczne, wywrotowe modele w obszarze zarządzania mobilnością, utworzenie zintegrowanej infrastruktury, zmiany regulacji prawnych, a także wykształcenie nowej kultury mobilności, która pozwoliłaby na rozwój rozwiązań opartych na współdzieleniu środków transportu dostępnych „na żądanie" zamiast dominującego obecnie modelu posiadania samochodu osobowego. Brak radykalnej zmiany w zakresie preferencji komunikacyjnych mieszkańców może stanowić istotną barierę we wdrożeniu koncepcji e-mobilności w Polsce.

E-MOBILITY AS A CONCEPT OF NETWORK INDUSTRY DEVELOPMENT

SUMMARY

In the past five years, a number of mobility concepts (such as: mobility on demand, smart mobility, shared mobility, integrated mobility, e-mobility) have emerged. Their deployment is linked to the idea of a smart city and it requires a deep convergence of three network industries: transport, energy and ICT. The dynamics and the directions of transformation of these concepts will depend on a variety of technological, social, cultural, ecological and economic factors. The various scenarios predict that electric, autonomous, connected and integrated with smart grids vehicles will dominate in the e-mobility ecosystems. The necessary conditions for the transformation of e-mobility concept include: breakthrough technological innovations and digital mobility management models, the integrated infrastructure development, regulatory changes as well as the creation of a new mobility culture that would enable the development of solutions based on the shared vehicle fleet available on demand instead of current dominant model of car ownership. A failure to change travel behaviour preferences may be a significant barrier to the implementation of the e-mobility concept in Poland.

Dr Jakub Zawieska

Adiunkt w Zakładzie Systemów Zarządzania i Telematyki Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Warszawie. Absolwent Politechniki Warszawskiej oraz Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie. Stopień naukowy doktora nauk ekonomicznych uzyskał w Kolegium Zarządzania i Finansów SGH w 2017 roku. Zajmuje się problematyką zrównoważonej mobilności, ekonomiki transportu, aspektami implementacji i kreowania polityki transportowej, a także koncepcją inteligentnych miast. W latach 2012–2013 przebywał na stypendium naukowym Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) w Lisbon School of Economics and Management (ISEG) oraz Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), w Lizbonie, gdzie zdobywał wiedzę i doświadczenie w zakresie teoretycznych i metodologicznych aspektów polityki transportowej i ekonomiki transportu, m.in. w zakresie internalizacji środowiskowych zewnętrznych kosztów w sektorze transportu.

Jakub Zawieska

Koncepcja e-mobilności w świetle polityki klimatycznej i transportowej Unii Europejskiej i Polski

Wprowadzenie

W ostatnich dekadach na całym świecie nastąpił wyraźny wzrost wiedzy i świadomości na temat szkodliwych skutków działalności człowieka dla środowiska naturalnego. Efektem tych tendencji jest dążenie do tzw. zrównoważonego rozwoju (ang. *sustainable development*), także w odniesieniu do kształtowania systemów zrównoważonego transportu (ang. *sustainable transport*) oraz zrównoważonych i inteligentnych miast (ang. *sustainable cities* oraz *smart cities*). Rozwój e-mobilności odgrywa znaczącą rolę w obu obszarach.

Idea zrównoważonego rozwoju jest implementowana we wszystkich sektorach gospodarki, także w transporcie. Pierwszym etapem w tych działaniach jest wypracowanie odpowiednich dokumentów programowych i planów działań strategicznych. W przypadku koncepcji e-mobilności główną rolę działań strategicznych odgrywa polityka transportowa, w ogólnym rozumieniu definiowana przez A. Predohla jako „kształtowanie transportu przez publiczno-prawne organizacje i instytucje", a także jako „działalność głównych podmiotów i występujących z ich ramienia organów mająca na celu zapewnienie ilościowej, przestrzennej i we właściwym czasie dostępności, usług transportowych o optymalnej strukturze przy danych zasobach inwestycyjnych i eksploatacyjnych"[1]. Z kolei polityka klimatyczna jest rozumiana jako „działania podejmowane w związku ze wdrażaniem Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC) oraz działania w zakresie adaptacji do już zachodzących zmian klimatu"[2]. Oba rodzaje działań są komplementarne i pokrywają się w wielu obszarach. Rozdział prezentuje współczesną politykę transportową oraz klimatyczną UE oraz Polski, z naciskiem na analizę znaczenia i wizji rozwoju e-mobilności oraz koncepcji zrównoważonego transportu na obu polach.

[1] W. Grzywacz, K. Wojewódzka-Król, W. Rydzkowski, *Polityka transportowa*, Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2005, s. 9.

[2] https://www.mos.gov.pl/srodowisko/polityka-klimatyczna/ (dostęp 7.04.2017).

1. Polityka klimatyczna i transportowa Unii Europejskiej

Ochrona klimatu jest istotnym punktem polityki rozwojowej UE. Polityka klimatyczna to obszerny zakres działań uwzględniony w wielu porozumieniach i agendach oraz obejmujący wszystkie najważniejsze sektory gospodarki, w tym także sektor transportu.

Poniżej zostały omówione najważniejsze działania UE w obszarze ochrony klimatu oraz wdrażania koncepcji zrównoważonego transportu, obejmującej także pojęcie e-mobilności. Przedstawione dokumenty zostały ujęte w kolejności chronologicznej ich uchwalania oraz w podziale na dokumenty strategiczne, określające rekomendowane przez KE kierunki działań i rozwoju, oraz dokumenty legislacyjne, nakładające konkretne zobowiązania na wszystkie państwa członkowskie.

1.1. Dokumenty strategiczne

Założenia *Pakietu klimatyczno-energetycznego* zostały opracowane w 2007 roku, a odpowiednie przepisy przyjęte dwa lata później. Pakiet ten, nazywany także „3 × 20", określa cele polityki UE w obszarze ochrony klimatu do 2020 roku[3]. Dotyczy przede wszystkim poziomu emisji gazów cieplarnianych (GHG) oraz stopnia wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych (OZE). Dokument ustanawia trzy główne cele:

- redukcję GHG na poziomie 20% do 2020 roku w porównaniu do roku bazowego 1990 z możliwością podniesienia tego celu do 30% przypadku osiągnięcia globalnego porozumienia klimatycznego;
- udział OZE w finalnym zużyciu energii brutto na poziomie 20% w 2020 roku;
- wzrost efektywności energetycznej o 20% do 2020 roku.

Realizacja celu redukcji GHG o 20% została dodatkowo podzielona na dwie części. W sektorach objętych Europejskim Systemem Handlu Uprawnieniami do Emisji (EU ETS) – zaplanowano redukcję o 21% w odniesieniu do 2005 roku. W tym obszarze ustanowiono jeden cel ogólnoeuropejski. Natomiast dla sektorów będących poza EU ETS zaplanowano redukcję na poziomie 10%, także w odniesieniu do 2005 roku. W tym obszarze każde z państw ma ustanowiony indywidualny cel redukcyjny, przykładowo Polska zobowiązana jest do ograniczenia wzrostu emisji o 14%.

Pakiet został zaktualizowany w 2014 roku. Uzgodniono wówczas, że do 2030 roku kraje członkowskie UE zredukują poziom emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 40% poniżej poziomu z 1990 roku. Cel ten ma charakter prawnie wiążący i ma zostać osiągnięty w sposób, który zapewni sprawiedliwy podział obciążeń pomiędzy poszczególne kraje. Zaktualizowane porozumienie przewiduje, że udział energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii w UE wyniesie co najmniej 27% w 2030 roku. Cel ten będzie wiążący na poziomie całej Unii, ale nie będzie obligato-

[3] *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – 20 20 by 2020 – Europe's climate change opportunity,* COM (2008) 13 final. Brussels, 23.1.2008.

ryjny dla poszczególnych państw członkowskich, które podzielą się wymaganą redukcją.

Strategia *Europa 2020 na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu* jest jednym z filarów polityki UE i przedstawia długoterminową wizję rozwoju Europy do 2020 roku[4]. Została przyjęta 17 czerwca 2010 roku i nakreśliła trzy priorytetowe obszary rozwoju dla Unii Europejskiej:

1. Wzrost inteligentny (ang. *smart growth*), czyli rozwój gospodarki opartej na wiedzy i innowacjach.

2. Wzrost zrównoważony (ang. *sustainable growth*), czyli transformacja w kierunku gospodarki niskoemisyjnej i konkurencyjnej, efektywniej korzystającej z zasobów.

3. Wzrost sprzyjający włączeniu społecznemu (ang. *inclusive growth*), czyli rozwój wspierający rozwiązania gospodarcze charakteryzujące się wysokim poziomem zatrudnienia i zapewniające spójność gospodarczą, społeczną i terytorialną.

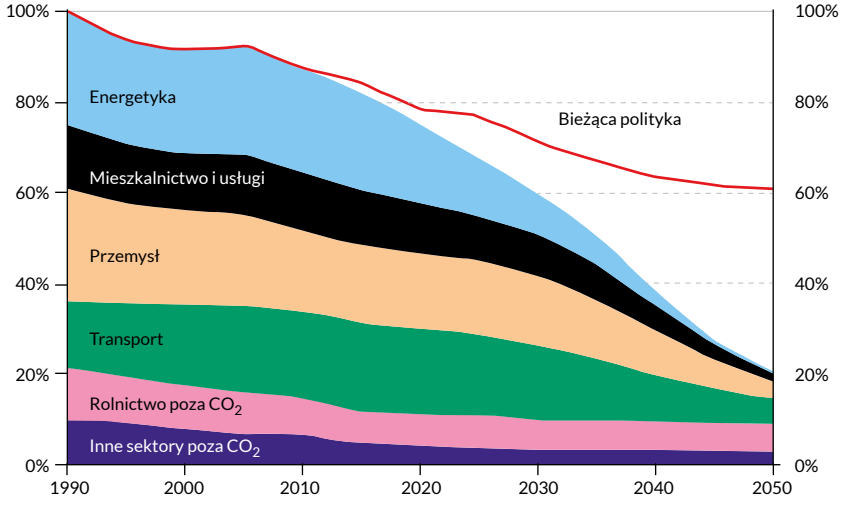
Dodatkowo, wśród pięciu celów głównych strategii, cel trzeci powtarza cele wymienianego pakietu klimatyczno-energetycznego, tu nazwane celami 20/20/20 (ang. *20/20/20 Climate Action Goals*). Nawiązanie do koncepcji e-mobilności można znaleźć w jednej z siedmiu inicjatyw przewodnich (ang. *flagship initiatives*) zawartych w strategii *Europa efektywnie korzystająca z zasobów*. Zakłada ona utworzenie inteligentnych i zintegrowanych sieci energetycznych i transportowych w pełni korzystających z potencjału ICT, ze szczególnym uwzględnieniem transportu w miastach. Ponadto KE zobowiązała się, że w okresie obowiązywania strategii będzie dążyła do modernizacji sektora transportu i zmniejszenia jego udziału w emisji CO_2. Ważną rekomendacją KE jest także zachęcenie do faworyzowania w wydatkach budżetowych takich elementów, jak wzajemnie połączone sieci infrastruktury transportowej i energetycznej stanowiących podstawę szerszego zastosowana pojazdów elektrycznych.

Energetyczna mapa drogowa do roku 2050 roku jest przedłużeniem pakietu klimatyczno-energetycznego, a Komunikat KE w tej sprawie został przyjęty z końcem 2011 roku[5]. W dokumencie podkreślono potrzebę transformacji sektora energetyki oraz zidentyfikowano kluczowe wyzwania, priorytety i kierunki działań w następnych dekadach. Komunikat wyznacza też szereg „kamieni milowych" przejścia na gospodarkę niskowęglową do 2050 roku. Dokument zakłada przede wszystkim dekarbonizację sektora energetycznego oraz redukcję emisji gazów cieplarnianych o 80–95%. Dokument przedstawia dwie grupy scenariuszy rozwoju sektora energetyki: scenariusze oparte na obecnych tendencjach oraz scenariusze dekarbozacyjne, które przewidują przejście z obecnych systemów o wysokich kosztach paliwa oraz wysokich kosztach operacyjnych do przyszłych systemów opartych na wyższych nakładach kapitałowych i niskich kosztach paliwa.

[4] *Komunikat Komisji EUROPA 2020. Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu*, KOM (2010) 2020 wersja ostateczna, Bruksela, 3.3.2010.

[5] *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Plan działania w zakresie energii do roku 2050*, KOM(2011) 885 wersja ostateczna, Bruksela, 15.12.2011.

Plan działania prowadzący do przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r.[6] przyjęty wraz z *Białą Księgą Transportu 2011* i planem na rzecz efektywności energetycznej z 2011 roku jest kluczowym elementem polityki efektywnego korzystania z zasobów prowadzonej przez UE. Zaprezentowano w nim plan potencjalnych działań na okres do 2050 roku, które mógłby umożliwić UE osiągnięcie celów w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych zgodnie z uzgodnioną wartością docelową wynoszącą 80–95%. Dokument przedstawia m.in. ścieżkę do osiągnięcia 80% redukcji do 2050 roku podzieloną na 5-letnie etapy. Prognoza „referencyjna" pokazuje rozwój sytuacji w zakresie emisji GHG przy założeniu realizacji obecnych strategii. Scenariusz ten szacuje także rozwój sytuacji w poszczególnych sektorach przy wdrożeniu dodatkowych działań i przy uwzględnieniu nowych możliwości technologicznych (rys. 1).



Rys. 1. **Prognozy redukcyjne dla poszczególnych sektorów w UE do 2050 roku**
Źródło: http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050/index_en.htm (10.03.2017).

W analizie KE zbadano również ścieżki postępowania w najważniejszych sektorach, w tym także w sektorze transportu. Według założeń dokumentu do 2025 roku najważniejszym czynnikiem pozwalającym na zatrzymanie i odwrócenie wzrostu emisji GHG w sektorze transportu będzie prawdopodobnie większa efektywność paliwowa pojazdów. Strategia zakłada zastosowanie takich narzędzi, jak: systemy opłat za korzystanie z infrastruktury transportowej oraz emisję zanieczyszczeń, inteligentne planowanie przestrzenne i poprawę funkcjonowania transportu publicznego w celu rzeczywistego ograniczenia emisji z transportu do 2030 roku. W myśl przedstawionych założeń w przyszłości powinien przyśpieszyć także rozwój technologii

[6] *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Plan działania prowadzący do przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r.*, KOM(2011) 112 wersja ostateczna, Bruksela, 8.3.2011.

silników hybrydowych oraz proces wykorzystania niskoemisyjnych pojazdów we wszystkich gałęziach transportu.

Biała Księga Transportu z 2011 roku zatytułowana *Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu*[7] jest aktualnie jednym z najważniejszych dokumentów dotyczących polityki transportowej w Unii Europejskiej. Strategia została przyjęta w 2011 roku i wyznaczyła szereg długoterminowych celów (do 2050 roku) oraz 40 inicjatyw mających na celu budowanie konkurencyjnego, a jednocześnie zrównoważonego transportu w krajach członkowskich UE.

Nadrzędnym celem polityki transportowej UE postawionym w *Białej Księdze Transportu 2011* jest obniżenie emisji GHG z sektora transportu o 60% do 2050 roku przy zapewnieniu wzrostu sektora transportu oraz mobilności jego użytkowników. Jako cel przejściowy przyjęto natomiast redukcję emisji z sektora transportu o 20% w okresie 2008–2030. Biorąc pod uwagę historyczne trendy dotyczące wielkości emisji GHG z sektora transportu, będzie to jednak bardzo trudne zadanie. Według założeń Komisji Europejskiej osiągnięcie takiej redukcji wymagało będzie m.in. radykalnego zmniejszenia zależności sektora transportu od ropy naftowej i 70% redukcję ilości wykorzystywanego paliwa z tego źródła. Mimo to, że obecnie taki cel wydaje się mało realny, wdrażanie koncepcji e-mobilności jest z pewnością jedną z ważniejszych dróg realizacji tego założenia.

Realizacja celu głównego *Białej Księgi Transportu 2011* ma także być wsparta osiągnięciem szeregu celów szczegółowych. Dla koncepcji e-mobilności najważniejsze znaczenie mają dwa z nich. Cel szczegółowy nr 1, zakładający zmniejszenie o połowę liczby samochodów o napędzie konwencjonalnym w transporcie miejskim do 2030 roku oraz eliminację ich z miast do 2050 roku, a także osiągnięcie zasadniczo wolnej od emisji CO_2 logistyki w dużych ośrodkach miejskich do 2030 roku. Natomiast cel szczegółowy nr 10 zakłada przejście na pełne zastosowanie zasad „użytkownik płaci" i „zanieczyszczający płaci", co także będzie promować pojazdy elektryczne. Należy jednak zaznaczyć, że realizacja obu celów spotyka się ze znaczącymi trudnościami[8]. W 2014 roku udział pojazdów napędzanych paliwem alternatywnym w kategorii nowych pojazdów pasażerskich w UE-28 wynosił zaledwie 2,7%, co jest zdecydowanie niewystarczającym wynikiem, jeśli chcemy, aby do 2030 roku zastąpiły one połowę tradycyjnie napędzanych pojazdów. Istotnym problemem pozostaje także brak odpowiednich danych pozwalających na monitorowanie systemów transportowych w miastach i weryfikację stopnia realizacji obu postawionych celów.

Najbardziej obszernym dokumentem bezpośrednio dotyczącym transportu zrównoważonego na terenach zurbanizowanych, jest tzw. *Pakiet na rzecz mobilności w mia-*

[7] *Biała Księga. Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu*, KOM (2011) 144 wersja ostateczna, Bruksela, 28.3.2011.

[8] *Commission Staff Working Document. The implementation of the 2011 White Paper on Transport "Roadmap to a Single European Transport Area – towards a competitive and resource-efficient transport system" five years after its publication: achievements and challenges*, SWD (2016) 226 final, Brussels, 1.7.2016.

stach (*Urban Mobility Package*), przyjęty przez Komisję Europejską w grudniu 2013 roku. Składa się on z Komunikatu KE *Wspólne dążenie do osiągnięcia konkurencyjnej i zasobooszczędnej mobilności w miastach*[9] uzupełnionego przez dokumenty pomocnicze i załączniki.

W wymienionych dokumentach Komisja Europejska zachęca do wprowadzania zasadniczych zmian w podejściu do kreowania i zarządzania mobilnością w miastach. Jednocześnie deklaruje dalsze wspieranie działań i rozwiązań na rzecz zrównoważonego transportu miejskiego, m.in.: poprzez wymianę doświadczeń i dobrych praktyk, zapewnienie wsparcia finansowego oraz wzmacnianie współpracy międzynarodowej. W komunikacie podkreślono potrzebę i skuteczność stosowania planów dotyczących mobilności w miastach zgodnej z zasadami zrównoważonego rozwoju (*Sustainable Urban Mobility Plans,* SUMP), sporządzanych na podstawie wytycznych opracowanych przez KE i także promujących szersze korzystanie z pojazdów elektrycznych[10]. W pozostałych dokumentach towarzyszących komunikatowi znajdują się zalecenia KE dotyczące najważniejszych obszarów zarządzania transportem w miastach. Dużą wagę przywiązano do inteligentnych rozwiązań, spójnych z także koncepcją e-mobilności.

Europejska strategia na rzecz mobilności niskoemisyjnej (*European Strategy for Low--Emission Mobility*) jest najnowszym dokumentem strategicznym w obszarze transportu zrównoważonego opublikowanym przez Komisję Europejską[11]. Znacząca część dokumentu jest bezpośrednio poświęcona idei elektromobilności. W myśl tej strategii działania podejmowane w celu osiągnięcia mobilności niskoemisyjnej w Europie powinny koncentrować się na obszarze transportu drogowego, odpowiedzialnego za 70% emisji GHG z całego sektora transportu. Dokument określa szereg rekomendacji dotyczących działań mogących wspierać proces przechodzenia na mobilność niskoemisyjną. Wyróżnia trzy kluczowe grupy czynników gwarantujących powodzenie tego działania:

1. Bardziej efektywny system transportowy.
2. Niskoemisyjne, alternatywne źródła energii na potrzeby transportu.
3. Pojazdy niskoemisyjne i bezemisyjne.

Koncepcji e-mobilności bezpośrednio są poświęcone zwłaszcza działania rekomendowane w dwóch ostatnich punktach. Dokument promuje m.in. aktywne tworzenie infrastruktury na potrzeby paliw alternatywnych przez państwa członkowskie. Według Komisji Europejskiej odpowiednia sieć punktów ładowania pojazdów elek-

---

[9] *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Wspólne dążenie do osiągnięcia konkurencyjnej i zasobooszczędnej mobilności w miastach.* KOM (2013) 913 wersja ostateczna, Bruksela, 17.12.2013.

[10] *Wytyczne. Opracowanie i wdrożenie Planu Zrównoważonej Mobilności Miejskiej,* Europejska Platforma dotycząca Planów Zrównoważonej Mobilności, Komisja Europejska, Generalny Dyrektoriat ds. Mobilności i Transportu, Bruksela 2014.

[11] *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejska strategia na rzecz mobilności niskoemisyjnej,* COM (2016) 501 wersja ostateczna, Bruksela, 20.07.2016.

trycznych jest jednym z kluczowych czynników niezbędnych do ich szerszej popularyzacji i akceptacji. UE zamierza wspierać ten proces m.in. za pomocą środków finansowych z Europejskiego Funduszu na rzecz Inwestycji Strategicznych.

Przyjęta strategia zwraca także uwagę na potrzebę normalizacji i interoperacyjności szeroko pojętej elektromobliności. Dotyczy to zwłaszcza technologii ładowania pojazdów elektrycznych, która obecnie stosuje wiele zróżnicowanych wtyczek i niekompatybilnych ze sobą rozwiązań, co stanowi jedną z ważniejszych barier w rozwoju tego sektora.

Działania rekomendowane w obszarze promowania i wdrażania pojazdów nisko- i bezemisyjnych obejmują natomiast m.in. poprawę w zakresie badań pojazdów w celu odzyskania zaufania konsumentów, znacznie zmniejszonego po ujawnieniu w 2015 roku stosowania przez niektórych producentów pojazdów rozwiązań modyfikujących poziomy emisji spalin. Nowa strategia KE zakłada zmiany w sposobach pomiaru i weryfikację emisji w rzeczywistych warunkach jazdy. Dokument planuje także opracowanie nowych norm efektywności paliwowej dla samochodów osobowych i dostawczych na okres po 2020 roku. W myśl zapisów strategii, do 2030 roku pojazdy bezemisyjne powinny zyskać znaczny udział na rynku motoryzacyjnym. W dokumencie zaznaczono także potrzebę aktywnego ograniczania emisji z samochodów ciężarowych, autobusów i autokarów odpowiedzialnych za około 25% emisji CO_2 z całego transportu drogowego.

Strategia rekomenduje zastosowanie technologii bezemisyjnych, m.in. napędu elektrycznego, w pierwszej kolejności w transporcie publicznym na terenach zurbanizowanych. Może to mieć znaczący wpływ na redukcję emisji z sektora transportu publicznego i rozwój e-mobilności zwłaszcza w mniejszych miastach; w większych aglomeracjach podstawowe potoki pasażerów są już teraz w większości obsługiwane przez transport elektryczny, głównie szynowy (kolej, metro i tramwaje). Według zapisów strategii rozwój mobilności niskoemisyjnej w Europie powinien być także dodatkowo wsparty przez lepsze powiązanie systemu transportowego i energetycznego oraz odpowiednie inicjatywy i programy badawcze w obszarze badań naukowych.

1.2. Dyrektywy i dokumenty legislacyjne

Omówione powyżej dokumenty określają ramy polityki UE, jednak nie są to dokumenty wiążące dla państw członkowskich, stanowią jedynie wytyczne i zalecane kierunki rozwoju. Niemniej jednak polityka UE w kontekście ograniczania emisyjności sektora transportu obejmuje także akty prawne nakładające konkretne obowiązki na poszczególne państwa. Poniższe zestawienie prezentuje najważniejsze dokumenty legislacyjne z polityki klimatycznej i transportowej UE przedstawione w ujęciu chronologicznym.

Rozporządzenie w sprawie homologacji pojazdów silnikowych w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń[12] z 2007 roku określa wymogi w zakresie emisji zanieczyszczeń

[12] Rozporządzenie (WE) NR 715/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie homologacji typu pojazdów silnikowych w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń pochodzących z lekkich pojazdów pasażerskich i użytkowych (Euro 5 i Euro 6) oraz w sprawie dostępu do informacji dotyczących naprawy i utrzymania pojazdów (Dz. Urz. UE L 171/1 z 29.6.2007).

pojazdów silnikowych oraz ich specyficznych części zamiennych na rzecz ograniczenia zanieczyszczeń powodowanych przez pojazdy ruchu drogowego. Dokument wskazuje m.in. potrzebę nieograniczonego dostępu do informacji dotyczących naprawy pojazdów oraz rozpowszechnienie szybkiej produkcji pojazdów zgodnych z przepisami. Ujednolica także wymogi techniczne w zakresie homologacji typu pojazdów silnikowych pod kątem emisji zanieczyszczeń. Ma to wyeliminować różnice między wymogami ustanowionymi przez poszczególne państwa członkowskie i zagwarantować wysoki poziom ochrony środowiska naturalnego. Dokument odnosi się do dużej liczby emitowanych substancji i wskazuje odpowiednie normy dla każdej kategorii emisji zanieczyszczeń oraz kategorii pojazdów. Według przyjętych zapisów państwa członkowskie UE mają obowiązek odmówić rejestracji i sprzedaży pojazdów, które nie spełniają podanych wartości dopuszczalnych dla norm Euro 5 i Euro 6. Również producenci pojazdów są zobowiązani przestrzegać wartości dopuszczalnych norm, a także zagwarantować trwałość urządzeń kontrolujących emisję na minimum 160 tys. km przebiegu.

Emisja CO_2 z nowych samochodów osobowych jest regulowana przez rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 roku określające normy emisji dla nowych samochodów osobowych[13]. W rozporządzeniu określono średni poziom emisji CO_2 dla nowych samochodów, wynoszący 130 g CO_2/km. Natomiast od 2020 roku poziom ten musi być zmniejszony do 95 g CO_2/km. Przepisy rozporządzenia dotyczą pojazdów zaprojektowanych do przewozu osób, mających nie więcej niż osiem siedzeń oprócz siedzenia kierowcy. Obliczenia poziomów emisji muszą być wykonywane przez każdego producenta pojazdów, a rozporządzenie określa odpowiednie wzory ich obliczania. W przypadku przekroczenia dopuszczalnych poziomów producent jest zobowiązany do dodatkowych opłat. Według dokumentu każde państwo członkowskie UE ma obowiązek ewidencjonowania szczegółowych informacji w odniesieniu do każdego nowego samochodu osobowego zarejestrowanego na ich terytorium.

Dyrektywa w sprawie odnawialnych źródeł energii reguluje stosowanie odnawialnych źródeł energii w transporcie z 2009 roku[14] i kładzie nacisk na zrównoważony charakter produkcji biopaliw i biopłynów. Dyrektywa nakłada na każde państwo członkowskie obowiązkowy, minimalny udział energii ze źródeł odnawialnych we wszystkich rodzajach transportu w transporcie do 2020 roku w wysokości 10%. Dokument zakłada, że ma on zostać zrealizowany nie tylko w sposób efektywny pod względem kosztów, lecz także mieć trwały charakter. W myśl przyjętych przepisów całkowita ilość energii zużytej w transporcie ma uwzględniać benzynę, olej napędowy i biopaliwa, a także energię elektryczną ze źródeł odnawialnych zużyte w transporcie

[13] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 r. określające normy emisji dla nowych samochodów osobowych w ramach zintegrowanego podejścia Wspólnoty na rzecz zmniejszenia emisji CO2 z lekkich pojazdów dostawczych (Dz. Urz. UE L 140 z 5.6.2009).

[14] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca Dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dz. Urz. UE L 140/16 z 5.6.2009).

drogowym i kolejowym. W kontekście e-mobilności istotny jest fakt, że dokument ten wyraźnie promuje korzystanie z pojazdów elektrycznych. Przy obliczeniu ilości energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii zużywanej przez elektryczne pojazdy drogowe uznaje się, że zużycie to jest równe pomnożonej przez 2,5 wartości energetycznej przypadającej na pobraną energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii.

Dyrektywa w sprawie specyfikacji benzyny i olejów napędowych przyjęta w 2009 roku[15] uzupełnia obowiązujące dotychczas unijne akty prawne regulujące czystość paliw o mechanizm monitorowania i ograniczania emisji gazów cieplarnianych w związku z wykorzystywaniem paliw i energii elektrycznej m.in. we wszystkich pojazdach w transporcie drogowym. W myśl powyższego dokumentu państwa członkowskie UE mają obowiązek dopilnowania, by dostawcy paliw wraz z informacją o całkowitej wielkości dostarczonego paliwa oraz energii elektrycznej przekazywali informacje na temat emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia w przeliczeniu na jednostkę dostarczonej energii. Oprócz tego państwa członkowskie mają nałożyć na dostawców obowiązek stopniowego zmniejszania emisji gazów cieplarnianych minimalnie o 6%, a maksymalnie o 10%, do dnia 31 grudnia 2020 roku. Ta redukcja odnosi się do wszystkich ropopochodnych rodzajów paliw stosowanych w transporcie drogowym oraz powinna zostać uzyskana poprzez stosowanie biopaliw, paliw alternatywnych i ograniczenia w spalaniu i uwalnianiu gazów do atmosfery w miejscach produkcji.

Rozporządzenie określające normy emisji CO_2 dla nowych lekkich samochodów dostawczych z 2011 roku[16] określa średni poziom emisji CO_2 dla nowych lekkich samochodów dostawczych na poziomie 175 g/km od 2017 roku. Cel ten ma zostać osiągnięty poprzez udoskonalenie technologii pojazdów oraz dzięki technologiom innowacyjnym. Powyższe rozporządzenie ustanawia także od 2020 roku wartość docelową 147 g CO_2/km dla średniego poziomu emisji z nowych lekkich samochodów dostawczych zarejestrowanych w UE.

Dyrektywa w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych przyjęta w 2014 roku[17] ma za zadanie ustanowienie ram niezbędnych do zminimalizowania zależności od ropy naftowej oraz zmniejszania negatywnego oddziaływania transportu na środowisko. Dyrektywa dotyczy wszystkich rodzajów alternatywnych paliw i technologii napędu, a zatem reguluje wiele istotnych kwestii w obszarze elektromobliności. W dokumencie podkreślono m.in. znaczenie energii elektrycznej w procesie zwiększania efektywności energetycznej pojazdów transportu drogowego i wskazano

[15] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/30/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca Dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do specyfikacji benzyny i olejów napędowych oraz wprowadzającą mechanizm monitorowania i ograniczania emisji gazów cieplarnianych oraz zmieniająca Dyrektywę Rady 1999/32/WE odnoszącą się do specyfikacji paliw wykorzystywanych przez statki żeglugi śródlądowej oraz uchylająca Dyrektywę 93/12/EWG (Dz. Urz. UE L 140/88 z 5.6.2009).

[16] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 510/2011 z dnia 11 maja 2011 r. określające normy emisji dla nowych lekkich samochodów dostawczych w ramach zintegrowanego podejścia Unii na rzecz zmniejszenia emisji CO_2 z lekkich pojazdów dostawczych (Dz. Urz. UE L 145/1 z 31.5.2011).

[17] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (Dz. Urz. UE L 301/1 z 28.10.2014).

na potrzebę stworzenia przez państwa członkowskie odpowiedniej infrastruktury dostarczania takiej energii. Infrastruktura ta powinna uwzględniać nie tylko najszerzej obecnie stosowaną technologię złączeń kablowych, lecz także ładowanie bezprzewodowe lub wymianę akumulatorów. Według przyjętych przepisów do 31 grudnia 2020 roku wszystkie państwa członkowskie mają obowiązek utworzyć odpowiednią liczbę publicznych punktów ładowania dla pojazdów elektrycznych, zapewniającą możliwość poruszania się przynajmniej w aglomeracjach miejskich i terenach gęsto zaludnionych. Dyrektywa ta nakłada także na państwa członkowskie obowiązek utworzenia krajowych ram polityki w odniesieniu do paliw alternatywnych oraz ustanawia specyfikacje techniczne i wymogi w zakresie informowania użytkowników.

2. Polityka klimatyczna i transportowa Polski

Dokumenty strategiczne w Polsce w treści i założeniach w dużej mierze pokrywają się z omówionymi dokumentami przyjętymi na poziomie UE. Przyjęte cele są zmodyfikowane na regionalne potrzeby i możliwości, ale co do zasady kierunek polityki klimatycznej i transportowej Polski jest spójny z unijnym wytycznymi. Tematyka zrównoważonego transportu i e-mobilności jest w różnym stopniu poruszana w większości obowiązujących dokumentów strategicznych.

W *Długookresowej Strategii Rozwoju Kraju 2030*[18] (DSRK) oraz *Strategii Rozwoju Kraju* (SRK)[19] oba obszary są obecne w niewielkim zakresie. Dokumenty te określają główne trendy, wyzwania i scenariusze rozwoju społeczno-gospodarczego kraju odpowiednio do 2030 i 2020 roku. Przyjęte cele strategiczne dla Polski zakładają m.in.: utworzenie zrównoważonego i przyjaznego użytkownikom systemu transportowego, zwiększenie dostępności terytorialnej oraz stworzenie spójnego systemu transportowego na terenie całego kraju. Sama koncepcja e-mobilności jest natomiast uwzględniona w niewielkim stopniu. Dokumenty wprawdzie zaznaczają potrzebę korzystania z środków redukujących szkodliwość transportu oraz konieczność rozwoju niskoemisyjnych, alternatywnych technologii zasilania pojazdów, jednak nie wyznaczają żadnych ilościowych lub jakościowych celów z tego obszaru.

W systemie kreowania strategii rozwoju kraju przyjętym w Polsce długo- i średniookresowe strategie rozwoju kraju są uzupełnione o dziewięć strategii szczegółowych dedykowanych poszczególnym sektorom gospodarki i kraju. Jedną z nich jest *Strategia Rozwoju Transportu do 2020 roku* (SRT)[20]. Jest to najważniejszy dokument strategiczny dla sektora transportu w Polsce, określający szczegółowo cele oraz kierunki rozwoju tego obszaru, spójne z wizją kraju przedstawioną w DSRK oraz SRK. Według założeń SRT uwzględnia także wytyczne przedstawione w unijnych dokumentach

[18] *Polska 2030. Trzecia fala nowoczesności. Długookresowa Strategia Rozwoju Kraju*, *Ministerstwo Administracji i Cyfryzacji*, Warszawa 2013.

[19] *Strategia Rozwoju Kraju 2020. Aktywne społeczeństwo, konkurencyjna gospodarka, sprawne państwo*, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, Warszawa 2012.

[20] *Strategia Rozwoju Transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku)*, Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Warszawa 2013.

strategicznych. Na najbliższą dekadę dla polskiego sektora transportu SRT wyznacza dwa główne cele strategiczne:

1. Utworzenie zintegrowanego systemu transportowego.

2. Wykreowanie sprzyjających warunków dla sprawnego funkcjonowania rynków transportowych i rozwoju efektywnych systemów przewozowych.

A ponadto pięć celów szczegółowych:

1. Stworzenie nowoczesnej i spójnej sieci infrastruktury transportowej.

2. Poprawę sposobu organizacji i zarządzania systemem transportowym.

3. Poprawę bezpieczeństwa użytkowników ruchu oraz przewożonych towarów.

4. Ograniczanie negatywnego wpływu transportu na środowisko.

5. Zbudowanie racjonalnego modelu finansowania inwestycji infrastrukturalnych.

W SRT podkreślono m.in. potrzebę przekształcenia sieci transportowej w sprawny i funkcjonalny element infrastruktury regionu i systemu transportowego kraju oraz zapewnienia równowagi pomiędzy zdolnością transportu do służenia rozwojowi ekonomicznemu a poszanowaniem środowiska naturalnego i poprawą jakości życia w przyszłości[21]. Zatem założenia dla rozwoju sektora transportu są bardzo zbliżone do tych stawianych przez dokumenty Unii Europejskiej. Pomimo że czwarty cel szczegółowy SRT brzmi „ograniczanie negatywnego wpływu transportu na środowisko", nie przedstawiono żadnych konkretnych celów dotyczący redukcji emisji zanieczyszczeń z sektora transportu.

Za najważniejszy dokument dotyczący długofalowego rozwoju miast w Polsce należy uznać *Krajową Politykę Miejską 2023* (KPM), przyjętą w październiku 2015 roku[22]. Dokument ten prezentuje podejście polskiego rządu do problematyki rozwoju miast w przyszłości, także w obszarze mobilności. Strategicznym celem KPM jest „wzmocnienie zdolności miast i obszarów zurbanizowanych do kreowania zrównoważonego rozwoju i tworzenia miejsc pracy oraz poprawa jakości życia mieszkańców". Postulaty zawarte w dokumencie związane z mobilnością, niskoemisyjnością oraz efektywnością energetyczną są spójne z pozostałymi dokumentami strategicznymi na poziomie kraju i UE. W sektorze transportu, według KPM, głównym wyzwaniem dla zarządców miast jest „osiągnięcie zrównoważonej mobilności w obszarze funkcjonalnym miasta". Dokument podkreśla potrzebę zmian w zachowaniach komunikacyjnych mieszkańców miast i promowanie transportu publicznego jako podstawowego środka komunikacji. W tym celu KPM przedstawia wytyczne dla władz miejskich dotyczące kreowania polityki transportowej oraz priorytetów inwestycyjnych obejmujących m.in. modernizację istniejących układów komunikacyjnych pod kątem ich spójności z ideą zrównoważonej mobilności miejskiej, np. poprzez wprowadzanie Inteligentnych Systemów Transportowych. Dokument rekomenduje także inwestycje w transport publiczny i rozwiązania intermodalne. KPM dodatkowo podkreśla także rolę uwzględniania potrzeb zrównoważonej mobilności w procesie planowania przestrzennego miast oraz istotną rolę efektywnej organizacji i zarządzania transportem.

[21] *Strategia Rozwoju Transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku)*, Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Warszawa 2013, s. 9–10.

[22] *Krajowa Polityka Miejska 2023*, Ministerstwo Rozwoju, Warszawa 2015.

Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.)[23] to z kolei jeden z najnowszych dokumentów określających wizję rozwoju Polski w nadchodzących latach. Dokument przyjęty uchwałą Rady Ministrów w dniu 14 lutego 2017 roku jako cel główny stawia „tworzenie warunków dla wzrostu dochodów mieszkańców Polski przy jednoczesnym wzroście spójności w wymiarze społecznym, ekonomicznym, środowiskowym i terytorialnym". Strategia wyróżnia także trzy cele szczegółowe oraz szereg obszarów zastosowania, w tym również sektor transportu. W tym obszarze za podstawowy cel przyjęto zwiększenie dostępności transportowej i poprawę warunków świadczenia usług związanych z przewozem towarów i pasażerów przy jednoczesnym obniżeniu negatywnego oddziaływania na środowisko oraz zdrowie i jakość życia. Strategia zakłada m.in. koncentrację wsparcia rządowego na zwiększaniu potencjału kolejowego, rozwoju transportu intermodalnego oraz dokończeniu sieci drogowej opartej na autostradach i drogach ekspresowych.

Wykorzystanie niskoemisyjnych środków transportu, przede wszystkim pojazdów szynowych i autobusów elektrycznych, jest przewidziane głównie w systemach transportu publicznego na terenach miejskich. Dokument zakłada m.in. 16% udział autobusów na alternatywne paliwo, w tym energię elektryczną w ogólnej liczbie autobusów służących do obsługi transportu miejskiego w 2030 roku (przy 3,6% w 2015 roku). Na uwagę zasługuje także przyjęcie wśród projektów flagowych strategii *Programu Elektromobilności*, zakładającego rozwój produktów z obszaru elektromobilności, oraz stymulowanie rozwoju rynku w celu zwiększenia udziału pojazdów o napędzie elektrycznym. To działania obejmuje m.in. projekt *E-bus*, zakładający stymulowanie produkcji polskich pojazdów elektrycznych na potrzeby komunikacji miejskiej oraz budowę silnych podmiotów na wszystkich etapach łańcucha wartości w sektorze produkcji taboru komunikacji miejskiej, a także projekt *Samochód elektryczny*, obejmujący stymulowanie rozwoju technologii, produkcji i rynku samochodów elektrycznych. Dokument przewiduje także tworzenie do 2020 roku warunków do rozwoju elektromobilności, m.in. poprzez ułatwienia w lokalizowaniu stacji do ładowania pojazdów elektrycznych oraz wsparcie miast w zakupach elektrycznych autobusów.

Do najważniejszych i najnowszych polskich dokumentów strategicznych, bezpośrednio odnoszących się do koncepcji e-mobilności, należy zaliczyć tzw. *Pakiet na Rzecz Czystego Transportu*, obejmujący:

– *Plan rozwoju elektromobilności w Polsce.*
– *Krajowe ramy polityki infrastruktury paliw alternatywnych.*
– *Ustawę o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych.*

Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce[24] został opracowany przez Ministerstwo Energii i przyjęty 16 marca 2017 roku. Jest to podstawowy dokument określający ramy

[23] *Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.)*, Ministerstwo Rozwoju, Warszawa 2017.

[24] *Plan rozwoju elektromobilności w Polsce. „Energia do przyszłości"*, Ministerstwo Energii, Warszawa 2017, http://bip.me.gov.pl/files/upload/26453/Plan%20Rozwoju%20Elektromobilności%20w%20Polsce,%20przyjęty%20przez%20Radę%20Ministrów%20w%20dniu%2016%20marca%202017%20roku..pdf (1.04.2017).

rozwoju tego obszaru na najbliższe lata. Cele programu to: stworzenie warunków rozwoju elektromobilności Polaków, rozwój przemysłu elektromobilności oraz stabilizacja sieci elektroenergetycznej kraju. Zgodnie z przyjętymi założeniami rozwój e-mobilności w Polsce będzie następował w trzech etapach. Pierwsza faza przygotowawcza potrwa do końca 2018 roku i obejmie przede wszystkim prace nad odpowiednimi regulacjami prawnymi oraz ukierunkowaniem finansowania publicznego. W drugiej fazie, przewidzianej na lata 2019–2020, rząd planuje znaczącą rozbudowę infrastruktury ładującej pojazdy elektryczne. Te działania obejmą głównie tereny zurbanizowane i duże aglomeracje. Na tym etapie zostaną także zintensyfikowane zachęty do zakupu pojazdów elektrycznych oraz komercjalizacja wyników badań rozpoczętych przez polskie ośrodki badawcze w pierwszej fazie programu. Ostatni etap programu obejmuje pięcioletni okres (2020–2025), podczas którego rynek elektromobilności ma osiągnąć dojrzałość, a rola wsparcia rządowego będzie mogła zostać zmniejszona.

Drugim dokumentem z Pakietu są *Krajowe ramy polityki infrastruktury paliw alternatywnych*[25], które stanowią opracowanie komplementarne do *Programu Rozwoju Elektromobilności*. Powyższa strategia została przyjęta przez Radę Ministrów 29 marca 2017 roku i stanowi jednocześnie realizację zobowiązań wynikających z opisywanej dyrektywy 2014/94/UE. Dokument dotyczy infrastruktury dla wszystkich paliw alternatywnych stanowiących substytut ropy naftowej, m.in. CNG i LNG, oraz energii elektrycznej. Do najważniejszych efektów przyjętego dokumentu należy określenie celów dotyczących ilości punktów tankowania i ładowania powyższych paliw. W przypadku energii elektrycznej, w dokumencie przewidziano do końca 2020 roku budowę 6 tys. punktów o normalnej mocy ładowania oraz 400 punktów o dużej mocy ładowania w wybranych 32 aglomeracjach kraju. Do tego czasu dokument ten przewiduje także 50 tys. pojazdów elektrycznych w polskich miastach, natomiast do 2025 roku za cel stawia się 1 mln takich samochodów poruszających się w polskim systemie transportowym. W dokumencie zaznaczono wprawdzie, że powyższe prognozy mają jedynie wskazywać pożądany kierunek zmian, jednakże biorąc pod uwagę dotychczasową charakterystykę rynku samochodowego w Polsce, przedstawiony próg wydaje się praktycznie nieosiągalny.

Ostatnim z dokumentów z omawianego Pakietu jest ustawa o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych. W odróżnieniu od poprzednich dwóch pozycji dokument ten jest jeszcze w fazie projektowej, ostatni dostępny projekt pochodzi z połowy 2016 roku[26]. Jednym z głównych działań planowanych w tym akcie jest powołanie Funduszu Niskoemisyjnego Transportu, mającego za zadanie szeroko pojęte wspieranie niskoemisyjnego transportu poprzez m.in.: wspieranie rozbudowy infrastruktury dla paliw alternatywnych, wsparcie dla producentów niskoemisyjnych pojazdów i niskoemisyjnego transportu publicznego, dofinansowanie opłat za parkowanie dla pojazdów niskoemisyjnych oraz wsparcie badań i programów edukacyjnych w tym obszarze. Według założeń ustawy budżet funduszu ma być finansowany

[25] *Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych*, Ministerstwo Energii, Warszawa 2017.

[26] Ustawa o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych. Projekt z dnia 14 lipca 2016 roku, Wersja 1.6.

z budżetu państwa i zawierać 1,5% przychodów z podatków akcyzowych od paliw silnikowych oraz środki przekazywane przez operatorów elektroenergetycznego systemu przesyłowego w wysokości 0,1% kapitału zaangażowanego w wykonywaną działalność.

Podsumowanie

Idea zrównoważonego transportu oraz koncepcja e-mobilności mają oparcie w wielu dokumentach strategicznych, zarówno na poziomie UE, jak i Polski. W dużej części wymienionych opracowań powszechne wykorzystywanie pojazdów elektrycznych to wizja stosunkowo bliskiej przyszłości. W większości z nich brakuje jednak konkretnych, obowiązkowych celów, zarówno dotyczących zmniejszenia emisji i szkodliwości sektora transportu dla środowiska, jak i implementacji rozwiązań z zakresu e-mobilności. Dokumenty legislacyjne z tej dziedziny w dużej mierze mają ciągle charakter dobrowolny i stanowią jedynie wytyczne dla poszczególnych regionów i państw członkowskich.

Pomimo obecności założeń zrównoważonego transportu w większości obowiązujących dokumentów strategicznych aktualny poziom zawansowania procesu wdrażania e-mobilności w Polsce należy ocenić krytycznie. W 2016 roku w Polsce sprzedano jedynie 556 pojazdów opartych wyłącznie na energii elektrycznej oraz 9849 hybrydowych, co w dalszym ciągu stanowi bardzo niewielki odsetek wszystkich nowo rejestrowanych samochodów osobowych w kraju (ok. 0,76%)[27]. Według stanu na koniec 2016 roku w całym kraju funkcjonowało jedynie około 300 punktów ładowania pojazdów elektrycznych. Osiągnięcie rządowego celu stawianego na 2025 rok – milion samochodów elektrycznych na drogach – będzie zatem wymagało dalszych aktywnych inwestycji i działań na poziomie rządowym, ale przede wszystkim radykalnych zmian w zrachowaniach komunikacyjnych i preferencjach Polaków.

Do pozytywnych aspektów tego procesu można zaliczyć intensyfikację działań rządowych i przyjęcie w 2017 roku ważnych dokumentów strategicznych z zakresu e-mobilności, a także implementację narzędzi wsparcia, takich jak programy badawcze Narodowego Centrum Badań i Rozwoju finansujących projekty B+R z zakresu elektromobilności. Są to niewątpliwie prawidłowe kierunki działań, jednakże biorąc pod uwagę przykłady krajów bardziej zaawansowanych w elektryfikacji systemów transportowych, takie zmiany są procesem długofalowym i wydaje się, że na wyraźne efekty w Polsce należy czekać znacznie dłużej niż najbliższe kilka lat.

[27] Dane Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców, http://www.cepik.gov.pl/statystyki (14.04.2017).

Bibliografia

Biała Księga. Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu. KOM (2011) 144 wersja ostateczna, Bruksela, 28.3.2011.

Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – 20 20 by 2020 – Europe's climate change opportunity, COM (2008) 13 final. Bruksela, 23.1.2008.

Commission Staff Working Document. The implementation of the 2011 White Paper on Transport "Roadmap to a Single European Transport Area – towards a competitive and resource--efficient transport system" five years after its publication: achievements and challenges, SWD(2016) 226 final, Bruksela, 1.7.2016.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca Dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dz. Urz. UE L 140/16 z 5.6.2009).

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/30/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca Dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do specyfikacji benzyny i olejów napędowych oraz wprowadzającą mechanizm monitorowania i ograniczania emisji gazów cieplarnianych oraz zmieniająca Dyrektywę Rady 1999/32/WE odnoszącą się do specyfikacji paliw wykorzystywanych przez statki żeglugi śródlądowej oraz uchylająca Dyrektywę 93/12/EWG (Dz. Urz. UE L 140/88 z 5.6.2009).

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (Dz. Urz. UE L 301/1 z 28.10.2014).

Grzywacz W., Wojewódzka-Król K., Rydzkowski W., *Polityka transportowa*, Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2005.

Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejska strategia na rzecz mobilności niskoemisyjnej, COM (2016) 501 wersja ostateczna, Bruksela 20.07.2016.

Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Plan działania w zakresie energii do roku 2050. KOM(2011) 885 wersja ostateczna, Bruksela, 15.12.2011.

Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Plan działania prowadzący do przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r., KOM(2011) 112 wersja ostateczna, Bruksela, 8.3.2011.

Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Wspólne dążenie do osiągnięcia konkurencyjnej i zasobooszczędnej mobilności w miastach, KOM (2013) 913 wersja ostateczna, Bruksela, 17.12.2013.

Komunikat Komisji EUROPA 2020. Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu, KOM (2010) 2020 wersja ostateczna, Bruksela, 3.3.2010.

Krajowa Polityka Miejska 2023, Ministerstwo Rozwoju, Warszawa 2015.
Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych, Ministerstwo Energii, Warszawa 2017.
Plan rozwoju elektromobilności w Polsce. „Energia do przyszłości", Ministerstwo Energii, Warszawa 2017, http://bip.me.gov.pl/files/upload/26453/Plan%20Rozwoju%20Elektromobilności%20w%20Polsce,%20przyjęty%20przez%20Radę%20Ministrów%20w%20dniu%2016%20marca%202017%20roku..pdf (1.04.2017).
Polska 2030. Trzecia fala nowoczesności. Długookresowa Strategia Rozwoju Kraju, Ministerstwo Administracji i Cyfryzacji, Warszawa 2013.
Rozporządzenie (WE) nr 715/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie homologacji typu pojazdów silnikowych w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń pochodzących z lekkich pojazdów pasażerskich i użytkowych (Euro 5 i Euro 6) oraz w sprawie dostępu do informacji dotyczących naprawy i utrzymania pojazdów (Dz. Urz. UE L 171/1 z 29.6.2007).
Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 r. określające normy emisji dla nowych samochodów osobowych w ramach zintegrowanego podejścia Wspólnoty na rzecz zmniejszenia emisji CO_2 z lekkich pojazdów dostawczych (Dz. Urz. UE L 140 z 5.6.2009).
Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 510/2011 z dnia 11 maja 2011 r. określające normy emisji dla nowych lekkich samochodów dostawczych w ramach zintegrowanego podejścia Unii na rzecz zmniejszenia emisji CO_2 z lekkich pojazdów dostawczych (Dz. Urz. UE L 145/1 z 31.5.2011).
Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.), Ministerstwo Rozwoju, Warszawa 2017.
Strategia Rozwoju Kraju 2020. Aktywne społeczeństwo, konkurencyjna gospodarka, sprawne państwo, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, Warszawa 2012.
Strategia Rozwoju Transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku), Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Warszawa 2013.
Ustawa o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych. Projekt z dnia 14 lipca 2016 roku, Wersja 1.6.
Wytyczne. Opracowanie i wdrożenie Planu Zrównoważonej Mobilności Miejskiej, Europejska Platforma dotycząca Planów Zrównoważonej Mobilności, Komisja Europejska, Generalny Dyrektoriat ds. Mobilności i Transportu, Bruksela 2014.
http://www.cepik.gov.pl/statystyki (14.04.2017).
https://www.mos.gov.pl/srodowisko/polityka-klimatyczna/.

Streszczenie

W rozdziale przedstawiono rolę e-mobilności w polityce transportowej oraz klimatycznej prowadzonej na poziomie Unii Europejskiej oraz Polski. Zaprezentowano wybrane, najważniejsze dokumenty strategiczne dotyczące klimatu i ochrony środowiska naturalnego oraz zarządzania sektorem transportu przyjęte w ostatnich latach przez Komisję Europejską oraz polskie władze. Oba wymienione obszary zarządzania w dużym stopniu się uzupełniają, a koncepcja zrównoważonego transportu, oparta m.in. na elektromobilności, jest szeroko uwzględniana w przyjmowanych planach strategicznych. Większość z przyjętych dokumentów podkreśla istotną rolę e-mobilności w procesie w zrównoważonego rozwoju i podnoszenia jakości życia mieszkańców Europy. Należy jednak zaznaczyć, że znaczna część z opisywanych planów nie ma charakteru wiążącego i pełni jedynie funkcję rekomendacji i wyznaczania preferowanych kierunków działań, co może negatywnie wpłynąć na tempo osiągania postawionych w nich celów.

E-MOBILITY IN TRANSPORT AND CLIMATE POLICIES OF EUROPEAN UNION AND POLAND

SUMMARY

The chapter presents the analysis of the role of e-mobility in transport and climate policies in European Union and Poland. It presents main guidelines of the most important strategic documents regarding the climate change and environmental protection and governance of transportation adopted by European Commission and Polish governments in recent years. Both areas are complementary to a large extent and both cover the concept of sustainable transport, based inter alia on the idea of e-mobility. Most of the strategic plans underline the important role of e-mobility in the process of sustainable development and improving the quality of life of citizens of Europe. Nevertheless it should be noticed that most of the strategies are not obligatory and do not impose any mandatory goals, but only show the recommended directions and actions. This fact may have negative impact on the pace of implementation of the required changes and reforms in transport systems.

Dr Katarzyna Nowicka

Adiunkt w Katedrze Logistyki Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie. Kierownik projektu ChemMultimodal realizowanego w ramach Programu Interreg Central Europe w latach 2016–2019. Autorka monografii *Outsourcing w zarządzaniu zasobami przedsiębiorstwa* (Difin, 2016) i kilkudziesięciu opracowań z zakresu zarządzania łańcuchem dostaw, outsourcingu i cloud computingu. Jej zainteresowania naukowe koncentrują się wokół problematyki zarządzania łańcuchem dostaw w e-biznesie i wpływu technologii na kreowanie wartości w zarządzaniu łańcuchem dostaw.

Katarzyna Nowicka

Rozwój świata wirtualnego i jego wpływ na e-mobilność

Wprowadzenie

Rozwój świata wirtualnego jest stymulowany rozwojem technologii. Najistotniejszymi z nich dla tego rozwoju są technologie informacyjno-komunikacyjne (ang. *Information and Communication Technologies* – ICT). Są one rodziną technologii przetwarzających, gromadzących i przesyłających dane informacje w formie elektronicznej[1]. ICT obejmuje wszystkie urządzenia, składniki sieciowe, aplikacje i systemy łączące ludzi oraz organizacje umożliwiające interakcję w świecie cyfrowym. Do komponentów ICT zaliczyć można oprogramowanie, internet, *cloud computing*, hardware, dane, technologie komunikacyjne czy też transakcje. Kumulacja możliwości wynikających z kompilacji wykorzystywanych elementów ICT wpływa współcześnie na rozwój sztucznej inteligencji (ang. *artificial intelligence*), czyli opanowania przez urządzenia zdolności do wykonywania niemal dowolnych zadań intelektualnych, które wykonuje człowiek. Przy czym mowa tu nie tylko o zastąpieniu pracy człowieka pracą maszyny, lecz także o rozwoju tzw. wąskiej sztucznej inteligencji (ang. *narrow or weak artificial intelligence*), w której systemy wykonują bardzo dobrze zadania opisane przez człowieka za pomocą algorytmów (np. indeksowanie strony lub gra w szachy, a nawet w pokera, który wymaga blefowania ze strony graczy) czy też sztucznej inteligencji (ang. *hard artificial intelligence*) wychodzącej poza możliwości umysłu ludzkiego.

Sama wirtualizacja natomiast może być rozumiana jako użycie określonych aplikacji w celu stworzenia abstrakcyjnej formy posiadanych zasobów[2]. W literaturze przedmiotu związanej z problematyką e-biznesu mówi się o wirtualizacji produktu, czyli jego całkowitej zamianie na formę cyfrową (digitalizacja) lub zamianie częściowej polegającej na wzbogacaniu produktu w informacje[3]. Owa zamiana z formy fizycznej na wirtualną dotyka coraz większego spektrum obszarów. Są to działania, procesy oraz modele biznesowe. Świat rzeczywisty przechodzi do świata wirtualnego, zmieniając niemal wszystkie aspekty jakości życia. Warto jednak pamiętać, że odwzorowanie wirtualne w wielu przypadkach ułatwia postrzeganie świata realnego, ale odwzorowania nie opisują wciąż rzeczywistości w pełnym zakresie.

Problematyka ta dotyczy także procesów przemieszczania osób i rzeczy, a w odniesieniu do *big data* także fizycznych nośników danych (przykładem jest ciężarów-

[1] http://stat.gov.pl/metainformacje/slownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/1893,pojecie.html (20.03.2017).

[2] W. Szpringer, *Innowacyjne modele e-biznesu. Aspekty instytucjonalne*, Difin, Warszawa 2012, s. 21.

[3] T. Doligalski, *Czym się różni przedsięwzięcie e-biznesowe od tradycyjnego w zakresie relacji z klientami?*, „e-mentor" nr 3(15)/2006.

ka Amazon Web Services). Zasoby, które są przedmiotem zarządzania w transporcie, migrują do świata wirtualnego. Jest to możliwe dzięki umiejętności wykorzystania potencjału dostępnych technologii. Umiejętność ta wynika z możliwości oceny znaczenia poszczególnych rozwiązań technologicznych wobec obszaru ich zastosowania we wsparciu mobilności. Upowszechnianie się rozwiązań należących do świata wirtualnego decyduje bowiem o aktualnym i przyszłym kształcie sektora transportowego.

Celem rozdziału jest wskazanie najistotniejszych technologii zintegrowanych w ramach świata wirtualnego, które niosą ze sobą największy potencjał w kształtowaniu funkcjonowania ekosystemu mobilności. Zarządzanie i sterowanie ruchem pojazdów coraz częściej odbywa się z wykorzystaniem formy elektronicznej, stąd też powstało określenie *e(lectronic)-mobility*. Ważne jest jednak, aby zauważać wielowymiarowy aspekt wpływu świata wirtualnego na współczesne formy mobilności i jej efekty społeczno-gospodarcze, a także środowiskowe. Należy też zwrócić uwagę na fakt, że w większości przypadków regulacje stanowiące o poziomie cyberbezpieczeństwa nie mają charakteru proaktywnego, a wdrażane systemy zabezpieczeń nie są w stanie zagwarantować użytkownikom eliminacji wystąpienia ryzyka technologicznego.

1. Świat wirtualny – istota problematyki

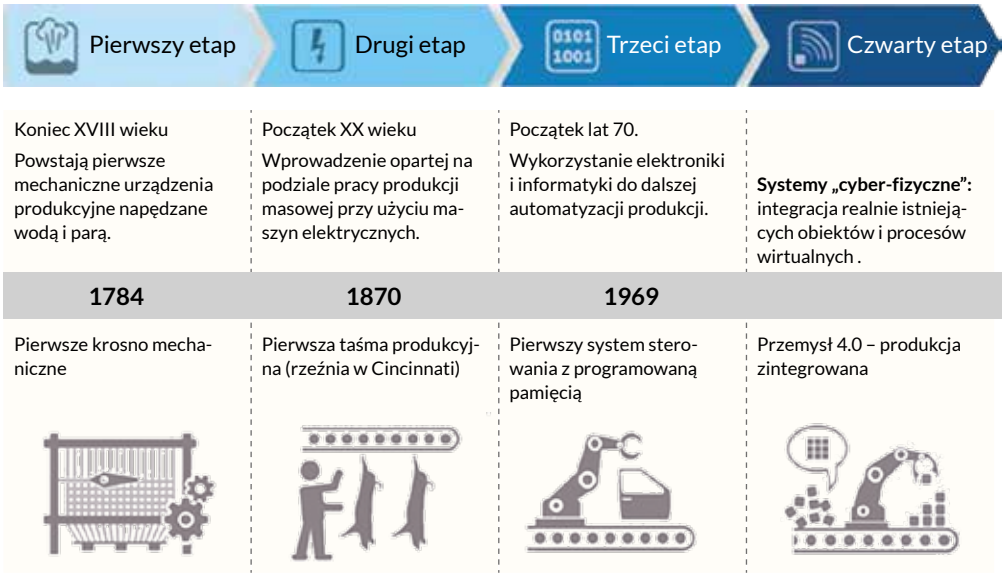
Technologia, czyli metoda przygotowania i prowadzenia procesu wytworzenia lub przetwarzania jakiegoś dobra (także informacji) na przestrzeni wieków stanowiła podstawowe wsparcie rozwoju jakości i poziomu życia człowieka. U podstaw rozwoju technologii leży wiedza, która postępowała wraz z kolejnymi fazami rozwoju ludzkości. Na podstawie zmian czynników technologicznych, społecznych i ekonomicznych wyróżniono trzy fazy rozwoju społecznego: preagrarną, agrarną i industrialną[4]. Faza preagrarna była czasem, w którym ludzie uczyli się wykorzystywać ogień, opanowali produkcję narzędzi z kamienia oraz sposoby użycia broni. Głównym wyznacznikiem było to, że człowiek nie stosował wówczas technologii do opanowania środowiska naturalnego. W fazie agrarnej zasadniczą rolę zaczęło odgrywać rolnictwo, a w działalności człowieka wykształcał się podział pracy. Odkryto brąz i żelazo, wynaleziono koło, zbudowano bloczek krążkowy i dźwignię, zaczęto wykorzystywać zwierzęta pociągowe, budowano statki żaglowe i nauczono się nawigacji. W tym okresie kluczowym wynalazkiem dla ludzkości był druk i rozpowszechnienie go na szeroką skalę. W fazie industrialnej postępował rozwój podziału pracy. Powstała klasa robotnicza, rozszerzono zakres wymiany dóbr. Rozkwit rynku przyczynił się do rozwoju fabryk i najszybszego w dziejach ludzkości wzrostu poziomu stopy życiowej. Rozwój produkcji i gospodarki następował głównie dzięki zaangażowaniu większej ilości kapitału materialnego oraz rosnącej liczbie pracowników. Zmiany w technologii produkcji, aktywności gospodarczej oraz coraz większe znaczenie zarządzania zapoczątkowały gwałtowny rozwój miast, powstanie nowego systemu kształcenia, rozpowszechnienie egalitarnych idei demokratycznych. Współczesna era to faza postindustrialna, dla której tempo i stopień zaawansowania przemian jest wyznacznikiem rozwoju. Zaczę-

[4] D. Bell, *The Coming of Post-Industrial Society*, Basic Books, New York 1973, s. 59.

ła się ona w drugiej połowie XX wieku i trwa nadal. Na pierwszy plan wysuwa się w niej wiedza będąca specyficznym zasobem kształtującym nową gospodarkę[5].

Jednocześnie z perspektywy znaczących zmian w rozwoju przemysłu można wyróżnić cztery etapy o rewolucyjnym charakterze. Zostały one przedstawione na rys. 1. Na szczególną uwagę zasługuje tzw. czwarta rewolucja przemysłowa (ang. *Fourth Industrial Revolution*) będąca współcześnie szeroko opisywanym etapem rozwoju społeczno-gospodarczego. Jej elementem stała się koncepcja Przemysłu 4.0 (ang. *Industry 4.0*). Rewolucja ta wiąże się z następującymi trzema zjawiskami[6]:

- powszechną cyfryzacją i zapewnieniem stałego porozumiewania się między sobą osób, osób z urządzeniami oraz urządzeń między sobą,
- wzrostem wdrażanych innowacji o wywrotowymi charakterze (ang. *disruptive innovations*), pozwalających na skokowe zwiększanie efektywności funkcjonowania systemu społeczno-gospodarczego,
- rozwojem maszyn zdolnych do autonomicznego funkcjonowania dzięki wykorzystywaniu sztucznej inteligencji.



Rys. 1. **Cztery etapy rewolucji przemysłowej**
Źródło: DFKI, 2011, Bosch, http://bosch-prasa.pl/zdjecia/original/45/4535.jpg (16.03.2016).

[5] D. Makulska, *Kluczowe czynniki rozwoju w gospodarce opartej na wiedzy*, w: J. Stacewicz (red.), *Pomiędzy polityką stabilizacyjną i polityką rozwoju*, Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego SGH, Warszawa 2012, s. 171–172.

[6] W. Paprocki, *Koncepcja Przemysł 4.0 i jej zastosowanie w warunkach gospodarki cyfrowej*, w: J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieriegud (red.), *Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa – szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych*, Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową – Gdańska Akademia Bankowa, Gdańsk 2016, s. 40, http://www.efcongress.com/sites/default/files/publikacja_ekf_2016_cyfryzacja_gospodarki_i_spoeczestwa.pdf (17.03.2017).

Wiek XX to okres niespotykanego dotychczas rozwoju wszystkich dziedzin nauki i techniki. W obrębie rozwoju techniki na szczególną uwagę zasługuje informatyka, której współczesne zastosowanie można odnaleźć w każdej dziedzinie życia. Znaczący wpływ na strukturę współczesnego rynku ICT miało sześć technologicznych zmian[7]:

- zastąpienie technologii analogowych – cyfrowymi (digitalizacja),
- zstąpienie głosu – danymi,
- zastąpienie komutacji obwodów – komutacją pakietów,
- zastąpienie łączy wąskopasmowych – szerokopasmowymi,
- migracja inteligencji od rdzenia do krawędzi sieci,
- rosnąca rola łączy bezprzewodowych.

Warto też zaznaczyć, że rozwój technologii podyktowany jest nowymi potrzebami bądź znalezieniem zastosowania dotychczasowych rozwiązań dla nowych problemów. Rozwój ten jest zatem wynikowy, a nowe technologie w większości przypadków powstają na gruncie znanych rozwiązań. Istotą technologii zdaje się zatem nie jej przełomowość, ale znalezienie takiego dla niej wykorzystania i rozwoju, który w znaczący sposób jest w stanie poprawić jakość efektów otrzymywanych z zastosowaniem dotychczasowych rozwiązań. Chodzi tu więc o innowacje przełomowe i podlegające możliwości szybkiej dyfuzji (np. internet).

Technologie informacyjno-komunikacyjne stanowią współcześnie motor napędowy zmian zarówno w świecie biznesu, jak i poza nim – wpływając w zasadzie na wszystkie obszary życia. Stanowią one także punkt odniesienia do analiz i stosowania w literaturze przedmiotu takich pojęć, jak: świat wirtualny, rynek elektroniczny, gospodarka cyfrowa, handel internetowy, e-commerce czy e-biznes. Warto zaznaczyć, że nie zawsze są to pojęcia tożsame, choć bardzo często są stosowane zamiennie. Najszerszym pojęciem łączącym powyższe zagadnienia jest rynek wirtualny (świat wirtualny), zawierający w sobie istotę rynku elektronicznego bazującego na wykorzystywaniu zamkniętych i otwartych sieci komputerowych, czyli rynku intranetowego i internetowego[8]. Rynek elektroniczny jest „światem równoległym", stworzonym i podtrzymywanym przez komputery i sieci komputerowe. Produkty (towary i/lub usługi) istnieją w takiej wirtualnej strefie jako informacja w formie cyfrowej i mogą być dostarczane przez kanały bazujące na technologiach informatycznych. Mowa jest zatem o przestrzeni elektronicznej i oderwaniu od fizycznego miejsca. Rynek i przedmiot wymiany (dane, informacje i wiedza) mają tu niematerialny charakter[9].

Współczesny świat wirtualny ewoluuje w tempie równym rozwojowi ICT. Cyfryzacja współtworzy i stymuluje rozwój technologii, które łącznie dają rozwiązania kształtujące jakość i sposób życia w świecie realnym. Granice tych światów się zacierają. Tworzy się tzw. postrzeczywistość (ang. *post-reality*). Oznacza to, że z powodu

[7] W. Szpringer, *dz. cyt.*, s. 26.

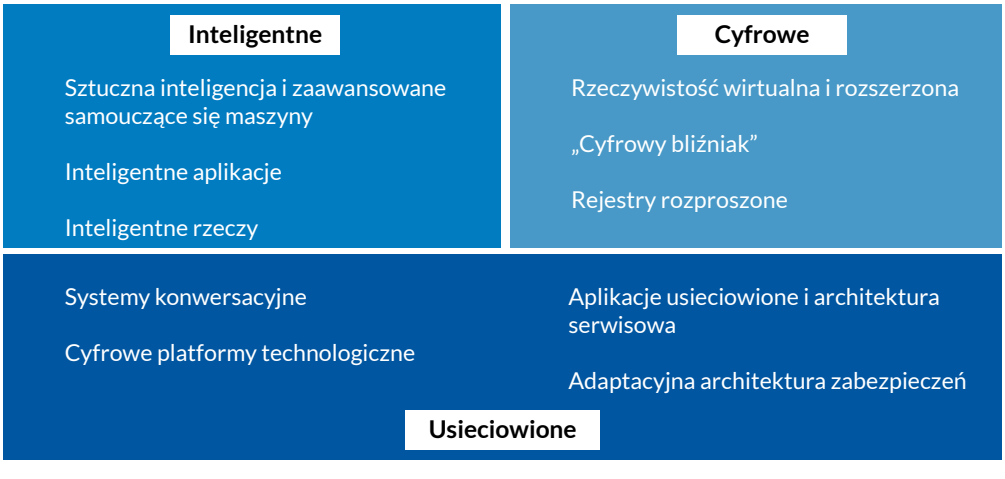
[8] Por. J. Wójcik, *Zachowanie konsumentów jako źródło niestabilności pozycji przedsiębiorstwa na rynku internetowym*, w: *Narastająca niestabilność gospodarki a konkurencyjność przedsiębiorstw*, R. Sobiecki (red.), Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2014, s. 102.

[9] W. Szpringer, *dz. cyt.*, s. 39.

rozwoju technologii takich jak wirtualna rzeczywistość (ang. *virtual reality*), rozszerzona rzeczywistość (ang. *augmented reality*) czy mieszana rzeczywistość (ang. *mixed reality*) trudno jest w jednoznaczny sposób rozdzielić oba światy. Świat materialny nie jest już jedynym, który można uznać za realny, a środowisko cyfrowe często przedkładane jest nad to rzeczywiste (np. nawigacja Google traktowana jest jako bardziej wiarygodna niż znaki drogowe). Mózg ludzki jest stymulowany przez technologię na poziomie bodźców wzrokowych (nakładane hologramy na fizycznie istniejące przedmioty) i słuchowych (możliwość sterowania tym, co słyszymy, np. wyciszania lub podgłaśniania docierających dźwięków). Jednocześnie prognozy rynkowe i plany producentów hard- i software'u wskazują na dalszy, długoterminowy rozwój branży *post-reality*, nazwanej czwartą falą konsumenckich technologii komputerowych (przychodzącą po rozwoju komputerów personalnych, sieci www i technologiach mobilnych)[10].

Mnogość różnorodnych rozwiązań należących do technologii o kluczowym dla współczesnego rozwoju z perspektywy 2017 roku analitycy z firmy Gartner podzielili na trzy grupy strategicznych trendów technologicznych (rys. 2). Są to[11]:

- technologie inteligentne, które posiadają możliwość interakcji i samouczenia się,
- technologie cyfrowe, które koncentrują się na łączeniu świata wirtualnego i fizycznego,
- technologie usieciowione, które dotyczą rozwiązań umożliwiających współpracę pomiędzy różnymi obiektami za pomocą połączeń sieciowych.



Rys. 2. **10 strategicznych trendów technologicznych w 2017 roku**

Źródło: opracowanie własne na podstawie: D.W. Cearley, M.J. Walker, B. Burke, *Top 10 Strategic Technology Trends for 2017*, Gartner, 14.10.2016, https://www.gartner.com/doc/3471559?srcId=1-6595640685 (28.03.2017).

[10] N. Hatalska, *TrendBook 2017. Porzeczywistość*, s. 14, http://hatalska.com/wp-content/uploads/2017/03/Trendbook2017.pdf (16.03.2017).

[11] D.W. Cearley, M.J. Walker, B. Burke, *Top 10 Strategic Technology Trends for 2017*, Gartner, 14 October 2016, https://www.gartner.com/doc/3471559?srcId=1-6595640685 (28.03.2017).

Niewątpliwie szczególną rolę w rozwoju społeczno-ekonomicznym, wśród wymienionych technologii, odgrywa sztuczna inteligencja (ang. *artificial intelligence*, AI). AI jest dziedziną wiedzy obejmującą: logikę rozmytą (ang. *fuzzy logic*), obliczenia ewolucyjne (ang. *evolutionary algorithm*), sieci neuronowe (ang. *neural networks*), sztuczne życie i robotykę. AI jest też działem informatyki zajmującym się tworzeniem modeli zachowań inteligentnych oraz programów komputerowych symulujących te zachowania[12]. Zachowania inteligentne wynikają z możliwości adekwatnego reagowania na otoczenie wraz z predykcją jego rozwoju i odpowiadaniem na ten rozwój, a także samokontroli. Na rozwój AI w ostatnich stu latach miały wpływ różne dziedziny nauki i zmiany w potrzebach konsumentów[13]. Przede wszystkim jest tu mowa o postępie w obszarze samouczenia się maszyn (ang. *machine learning*) stymulowanego przez gospodarkę cyfrową (ang. *digital economy*), która zarówno dostarcza, jak i wykorzystuje duże zbiory danych. Innym ważnym upowszechnionym rozwiązaniem jest *cloud computing*, na którym bazują platformy elektroniczne i popyt konsumentów na usługi związane z detekcją mowy czy nawigacją. Rozwój AI migruje w kierunku budowy inteligentnych systemów potrafiących efektywnie współdziałać z człowiekiem. Są to także rozwiązania zmierzające do tworzenia interakcji pomiędzy człowiekiem a robotem i umiejętności uczenia się maszyny podczas tej interakcji. Na przykład dzięki aplikacjom *narrow artificial intelligence* możliwe jest przekazanie maszynom zadania sterowania bardziej złożonymi procesami niż procesy obecnie sterowane przez człowieka. To jest kierunek rozwoju technologii, który pozwoli na upowszechnianie autonomicznych rozwiązań w transporcie (np. autonomiczne metro).

2. Gospodarka cyfrowa jako koncepcja wielowymiarowa

Gospodarka cyfrowa jest pojęciem, które rozwija się bardzo dynamicznie, a zatem jest trudne do syntetycznego i jednoznacznego zdefiniowania. Wynika to z faktu, że nie jest to nowa koncepcja i jest to jednocześnie obszar silnie uzależniony od dynamiki postępujących zmian technologicznych. Według B.R. Moultona gospodarka cyfrowa włącza technologię informacyjną i e-handel[14]. D. Tapscott natomiast określił w latach 90. XX wieku gospodarkę cyfrową jako nową gospodarkę, która opiera się na sieci inteligencji człowieka. Gospodarka cyfrowa, według tego autora, posiada dwanaście cech charakterystycznych, którymi są: wiedza, digitalizacja, wirtualizacja, molekularyzacja, integracja i współpraca poprzez internet, wykluczanie zbędnych pośredników, konwergencja, innowacyjność, domniemanie, bezpośredniość, globalizacja i nie-

[12] https://pl.wikipedia.org/wiki/Sztuczna_inteligencja (28.03.2017).

[13] Szerzej na temat ewolucji AI w: P. Stone, R. Brooks, E. Brynjolfsson, R. Calo, O. Etzioni, G. Hager, J. Hirschberg, S. Kalyanakrishnan, E. Kamar, S. Kraus, K. Leyton-Brown, D. Parkes, W. Press, A.L. Saxenian, J. Shah, M. Tambe, Astro Teller, *Artificial Intelligence and Life in 2030. One Hundred Year Study on Artificial Intelligence. Report of the 2015–2016 Study Panel*, Stanford University, Stanford, CA, 2016, s. 50–52.

[14] B.R. Moulton, *GDP and the Digital Economy: Keeping Up With The Changes. Understanding the Digital Economy: Data, Tools, and Research*, MIT Press, Cambridge and London 2000, s. 34–48.

zgodność. Te cechy wyraźnie dowodzą nowości i odrębności cyfrowej od gospodarki przemysłowej[15].

Współcześnie to digitalizacja odgrywa jedną z kluczowych ról w stymulacji zmian w gospodarce. Jednocześnie transformacja cyfrowa zachodzi w takim tempie, że coraz częściej obszary, które nie są nią jeszcze objęte, zaskakują w dysproporcji jakości ich funkcjonowania i dotychczasowej akceptacji poziomu jakości „tradycyjnych" rozwiązań przez konsumentów. Cyfryzacja jest szczególnie interesującym rozwiązaniem dla biznesu. Konfiguracja struktury i poziomu jakości technologii wykorzystywanych przez przedsiębiorców może w diametralny sposób zmienić nie tylko sam model biznesowy pojedynczego podmiotu, lecz także cały system – łańcuch wartości – czy też przenieść sektor do świata wirtualnego bądź wręcz wykluczyć go z gry rynkowej.

BCG definiuje digitalizację biznesu jako zmianę pozwalającą organizacji natychmiastowo zbudować nowy model biznesowy lub przedsięwzięcie, przenieść swoją ofertę dla klienta do świata wirtualnego, zamienić operacje (należące np. do produkcji, łańcucha dostaw lub obszaru związanego z badaniami i rozwojem) i funkcje (zarządzanie zasobami ludzkimi, dział IT), wykorzystując nowoczesne rozwiązania i narzędzia cyfrowe, zbudować wirtualny ekosystem wspierający cele organizacji[16]. W przypadku przedsiębiorstw wizjonerskich i innowatorów rozwój zastosowania rozwiązań cyfrowych wychodzi na zewnątrz organizacji, obejmując rozwiązania partnerów biznesowych, czy wręcz całe sieci dostaw, i przenosząc je do świata wirtualnego.

Warto zaznaczyć, że nie wszystkie rozwiązania technologiczne wywierają taki sam wpływ na biznes. Uwarunkowania decydujące o wywrotowym charakterze technologii mogą pochodzić z różnych dziedzin i dyscyplin naukowych. O ich istotności świadczą następujące aspekty[17]:

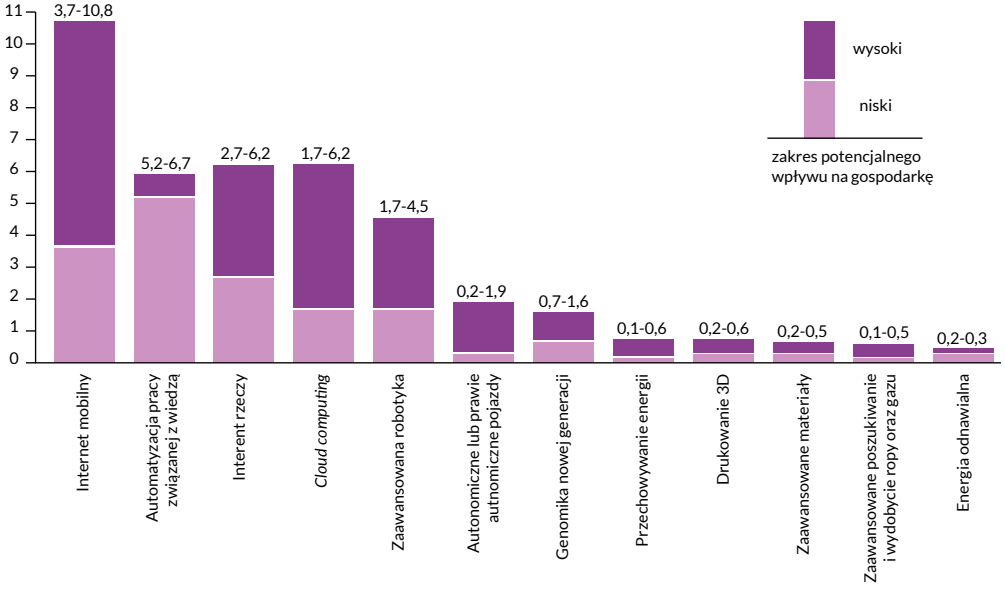
- technologia wywołuje znaczącą zmianę w efektach dostarczanych wobec dotychczasowego rozwiązania, czyli jest innowacją radykalną,
- potencjalny zakres jej wpływu jest szeroki – dotyczy wielu przedsiębiorstw, sektora lub sektorów bądź ma szerokie zastosowanie w obrębie wykorzystywanych maszyn, produktów lub usług (np. mobilny internet, internet rzeczy),
- ma znaczący wpływ na wartość ekonomiczną (wysoka rentowność, zmiana w strukturze PKB czy kapitale inwestycyjnym, np. *cloud computing* czy zaawansowana robotyka),
- wpływa na gospodarkę poprzez zmianę dotychczasowego status quo w zakresie sposobu życia, pracy. Tworzy nowe możliwości w tych obszarach i stymuluje kreowanie przewag komparatywnych kraju.

[15] D. Tapscott, *The Digital Economy: Promise and Peril In The Age of Networked Intelligence*, Vol. 1, McGraw-Hill, New York 1997.

[16] R. Dreischmeier, R. Gupta, *Firms should have clarity of digital vision, strategy*, BCG 2017, https://www-livemint-com.cdn.ampproject.org/c/www.livemint.com/Companies/F01LECrGFQktHZ3MadIX1H/Firms-should-have-clarity-of-digital-vision-strategy-BCGs.html?facet=amp&utm_source=googleamp&utm_medium=referral&utm_campaign=googleamp (16.03.2017).

[17] J. Manyika, M. Chui, J. Bughin, R. Dobbs, P. BIsson, A. Marrs, *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*, McKinsey Global Institute, 2013, s. 2–3.

Na podstawie powyższych kryteriów McKinsey Global Institute wyróżnił dwanaście technologii o potencjalnie przełomowym znaczeniu dla rozwoju gospodarki. Należą do nich: mobilny internet, automatyzacja pracy związanej z wiedzą (sztuczna inteligencja, samouczenie się maszyn, naturalne interfejsy użytkownika, tj. rozpoznawanie głosu), internet rzeczy, *cloud computing*, zaawansowana robotyka, autonomiczne lub prawie autonomiczne pojazdy, genomika nowej generacji, przechowywanie energii, druk 3D, zaawansowane materiały (o niespotykanej wytrzymałości), zaawansowane poszukiwanie i wydobycie ropy oraz gazu, energia odnawialna[18]. Oszacowanie ich potencjalnego rocznego wpływu na gospodarkę do 2025 roku przedstawia rys. 3.

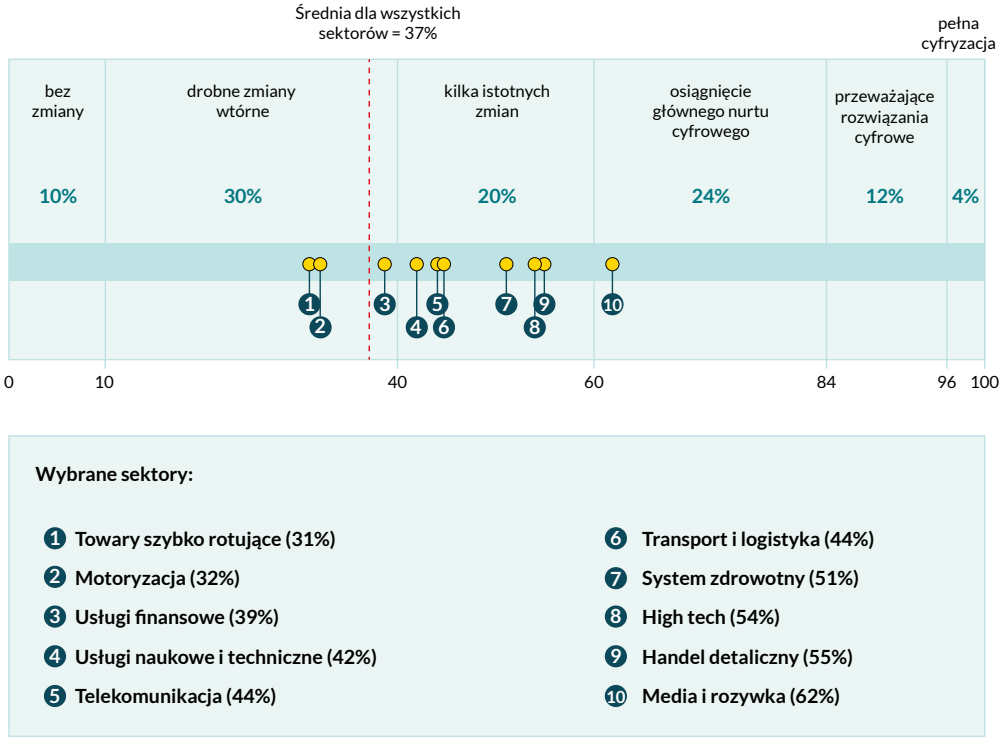


Rys. 3. **Szacowany roczny wpływ technologii na gospodarkę (mld USD)**
Źródło: J. Manyika, M. Chui, J. Bughin, R. Dobbs, P. Bisson, A. Marrs, *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*, McKinsey Global Institute, 2013, s. 12.

Jednocześnie w badaniu tej samej firmy z 2016 roku analizowano współczesny poziom digitalizacji wybranych sektorów. Badanie przeprowadzono na grupie 1573 respondentów należących do wybranych sektorów (ich pochodzenie wskazano pod rys. 4). Badanie miało na celu określenie percepcji zarządzających wobec poziomu digitalizacji sektorów, z których wywodziły się analizowane przedsiębiorstwa. Respondenci oceniali stopień zmian wynikających z digitalizacji w przeciągu ostatnich trzech lat w poszczególnych sektorach w odniesieniu do pięciu obszarów: produktów, marketingu i dystrybucji, procesów, łańcucha dostaw i nowych partnerów biznesowych. Wyniki badania pokazały, że sektorami o najwyższym poziomie wykorzystania cyfryzacji są: media i rozrywka (poziom ten wyniósł średnio 62%), detaliczny (55%)

[18] *Tamże*, s. 4.

oraz high tech (54%)[19]. Średnia dla wszystkich badanych sektorów wyniosła 37%. Szczegółowe wyniki tego badania przedstawia rys. 4. Relatywnie niski poziom digitalizacji, który został wskazany w tym badaniu wobec potencjału dostępnych współcześnie technologii, świadczy o tym, że przemiana przedsiębiorstw i ich przejście do świata wirtualnego dopiero się rozpoczęła, a tempo adaptacji technologii może wskazywać raczej na kolejny etap w ewolucji zarządzania organizacjami niż stanowić dla nich rewolucyjny charakter. Wymaga ona też adekwatnego doboru struktury ważnych technologii wobec przyjętej przez przedsiębiorstwo strategii rozwoju.



Rys. 4. **Poziom cyfryzacji wybranych sektorów**
Zródło: J. Bughin, L. LaBerge, A. Mellbye, *The case for digital reinvention*, McKinsey Quarterly, February 2017.

Zgodnie z danymi raportu Accenture Technology Vision 2016 w 2020 roku biznes oparty na cyfrowych technologiach będzie stanowił 25% całej światowej gospodarki. Najszybciej rozwijającym się segmentem będą platformy biznesowe wykorzystujące możliwości wynikające z budowania nowych modeli bazujących na otwartych ekosystemach. Te ekosystemy, oparte na integracji procesów i funkcji wielu partnerów, będą tworzyły nowe wirtualne łańcuchy wartości. W efekcie organizacje uzyskają swobodę migracji kompetencji pomiędzy sektorami, co pozwoli tworzyć nowe pro-

[19] J. Bughin, L. LaBerge, A. Mellbye, *The case for digital reinvention*, McKinsey Quarterly, February 2017.

dukty (towary i/lub usługi) w krótkim czasie i na krótki czas. Podstawą do tworzenia takich ekosystemów są platformy internetowe.

Według definicji użytej w jednym z dokumentów Komisji Europejskiej platforma internetowa to: „przedsiębiorstwo działające na dwu- lub wielostronnych rynkach, umożliwiające interakcję drogą internetową przynajmniej dwóm odrębnym, choć współzależnym grupom użytkowników w celu wygenerowania wartości dla przynajmniej jednej z grup. Niektóre platformy pełnią również funkcję usługodawców pośredniczących"[20]. Platforma jest miejscem oferowania rozproszonych w skali globalnej zasobów i przyczyną rekonfiguracji (bądź konfiguracji w przypadku nowych przedsięwzięć) łańcuchów wartości.

„Platformy wytwarzają, gromadzą i kontrolują ogromne ilości danych o swoich klientach i za pomocą algorytmów przekształcają je w użyteczne informacje. Ilość takich danych rośnie wykładniczo – 90% wszystkich danych krążących w internecie powstało w ciągu ostatnich 2 lat. Ponadto platformy dowiodły, że są czynnikiem innowacji w gospodarce cyfrowej, pomagają bowiem mniejszym przedsiębiorstwom rozpocząć działalność w Internecie i dotrzeć do nowych rynków. Nowe platformy usług w zakresie mobilności, turystyki, muzyki, usług audiowizualnych, edukacyjnych, finansowych, noclegowych i rekrutacyjnych szybko i dogłębnie podważyły tradycyjne modele biznesowe i rozrastają się w tempie wykładniczym"[21].

Do platform bazujących na kompetencjach sektora teleinformatycznego można zaliczyć np.:

- wyszukiwarki internetowe (np. Google, Bing),
- narzędzia do wyspecjalizowanego wyszukiwania (np. Google Shopping, Kelkoo, Twenga, Google Local, TripAdvisor, Yelp),
- katalogi przedsiębiorstw zintegrowane z lokalizacją lub niektóre mapy (np. Google Maps, Bing Maps),
- agregatory wiadomości (np. Google News),
- internetowe serwisy handlowe (np. Amazon, eBay, Allegro, Booking.com),
- platformy audiowizualne i muzyczne (np. Deezer, Spotify, Netflix, CanalPlay, Apple TV),
- platformy do udostępniania materiałów wideo (np. YouTube, Dailymotion),
- systemy płatności (np. PayPal, Apple Pay),
- sieci społecznościowe (np. Facebook, LinkedIn, Twitter, Tuenti),
- platformy aplikacji (np. Apple App Store, Google Play),
- platformy gospodarki współpracy (np. Airbnb, TaskRabbit, BlaBlaCar).
- platformy dwustronnego pośrednictwa „na żądanie" przy jednoczesnym wykorzystaniu internetu oraz aplikacji mobilnych (np. Uber).

[20] *Otoczenie regulacyjne platform i pośredników internetowych, przetwarzania danych, chmur obliczeniowych i gospodarki współpracy*, Komisja Europejska, konsultacje publiczne, 24.9.2015, s. 5.

[21] *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Strategia jednolitego rynku cyfrowego dla Europy*, Bruksela, 6.5.2016, s. 11–12.

Warto zaznaczyć, że podstawą do korzystania i rozwijania platform w zarządzaniu przedsiębiorstwem jest dostęp do internetu. Przy czym sam internet jest także w literaturze przedmiotu definiowany jako platforma[22]. Odnosi się to przede wszystkim do jego warstwy treści, w której kluczową rolę odgrywa informacja, stanowiąc swoistą bazę wszystkich zasobów w tej warstwie internetu[23].

Platformy umożliwiają dzielenie się informacjami, co jest jednocześnie podstawą gospodarki współdzielenia zasobów w skali globalnej (ang. *sharing economy*) i uzyskiwaniu korzyści skali oraz ograniczaniu kosztów transakcyjnych[24].

3. Ekosystem e-mobilności

W czasie trwania poszczególnych etapów rewolucji przemysłowej zmieniał się sposób podróżowania i dostępu do mobilności. W erze industrialnej transport był zdominowany przez kolej. W XX wieku rozpowszechniło się wykorzystywanie samochodów osobowych, często stanowiących symbol poziomu życia ich właścicieli. W XXI wieku w czasach wszechobecnego internetu i dostępu do informacji pojawiły się nowe możliwości dopasowania modelu transportu do indywidualnych potrzeb związanych z mobilnością.

W sektorze motoryzacyjnym ze względu na rekonfigurację modeli biznesowych możliwa jest jednostkowa produkcja lub produkcja krótkich serii. Jednocześnie rośnie rola współprodukcji i outsourcingu, dzięki którym partnerzy mogą czerpać obopólne korzyści z pełnego wykorzystania posiadanych zasobów. Dlatego zmiany w transporcie wynikające z rozwoju technologii mają kilka wymiarów. Dotyczą one zarówno samego taboru, jak i sposobów zarządzania transportem. W obrębie zmian jakościowych związanych z produkcją pojazdów mówi się o innej konstrukcji silników, w tym coraz częściej o silnikach elektrycznych, wyposażeniu poprawiającym komfort i bezpieczeństwo podróżowania oraz funkcjonalności skracających jego czas.

Dzięki technologii zmienia się też rola konsumenta jako współtwórcy produktu w całym procesie łańcucha wartości. Zaangażowanie konsumenta od etapu projektowania funkcjonalności nowego modelu odbywać się może poprzez crowdsourcing (np. za pomocą sieci społecznościowych) do etapu personalizacji poszczególnych egzemplarzy pojazdów poprzez konfigurację ich wyposażenia i funkcjonalności bezpośrednio na stronach dealerów. Finalnie producenci są w stanie maksymalizować rezultaty wynikające z potencjału posiadanych zasobów (w tym produkcyjnych) z wykorzystaniem efektu masowej kastomizacji (ang. *mass customization*). Wsparciem dla możliwości wdrożenia takich rozwiązań są platformy internetowe łączące różne grupy interesariuszy i umożliwiające dostęp do ogromnych zbiorów danych.

---

[22] A. Gawer, M.A. Cusumano, *Platforms and Innovation*, w: M. Dogson, D.M. Gann, N. Phillips (eds), *The Oxford Handbook of Innovation Management*, Oxford University Press, Oxford 2014, s. 653.

[23] J. Hofmokl, *Internet jako nowe dobro wspólne*, Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2009, s. 148.

[24] Więcej na temat platformy i *sharing economy* w: K. Nowicka, *Cloud computing – warunek sine qua non Sharing Economy*, w: *Sharing economy (gospodarka współdzielenia)*, M. Poniatowska-Jaksch, R. Sobiecki (red.), Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2017, s. 69–88.

W obrębie zarządzania transportem istotnymi technologiami ICT są m.in. oprogramowanie monitorujące pracę pojazdu oraz nawigacja GPS. Podłączenie do internetu i wykorzystanie technologii GPS umożliwia nie tylko wsparcie zarządzania flotą w czasie rzeczywistym – np. poprzez jej bieżące śledzenie (ang. *tracking and tracing*). Jest również możliwością optymalizowania (czy też maksymalizowania) wykorzystania potencjału tych aktywów przez przedsiębiorstwa poprzez całkowite zapełnianie przestrzeni ładunkowej w całym czasie trwania podróży (także powrotnej) czy maksymalizację czasu pracy pojazdu. W efekcie rozwiązania typu „usieciowiony pojazd" (ang. *connected vehicle*) mogą oznaczać wielowymiarowe korzyści zarówno z punktu widzenia dostawcy transportu, jak i konsumenta usługi transportowej dostarczanej z wykorzystaniem ICT.

Ponadto technologia ta – i zapewniana przez nią możliwość dzielenia informacji o dostępnych zasobach w skali globalnej – stymuluje zmianę zachowań mobilnych społeczeństwa. Jest ona też motorem napędowym do powstawania nowych modeli biznesowych firm typu Uber budowanych na platformach internetowych. Rozwiązania takie jak car-sharing[25] czy car-pooling mogą się rozwijać dzięki niegraniczonemu dostępowi do informacji – jej przechowywaniu i przetwarzaniu w czasie rzeczywistym w chmurze obliczeniowej. Tym samym internet jako rynek wirtualny jest miejscem kształtującym równowagę pomiędzy podażą a popytem na mobilność.

Transport jest jednym z pierwszych obszarów, w których ogół społeczeństwa będzie mógł doświadczyć istoty AI na szeroką skalę. Autonomiczne pojazdy, jako lepsi kierowcy, zmienią nie tylko podejście do istoty posiadania samochodu, lecz także wpłyną na sposób i jakość życia, przede wszystkim w miastach. Będą stymulować wzrost mobilności wśród grup, które dotychczas nie podróżowały samodzielnie samochodami lub robiły to w ograniczonym zakresie (np. młodzież lub osoby niepełnosprawne). W dalszej kolejności zmianie ulegną sposoby realizacji dostaw do miast i pomiędzy poszczególnymi partnerami w łańcuchach dostaw ze względu na wykorzystanie autonomicznych ciężarówek lub innych pojazdów – w tym dronów – transportujących ładunki.

Warto zaznaczyć, że dużą rolę w możliwości zarządzania i wykorzystania AI w transporcie stanowi dostęp do dużych zbiorów danych. Pochodzą one ze smartfonów, różnorodnych czujników, GPS czy też kamer. Bez dostępności tych danych, możliwości ich przechowywania i przetwarzania za pomocą chmury obliczeniowej takie aplikacje, jak: wykrywanie zdarzeń w czasie rzeczywistym i prognozowanie ruchu, obliczenia trasy i jej konfigurowanie, analiza i kontrola odległości między pojazdami czy wdrażanie systemów inteligentnego zarządzania ruchem (ang. *Intelligent Transport System*, ITS) w miastach nie byłyby możliwe lub byłyby nieefektywne. W rezultacie ich zastosowania zmienia się sposób podróżowania, wzrasta wykorzystanie zasobów związanych z infrastrukturą transportową i poprawia się jakość życia mieszkańców. Niewątpliwie rozwiązania ITS stanowią potencjał nie tylko dla zarządzania ruchem na terenie miast, aglomeracji czy *megacities*. Dostępna technologia umożliwia bowiem rozwijanie tego typu projektów pomiędzy miastami, wpływając na kompaty-

[25] Szerzej zostały przedstawione w rozdziale autorstwa M. Wolańskiego i M. Pieroga.

bilność organizowanych zdarzeń i zacieśniając współpracę stymulującą ich jednoczesny rozwój. Może to być wykorzystywane np. w przypadku bardzo dużych wydarzeń o charakterze masowym obejmujących kilka regionów, cały kraj bądź mających zasięg międzynarodowy. Wynika to z faktu, że technologie cyfrowe tworzą dotychczas niespotykane możliwości konfiguracji w zasadzie nieograniczonej ilości danych, które są w stanie szybko przetwarzać na informacje i w konsekwencji na decyzje. Jednocześnie koszt dostępu do takich rozwiązań maleje i się upowszechnia. W efekcie niemal każda organizacja jest w stanie rozwijać swoją działalność w obszarach, w których dotychczas istniały wysokie bariery dostępu.

Dodatkowo możliwość zdalnej nawigacji pojazdów stanowi punkt wyjścia do budowania takich rozwiązań jak *platooning*, czyli „wirtualnego konwoju ciężarówek"[26]. Ciężarówki zaprojektowane do tego typu wykorzystania wyposażone są w systemy umożliwiające synchronizację transportu w ramach tej samej floty bądź wielu różnorodnych flot, np. pochodzących od kilku przewoźników lub operatorów logistycznych. W większości przypadków wykorzystują one zestaw kamer oraz czujników i „porozumiewają się" za pomocą platformy opartej o rozwiązania chmury obliczeniowej. W rezultacie wykorzystania takich systemów poprawia się bezpieczeństwo transportu ładunków, redukowany jest jego koszt, poziom emisji CO_2 i kongestii.

Warto zaznaczyć, że wszystkie wskazane rozwiązania wymagają współpracy przedsiębiorstw z sektorów motoryzacyjnego i transportowo-spedycyjno-logistycznego (TSL) z dostawcami rozwiązań ICT, jak również z sektorem publicznym w zakresie obowiązujących regulacji – czyli wszystkich interesariuszy związanych z sektorem transportu. Taka współpraca pomiędzy partnerami biznesowymi dotyczy wszystkich ogniw w łańcuchu wartości, w którym zaangażowany jest transport. Mowa jest tu więc o producentach i dealerach pojazdów, jak również oferentach usługi transportowej – od przewoźników do operatorów typu 4PL, a w sektorze przewozów osobowych także taksówkarzy oraz prywatnych właścicieli aut.

W analizie związanej z kierunkami rozwoju mobilności warto uwzględnić również perspektywę dostawców usług transportowych związanych z przewozem ładunków. Operatorzy logistyczni, konkurując poprzez innowacje, coraz powszechniej wykorzystują bowiem technologie, w tym głównie ICT. Na uwagę zasługuje tu tzw. „radar trendów logistycznych" opracowywany corocznie przez firmę DHL. W aktualnym raporcie wskazuje się na następujące technologie (nazwane trendami technologicznymi), które będą odgrywały najważniejszą rolę w rozwoju sektora logistycznego w najbliższych pięciu latach: *big data*, technologia niskokosztowych czujników, logistyka w chmurze obliczeniowej (ang. *cloud logistics*), rozszerzona rzeczywistość, internet rzeczy, robotyka i automatyka[27].

Rozwiązanie, które przybiera aktualnie na znaczeniu w zarządzaniu ruchem (głównie w miastach), jest mobilność jako usługa (ang. *mobility as a service* – MaaS). MaaS jest zbudowana na platformie internetowej (z wykorzystaniem *cloud computin-*

[26] www.eutruckplatooning.com (30.03.2017).

[27] DHL, *Logistics Trend Radar. Delivering insight today. Creating value tomorrow!*, Deutsche Post DHL Group, Troisdorf 2016, s. 14.

gu, a zatem w modelu „na życzenie", ang. *on-demand*), która integruje informacje na temat wszystkich zasobów potrzebnych do zaplanowania podróży od jej początku, aż po sam koniec (w usługach komercyjnych takie rozwiązanie nosi nazwę „drzwi-drzwi", ang. *door-to-door*). Ze względu na kumulację tychże zasobów jest ona obecnie wykorzystywana przede wszystkim w miastach borykających się z problemem kongestii lub tych, które kładą nacisk na wdrażanie rozwiązań ograniczających emisję spalin i poprawę jakości życia mieszkańców. MaaS umożliwia analizę wariantów podróży z wykorzystaniem różnych gałęzi i środków transportu – publicznych i prywatnych, rezerwację oraz zakup biletów, uwzględnienie dostępu do miejsc ważnych dla podróżującego (ang. *point of interest*) na trasie przejazdu, aktualny poziom zatłoczenia, roboty drogowe czy też zdarzenia niezaplanowane monitorowane *on-line*[28]. Są to aplikacje dostępne poprzez urządzenia mobilne umożliwiające dokonywanie wyborów sposobu podróży (także w czasie rzeczywistym) zgodnego z przyjętymi przez podróżującego kryteriami istotności, np. koszt, poziom emisji dwutlenku węgla lub czas. Mobilność *on-demand* charakteryzuje się możliwością płacenia tylko za funkcjonalność, która rzeczywiście została wykorzystana (ang. *pay-as-you-use, pay-as-you-go*). Ogranicza to konieczność ponoszenia opłat za czas, w którym samochód nie jest użytkowany i parkuje. Koszty te rozłożone są pomiędzy wielu użytkowników, a zatem osiągany jest efekt korzyści skali. Mobility *on-demand* to także – z perspektywy użytkownika – wzrost elastyczności i możliwość dopasowania zasobów związanych z mobilnością do rzeczywistych potrzeb bez względu na to, w którym miejscu się on aktualnie znajduje.

Upowszechnianie się rozwiązań typu MaaS czy car-sharing przekształca dotychczasowy model potrzeby posiadania i samodzielnego użytkowania pojazdu w model współdzielenia mobilności. Zmierza on w kierunku współużytkowania elektrycznego samochodu autonomicznego. W przyszłości najpewniej będą to rozwiązania dostępne w pierwszej kolejności w miastach o wysokim poziomie rozwoju.

W efekcie wskazane zastosowania technologii w zarządzaniu transportem tworzą swoisty ekosystem mobilności. Kumulacja zastosowań ICT w różnych obszarach – zarówno tych bezpośrednio związanych z zarządzaniem transportem, jak i tych, które decydują o współczesnej funkcjonalności pojazdów – prawdopodobnie pozwoli w przyszłości na wprowadzanie w sektorze motoryzacyjnym rozwiązań o przełomowym charakterze. Warto podkreślić, że owa przełomowość mogłaby dotyczyć również efektów pośrednich – poprawy warunków i jakości życia mieszkańców miast i innych lokalizacji. W szerszej perspektywie mowa jest także o zmianach zasad zarządzania łańcuchami dostaw i ich dotychczasowych modeli biznesowych. Są one bowiem stymulowane potrzebami konsumentów, a ci coraz chętniej wybierają rozwiązania oparte na e-mobilności. Tworzy się więc swoista spirala zależności rozwoju świata wirtualnego stymulującego rozwiązania e-mobilne i e-mobilności jako obszaru leżącego w obrębie zainteresowań społeczno-gospodarczych, a zatem istoty potrzeb konsumentów.

[28] W. Goodall, T.D. Fishman, J. Bornstein, B. Bonthron, *The rise of mobility as a service. Reshaping how urbanites get around*, Deloitte University Press, 2017, s. 114.

4. Cyberbezpieczeństwo migracji zasobów do świata wirtualnego

Według danych raportu Światowego Forum Ekonomicznego z 2016 roku globalne ryzyka można podzielić na pięć kategorii: ekonomiczne, środowiskowe, geopolityczne, społeczne i technologiczne. Każda z tych kategorii została dodatkowo podzielona na podgrupy zdarzeń, które w przypadku ich wystąpienia mogą w znaczący sposób w przeciągu najbliższych dziesięciu lat negatywnie wpłynąć na kilka krajów lub sektorów. Ryzyko technologiczne podzielono na: niekorzystne konsekwencje postępu technologicznego, awarie krytycznej infrastruktury informacyjnej i sieci, cyberataki na dużą skalę, incydent defraudacji lub kradzieży danych na masową skalę[29]. W rankingu wszystkich zidentyfikowanych zagrożeń (łącznie wskazano dwadzieścia dziewięć możliwych zdarzeń) incydent kradzieży danych znalazł się na ósmym miejscu wśród najbardziej prawdopodobnych. To potencjalne ryzyko technologiczne zostało wyprzedzone przez zdarzenia należące do wszystkich pozostałych zidentyfikowanych w skali globalnej kategorii ryzyk. Jednocześnie żadne ze zdarzeń należących do ryzyk technologicznych nie znalazło się w rankingu tych o istotnym znaczeniu.

Koncentrując się jednak na istocie cyberbezpieczeństwa, należy zauważyć, że świat wirtualny i internet otworzyły nowe możliwości dla rozprzestrzeniania się zagrożeń wpływających na różne płaszczyzny życia w skali globalnej. „Wszystko jest w sieci i do wszystkiego można się włamać"[30]. Z tego względu warto zwrócić uwagę na niezbędne i konieczne środki bezpieczeństwa związane z możliwością ograniczania występowania zdarzeń o negatywnym znaczeniu zarówno w ujęciu mikroekonomicznym, jak i makroekonomicznym. Po pierwsze, dostęp do danych i zarządzanie nimi jest regulowane ustawą o ochronie danych osobowych, której znaczenie zostało szerzej omówione w monografii przygotowanej na Europejski Kongres Finansowy 2016[31]. Po drugie, tworzenie polityki i systemu bezpieczeństwa organizacji wymaga uwzględnienia wytycznych oraz standardów regulowanych szeregiem aktów prawnych.

Bezpieczeństwo danych stanowi jedno z głównych wyzwań we współczesnym zarządzaniu. Jednakże rozwiązanie problemu globalnej cyberprzestępczości leży poza możliwościami pojedynczych organizacji. Dlatego posiadanie nawet najlepszych zabezpieczeń i spełnienie wszystkich wymaganych norm nie gwarantuje organizacji pełnego bezpieczeństwa oraz wykluczenia wystąpienia awarii zakłócającej ciągłość prowadzenia działalności. Z tego względu istotna jest współpraca wszystkich interesariuszy organizacji przechowujących i zarządzających danymi – z jednej strony w celu implementacji adekwatnych systemów zabezpieczeń, z drugiej, w celu wpro-

[29] *The Global Risks Report 2016*, World Economic Forum, Geneva 2016, s. 6 i 9.

[30] A. Kaspersen, *Cyberspace: The new frontier in warfare*, World Economic Forum Agenda, 24 September 2015.

[31] Patrz: D. Książkiewicz, *Bezpieczeństwo danych w procesach biznesowych*, w: J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieriegud (red.), *dz. cyt.*, s. 66.

wadzania stosowych regulacji ograniczających poziom możliwości rozprzestrzeniania się ryzyka technologicznego.

Tempo rozwoju platform internetowych wzbudza również pewne obiekcje, zwłaszcza wśród instytucji odpowiedzialnych za regulowanie rynku nie tylko w skali krajowej, lecz także regionalnej. Wątpliwości takie zostały wyrażone w dokumencie Komisji Europejskiej pt. *Strategia jednolitego rynku cyfrowego dla Europy* w następujący sposób: „Platformy internetowe (np. wyszukiwarki internetowe, media społecznościowe, platformy handlu elektronicznego, sklepy z aplikacjami, porównywarki cen) odgrywają coraz ważniejszą rolę w życiu społecznym i gospodarczym: umożliwiają one konsumentom znalezienie informacji w Internecie, a przedsiębiorstwom – wykorzystanie zalet handlu elektronicznego. Europa ma duży potencjał w tej dziedzinie, ale hamuje ją fragmentacja rynków, która utrudnia przedsiębiorstwom rozwój działalności na większą skalę. […] Wpływ takich platform na rynek zależy od ich rodzaju i pozycji, jednak niektóre z nich mogą kontrolować dostęp do rynków internetowych i w zasadniczy sposób wpływać na sposób wynagradzania różnych podmiotów na tych rynkach. Z tych względów rosnąca władza rynkowa niektórych platform rodzi wiele obaw. Chodzi m.in.: o brak przejrzystości co do sposobu wykorzystania informacji pozyskiwanych przez te platformy, ich znaczną siłę przetargową w porównaniu do ich klientów, co może znajdować odzwierciedlenie w warunkach umów (w szczególności z MSP), promocję własnych usług na niekorzyść konkurentów oraz nieprzejrzystą politykę cenową lub ograniczenia co do cen i warunków sprzedaży. Niektóre platformy internetowe stały się graczami rynkowymi konkurującymi w wielu sektorach gospodarki, a sposób, w jaki wykorzystują swoją władzę rynkową, wywołuje liczne pytania wymagające pogłębionej analizy, wykraczającej poza zastosowanie prawa konkurencji w indywidualnych przypadkach”[32]. Cyberbezpieczeństwo migracji zasobów do świata wirtualnego jest więc procesem. Jego kolejne etapy postępują wraz z rozwojem cyberprzestępczości i często są na nie odpowiedzią. Bieżące tempo rozwoju technologii ogranicza, lub wręcz uniemożliwia, proaktywne tworzenie systemu regulującego jakość zabezpieczeń eliminujących wystąpienie zagrożeń. Sytuacja ta jest przykładem, w którym praktyka gospodarcza wyprzedza swoją aktualną problematyką obowiązujące regulacje prawne.

Podsumowanie

Współczesny rozwój świata wirtualnego jest wypadkową ewolucji wykorzystania technologii w procesie rozwoju społeczno-gospodarczego na przełomie wieków. Obecna faza tego rozwoju różni się ze względu na niematerialny charakter kluczowych zasobów kształtujących sposób i jakość życia konsumentów – informacji. Digitalizacja, współdecydująca o kształcie gospodarki cyfrowej, dostarcza szerokiego spektrum rozwiązań możliwych do wykorzystania niemal w każdym obszarze prowadzonej działalności gospodarczej. Decyduje ona również o potrzebie mobilności i sposobach jej

[32] *Komunikat Komisji..., dz. cyt.*

realizacji. Coraz częściej mowa jest o e-mobilności, która bazuje na wykorzystaniu ICT, jednak może być w różny sposób postrzegana i konfigurowana przez poszczególnych interesariuszy należących do łańcucha wartości w sektorach związanych z transportem.

Jednocześnie działania w świecie wirtualnym są narażone na różnego typu zagrożenia, które mogą pochodzić z różnych miejsc w skali globalnej i mieć destrukcyjny wpływ na całą organizację oraz jej otoczenie. Cyberbezpieczeństwo jest zatem problematyką, która powinna być tematem nieustannego dialogu pomiędzy sektorem prywatnym a publicznym. Jest to szczególnie ważne w przypadku e-mobilności, ponieważ jest ona skierowana do szerokiego grona konsumentów rozproszonych w skali globalnej.

Bibliografia

Bell D., *The Coming of Post-Industrial Society*, Basic Books, New York 1973.

Bughin J., LaBerge L., Mellbye A., *The case for digital reinvention,* McKinsey Quarterly, February 2017.

Cearley D.W., Walker M.J., Burke B., *Top 10 Strategic Technology Trends for 2017*, Gartner, 14 October 2016, https://www.gartner.com/doc/3471559?srcId=1-6595640685 (28.03.2017).

DFKI, 2011, Bosch, http://bosch-prasa.pl/zdjecia/original/45/4535.jpg (16.03.2016).

DHL, *Logistics Trend Radar. Delivering insight today. Creating value tomorrow!*, Deutsche Post DHL Group, Troisdorf 2016.

Doligalski T., *Czym się różni przedsięwzięcie e-biznesowe od tradycyjnego w zakresie relacji z klientami?*, „e-mentor" nr 3(15)/2006.

Dreischmeier R., Gupta R., *Firms should have clarity of digital vision, strategy, BCG 2017*, https://www-livemint-com.cdn.ampproject.org/c/www.livemint.com/Companies/F01LECrGFQktHZ3MadIX1H/Firms-should-have-clarity-of-digital-vision-strategy-BCGs.html?facet=amp&utm_source=googleamp&utm_medium=referral&utm_campaign=googleamp (16.03.2017).

Gawer A., Cusumano M.A., *Platforms and Innovation*, w: M. Dogson, D.M. Gann, N. Phillips (eds), *The Oxford Handbook of Innovation Management*, Oxford University Press, Oxford 2014.

Goodall W., Fishman T.D., Bornstein J., Bonthron B., *The rise of mobility as a service. Reshaping how urbanites get around*, Deloitte University Press, 2017.

Hatalska N., *TrendBook 2017. Porzeczywistość*, http://hatalska.com/wp-content/uploads/2017/03/Trendbook2017.pdf (16.03.2017).

Hofmokl J., *Internet jako nowe dobro wspólne,* Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2009.

http://stat.gov.pl/metainformacje/slownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/1893,pojecie.html (20.03.2017).

https://pl.wikipedia.org/wiki/Sztuczna_inteligencja (28.03.2017).

https://pl.wikipedia.org/wiki/Technologia (17.03.2017).

Kaspersen A., *Cyberspace: The new frontier in warfare*, World Economic Forum Agenda, 24 September 2015.

Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Strategia jednolitego rynku cyfrowego dla Europy, Bruksela, 6.5.2016.

Książkiewicz D., *Bezpieczeństwo danych w procesach biznesowych*, w: J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieriegud (red.), C*yfryzacja gospodarki i społeczeństwa – szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych*, Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową – Gdańska Akademia Bankowa, Gdańsk 2016.

Makulska D., *Kluczowe czynniki rozwoju w gospodarce opartej na wiedzy*, w: J. Stacewicz (red.), *Pomiędzy polityką stabilizacyjną i polityką rozwoju*, Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego SGH, Warszawa 2012.

Manyika J., Chui M., Bughin J., Dobbs R., Bisson P., Marrs A., *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*, McKinsey Global Institute, 2013.

Moulton, B.R., *GDP and the Digital Economy: Keeping Up With The Changes. Understanding the Digital Economy: Data, Tools, and Research,* MIT Press, Cambridge and London 2000.

Nowicka K., *Cloud computing – warunek sine qua non Sharing Economy,* w: *Sharing economy* (*gospodarka współdzielenia*), M. Poniatowska-Jaksch, R. Sobiecki (red.), Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2017.

Otoczenie regulacyjne platform i pośredników internetowych, przetwarzania danych, chmur obliczeniowych i gospodarki współpracy, Komisja Europejska, konsultacje publiczne, 24.9.2015.

Paprocki W., *Koncepcja Przemysł 4.0 i jej zastosowanie w warunkach gospodarki cyfrowej*, w: J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieriegud (red.), *Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa – szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych*, Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową – Gdańska Akademia Bankowa, Gdańsk 2016.

Stone P., Brooks R., Brynjolfsson E., Calo R., Etzioni O., Hager G., Hirschberg J., Kalyanakrishnan S., Kamar E., Kraus S., Leyton-Brown K., Parkes D., Press W., Saxenian A.L., Shah J., Tambe M., Astro Teller, *Artificial Intelligence and Life in 2030. One Hundred Year Study on Artificial Intelligence. Report of the 2015–2016 Study Panel*, Stanford University, Stanford, CA, 2016.

Szpringer W., *Innowacyjne modele e-biznesu. Aspekty instytucjonalne*, Difin, Warszawa 2012.

Tapscott D., *The Digital Economy: Promise and Peril In The Age of Networked Intelligence* Vol. 1, McGraw-Hill, New York 1997.

The Global Risks Report 2016, World Economic Forum, Geneva 2016.

Wójcik J., *Zachowanie konsumentów jako źródło niestabilności pozycji przedsiębiorstwa na rynku internetowym*, w: *Narastająca niestabilność gospodarki a konkurencyjność przedsiębiorstw,* R. Sobiecki (red.), Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2014,
www.eutruckplatooning.com (30.03.2017).

Streszczenie

W rozdziale przedstawiono rozważania dotyczące istoty efektów rozwoju współczesnego świata wirtualnego w obszarze mobilności. Digitalizacja, współdecydująca o kształcie gospodarki cyfrowej, dostarcza szerokiego spektrum rozwiązań możliwych do wykorzystania przez różnych interesariuszy łańcucha wartości sektorów związanych z transportem. Postępujący rozwój ICT wpływa na obecną e-mobilność bazującą na rozwiązaniach elektronicznych. Ważne jest jednak podkreślenie różnorodności dostępnych rozwiązań technologicznych, które wywierają na ten sektor wpływ zarówno bezpośredni, jak i pośredni. Mowa jest tym samym o swoistym ekosystemie e-mobilności współtworzonym przez różnorodne rozwiązania z zakresu ICT. Celem opracowania jest wskazanie najistotniejszych technologii zintegrowanych w ramach świata wirtualnego, które niosą ze sobą największy potencjał w kształtowaniu funkcjonowania współczesnego i przyszłego ekosystemu e-mobilności.

DEVELOPMENT OF THE VIRTUAL WORLD AND ITS IMPACT ON E-MOBILITY

SUMMARY

The chapter discusses the essence of the effects of the development of the modern virtual world in the area of mobility. Digitalization, co-deciding on the shape of the digital economy, provides a broad spectrum of solutions that can be used by various stakeholders in the value chain of transport sectors. The progressive development of ICT affects the current e-mobility based on electronic solutions. It is important, however, to emphasize the variety of available technological solutions that affect both the direct and indirect impacts of this sector. Therefore the specific e-mobility ecosystem that is created by a variety of ICT solutions should be revised. The aim of the study is to identify the most important technologies integrated within the virtual world, which have the greatest potential for shaping the functioning of today's and tomorrow's e-mobility ecosystem.

Dr Bartosz Grucza

Pracownik Katedry Transportu Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie, w latach 2013–2016 kanclerz SGH, w latach 2006–2008 kanclerz Akademii Medycznej w Warszawie i Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. Absolwent SGH i wieloletni pracownik Katedry Zarządzania Projektami Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie, współtwórca i wykładowca Podyplomowych Studiów Zarządzania Projektami SGH. Kierownik projektów i konsultant w dziedzinie zarządzania projektami, w tym finansowanymi ze środków UE. Członek międzynarodowej grupy ekspertów powołanej w celu doskonalenia europejskich metodyk zarządzania projektami. Menedżer, od kilkunastu lat wdrażający projekty w przedsiębiorstwach prywatnych i instytucjach publicznych. Współautor wielu publikacji i popularnych podręczników z zakresu zarządzania i zarządzania projektami. Członek i były Prezes Zarządu Stowarzyszenia Menedżerów Projektów, członek PMI i IPMA, propagator idei zarządzania projektami w środowisku akademickim, biznesowym i społecznym.

Bartosz Grucza

Wizje i scenariusze rozwoju autonomicznych systemów transportowych

Wprowadzenie

Autonomiczny system transportowy (ang. *autonomous transport system*) może być zdefiniowany jako system, w którym kierujący środkiem transportu – samolotem, pojazdem szynowym, statkiem, autobusem czy samochodem – jest zastępowany przez zaawansowany technologicznie układ sterujący, składający się z oprogramowania, komputerów, czujników, urządzeń komunikacyjnych itp. znajdujących się w samym pojeździe, jak również w infrastrukturze, z której pojazd korzysta, umożliwiający bezpieczne i efektywne poruszanie się pojazdów do wyznaczonego celu. Obecnie funkcjonujące systemy transportowe różnią się stopniem automatyzacji – ich przykłady zostaną przedstawione w dalszej części rozdziału.

Automatyzacja transportu pociąga za sobą zmiany w wielu obszarach wykraczających poza system transportowy, powodując rozwój fizycznego i cyfrowego środowiska biznesowego, zaangażowanie i edukację użytkowników, zakwestionowanie wielu dotychczasowych aspektów funkcjonowania współczesnych społeczeństw, poczynając od wzorców kulturowych zachowań kierowców i pasażerów, aż po redefiniowanie pojęcia własności pojazdów.

Spośród istniejących gałęzi transportu szczególnie dynamiczny rozwój tych systemów można zaobserwować w trzech obszarach:

- transportu lotniczego, głównie w zakresie doskonalenia systemów sterowania samolotami o przeznaczeniu militarnym i cywilnym, a także doskonalenia dronów służących do przemieszczania przedmiotów o małej masie oraz dronów służących do wykonywania obserwacji otoczenia przy wykorzystaniu urządzeń pomiarowych i rejestrujących; odrębnym kierunkiem rozwoju dronów jest ich przystosowanie do transportu osób;
- transportu szynowego, zwłaszcza w zakresie automatyzacji metra;
- transportu samochodowego, zarówno w odniesieniu do samochodów osobowych, jak i dostawczych i wysokotonażowych.

Właśnie te zagadnienia jako mające potencjalnie najsilniejszy wpływ na zjawisko e-mobilności zostaną bardziej szczegółowo omówione w niniejszym rozdziale.

1. Żegluga powietrzna

Spośród autonomicznych systemów transportowych w sektorze lotniczym na pierwsze miejsce pod względem potencjalnego wpływu na przyszłość funkcjonowania gospodarki wysuwają się programy rozwoju zautomatyzowanych pojazdów kategorii VTOL (ang. *vertical take-off and landing*). W wielu miejscach naszego globu trwają zaawansowane prace nad nowymi koncepcjami latających pojazdów autonomicznych. W Dolinie Krzemowej utworzono co najmniej trzy start-upy zajmujące się stworzeniem pojazdów VTOL: Joby Aviation, Zee.Aero i Kitty Hawk. Firmy pracują nad projektami dronów do użytku miejskiego przewożących ludzi i mają silne wsparcie sponsorów. W start-upy zainwestował m.in. współzałożyciel Google, Larry Page. Zee.Aero zatrudnia obecnie ponad stu pracowników pracujących nad nowymi technologiami dronów. Podmioty te działają w ścisłej tajemnicy, nie ujawniając informacji na temat postępu prowadzonych prac. Kitty Hawk, której założycielem jest współkonstruktor samobieżnego auta Google, wypróbowuje już taki pojazd[1].

W Niemczech wystartowały dwa start-upy pracujące nad VTOL. Firma z Karlsruhe pracuje nad volocopterem, podobnym do helikoptera dwuosobowym pojazdem z osiemnastoma wirnikami. Bez profesjonalnego przygotowania można sterować nim za pomocą dżojstika, komputery pokładowe ignorują bowiem każde polecenie, które mogłoby doprowadzić do katastrofy. Volocopter już w ubiegłym roku odbył swój pierwszy lot załogowy. Obecnie odbywają się kolejne loty próbne.

W Gilching na obrzeżach lotniska Airbusa powołano do życia spółkę Lilium Aviation, z wizją zasilanego akumulatorowo wehikułu powietrznego, który napędzany trzydziestoma sześcioma obrotowymi wirnikami zgodnie z założeniami przewiezie dwóch pasażerów na odległość trzystu kilometrów. Pierwszy lot startującej pionowo maszyny to jeszcze kwestia przyszłości. Wynalazcy dysponują jednak dużym potencjałem – współzałożyciel Skype'a, Niklas Zennström, zainwestował w Lilium Aviation 10 milionów EUR. Wsparcie oferują również fundusze kapitału wysokiego ryzyka oraz Europejska Agencja Kosmiczna (ESA).

Uber zatrudnił Marka Moore'a, inżyniera z NASA, który od kilkudziesięciu lat zajmuje się eksperymentalnymi samolotami. Moore ma pomóc przygotować firmę na nadchodzącą epokę VTOL m.in. w pokonaniu barier regulacyjnych. Wizjonerzy z Ubera uważają komercyjne latające auta za alternatywę ekonomiczną wobec własnego samochodu. Gdy rozpocznie się wielkoseryjna produkcja, piętnastominutowy lot szybką taksówką powietrzną mógłby być oferowany już za 21 USD[2]. Projekt Uber Elevate, dzięki szybkości i innowacyjności oraz potężnemu zapleczu badawczemu Ubera, może stać się liderem w kategorii VTOL.

Według stanu na połowę 2017 roku najbardziej zaawansowane technicznie wydają się jednak dwa inne projekty: EHang i Vahana. EHang 184, jednoosobowy dron o ośmiu wirnikach i ośmiu silnikach elektrycznych, zgodnie z planem zostanie wpro-

[1] *Luftfahrt: In den Himmel*, DER SPIEGEL – Wissenschaft+Technik, 04.03.2017, cyt. za: http://technowinki.onet.pl/technika/co-z-tym-latajacym-samochodem/f5smc6 (31.03.2017).

[2] *Tamże.*

wadzony do ruchu w lipcu 2017 roku w Dubaju[3]. Pojazd umożliwia dotarcie do jednego z zaprogramowanych celów dostępnych na menu ekranowym. Po pionowym starcie dron osiąga wysokość tysiąca metrów i z prędkością sześćdziesięciu kilometrów na godzinę omija korki i przeszkody, zanim u celu przejdzie znowu w tryb pionowy i usiądzie na ziemi. Elektryczny VTOL do przewożenia ludzi sprawdził się już w testach powietrznych. Potrafi latać podczas wiatru i w pustynnym upale, w dzień i w nocy, jedyną przeszkodą jest dla niego burza. Wszystkie krytyczne układy urządzenia występują w zwielokrotnionej postaci i w przypadku nieprawidłowego działania maszyna ląduje samoczynnie. Władze Dubaju mają jeden z ambitniejszych programów rozwoju autonomicznych systemów transportowych na świecie i postanowiły, że do 2030 roku co czwarta odbywana podróż ma odbywać się bez udziału kierowcy. Posłuży temu istniejące już dziś w pełni automatyczne metro, samobieżne auta oraz drony EHang. Zautomatyzowane samoloty kategorii VTOL mają odciążać główne drogi wylotowe i łączyć bezpośrednio domy jednorodzinne z biurowcami w centrach miejskich. Najwyższe piętra parkingów mają być w przyszłości lotniskami dla indywidualnej miejskiej komunikacji powietrznej, postojem taksówek dla osób spieszących do domów.

Projekt Vahana[4] powstał w celu stworzenia w pełni automatycznego jednoosobowego samolotu z ośmioma wirnikami. Aby osiągnąć ten cel, Airbus założył w Dolinie Krzemowej firmę A3. Pojazd ma startować i lądować pionowo, trzymać się ustalonego wcześniej planu lotu i omijać przeszkody oraz inne pojazdy. Pierwszy lot zaplanowano na koniec 2017 roku, produkt ma być gotowy w roku 2020. Rozpoczęcie produkcji seryjnej Airbus planuje około roku 2021. Założeniem twórców jest, aby wystarczyło jedno kliknięcie w aplikacji mobilnej, by nadleciała Vahana i zabrała pasażera do miejsca docelowego. Szef A3 Rodin Lyasoff nie wątpi w szanse tego rodzaju samolotu, jego zdaniem maszyny VTOL za dziesięć lat zrewolucjonizują komunikację miejską milionów ludzi[5].

Zanim jednak autonomiczny samolot będzie mógł po raz pierwszy wystartować w komercyjnych usługach taksówkarskich, liczne przepisy prawne muszą zostać zmienione lub stworzone na nowo. Obecnie urządzenia VTOL mogą startować jedynie z lotnisk. Nadzór lotniczy i producenci muszą ponadto porozumieć się w kwestii kryteriów dopuszczenia nowych pojazdów do ruchu – proces ten może potrwać wiele lat. Nieustalone pozostaje również, jaki rodzaj kontroli lotów byłby potrzebny, gdyby startujące pionowo pojazdy zaczęły rzeczywiście na masową skalę poruszać się w przestrzeni powietrznej ponad miastami. Pożądany byłby w pełni zautomatyzowany system, który jednocześnie zdołałby uregulować rozwijający się ruch dronów. W chwili obecnej żaden kraj na świecie nie pozwala dronom bez pilotów latać nad miastami – z pasażerami lub bez. W celu przyspieszenia ewolucji istniejących ograniczeń regulacyjnych Airbus Helicopters i Urząd Lotnictwa Cywilnego Singapuru (CAAS) podpisały porozumienie dotyczące projektu Skyways. Umożliwia on dronom

[3] *Tamże*.

[4] *Airbus-Experiment mit Taxidrohne: Wer wird denn gleich in die Luft gehen*?, Spiegel Online – Auto, 08.02.2017.

[5] R. Lyasoff, *Welcome to Vahana*, Sep 23, 2016, https://vahana.aero/welcome-to-vahana-edfa689f2b75 (31.03.2017).

Airbusa rozpoczęcie w połowie 2017 roku testów usługi dostarczania paczek na terenie kampusu National University of Singapore. W ramach projektu pilotażowego urządzenia Airbusa sprawdzą technologię opierającą się na systemie zarządzania operacjami stworzonym przez Airbus Defense and Space. Celem projektu jest ocena skuteczności i efektywności ekonomicznej takiego systemu transportowego i zapewnienie władzom Singapuru oraz ogółowi społeczeństwa argumentów, że drony handlowe mogą rzeczywiście działać bezpiecznie na obszarach miejskich. W azjatyckim mieście-państwie urządzenia VTOL Airbusa będą mogły rozwijać projekt we współpracy z organami lotniczymi. Sukces etapu pilotażowego w Singapurze może doprowadzić do rozpoczęcia komercyjnych projektów tego typu. Jeśli projekt potwierdzi bezpieczne operacje Skyways nad kampusem uniwersyteckim, to pomoże w kształtowaniu ram regulacyjnych dla operacji bezzałogowych statków powietrznych w Singapurze i potencjalnie zwiększy akceptację społeczną dla testów w lotach pasażerskich, co prawdopodobnie przyczyni się do zwiększenia liczby projektów związanych z latającymi pojazdami miejskimi[6].

Projekt Skyways nie jest jedynym przedsięwzięciem zakładającym użycie dronów do dostarczania rzeczy. W odróżnieniu od pomysłu Amazona, aby używać dronów w handlu elektronicznym, Google Wing zakończył testy dostawczych dronów w Australii, gdzie w związku z dużą przestrzenią i małym zagęszczeniem ludności występują specyficzne problemy z transportem. Kraj ten ma również postępowe prawo dotyczące autonomicznych statków powietrznych. Projekt Wing przewiduje użycie szczególnych dronów, które są hybrydami samolotów i helikopterów. Generalnie są to samoloty, które potrafią w powietrzu „siadać na ogonie", kierując śmigła ku górze. Gdy dron „siada", zyskuje zalety helikoptera. Może lądować bez pasa startowego i może zawisać w powietrzu. W trybie samolotu dron lata szybciej, łatwiej pokonuje duży dystans i mniej przeszkadza mu wiatr[7]. Drony Google mają rozstaw skrzydeł o długości 1,5 m. Ich całkowita waga z ładunkiem może wynieść 10 kg, a sam dron waży 8,5 kg. W celu dostarczenia ładunku dron nie musi lądować – może go opuścić na ziemię na uwięzi. Dzięki temu dostawa zajmuje mniej czasu. Używanie dronów w Australii w celu dostarczania towarów proponowała już firma Flirtey, która również korzystała z postępowego prawa. Rozwijany jest też pomysł firmy Matternet, polegający na stworzeniu całej sieci autonomicznych dronów i stacji ładujących, która stanowiłaby jeden system transportowy na terenach, gdzie budowa dróg jest utrudniona.

W przypadku tradycyjnych statków powietrznych, takich jak samoloty pasażerskie, wydaje się, że niepełna autonomizacja jest raczej konsekwencją braku zaufania pasażerów do takich „rewolucyjnych" rozwiązań niż problemem technicznym. Zdaniem Mary Cummings, byłej pilot Air Force, która jest obecnie dyrektorem Humans and Autonomy Lab przy Duke University, samoloty mogą już latać samodzielnie – w trakcie przeciętnego lotu piloci spędzają obecnie około 3 minut na sterowaniu maszyną i wcale nie muszą tego robić. W lotnictwie wojskowym postęp autonomizacji

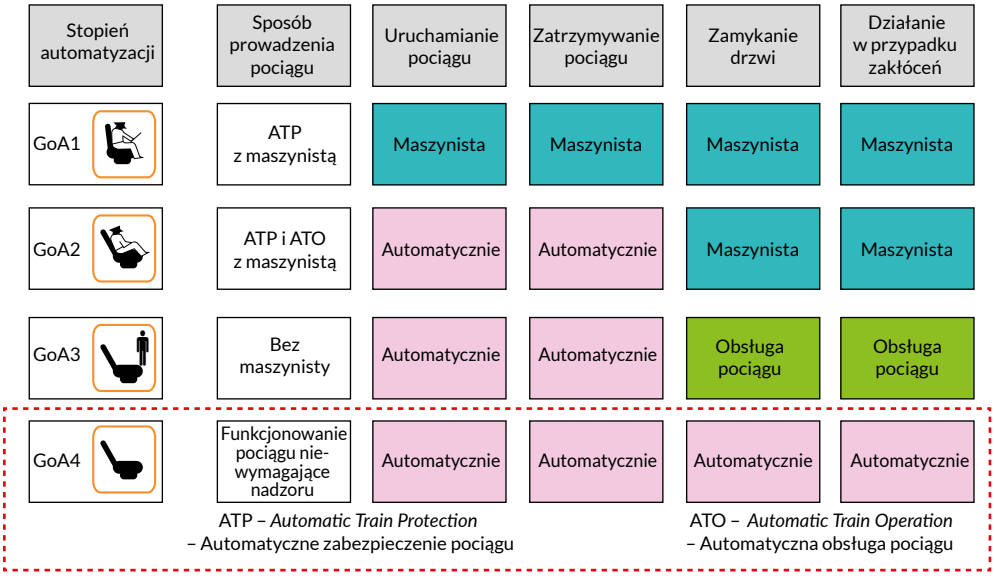
[6] Zagadnienia dotyczące rozwoju rynku dronów w Polsce zostały przedstawione w rozdziale autorstwa M. Szymczaka w monografii.

[7] M. Maj, *Dostawcze drony Google to ani samoloty, ani helikoptery. Dlatego są dobre*, http://di.com.pl/dostawcze-drony-google-to-ani-samoloty-ani-helikoptery-dlatego-sa-dobre-50518 (12.04.2017).

samolotów wydaje się jeszcze większy. US Air Force poinformowało o zakończonych sukcesem testach autonomicznego myśliwca F-16. Dotychczas konstrukcja wykorzystywana była jedynie w celach treningowych, jednak obecny stopień zaawansowania maszyny powalana na skuteczne przeprowadzenie misji bojowej. Samolot jest w stanie sam określić optymalną drogę do wyznaczonego celu naziemnego, a następnie go zaatakować. W przypadku napotkania „wrogiego" obiektu może również odpowiednio zareagować na zagrożenie i kontynuować misję. F-16 bez pilota jest częścią projektu Loyal Wingman[8] mającego postać platformy, w ramach której pilot dowodzi flotą bezzałogowych myśliwców lub może polegać na ich wsparciu. Docelowo autonomiczne samoloty mają korzystać z informacji otrzymywanych z satelitów, radarów naziemnych oraz systemów AWACS.

2. Transport szynowy

W transporcie szynowym spektakularny rozwój systemów autonomicznych ma miejsce głównie w odniesieniu do zarządzania ruchem przewozami pasażerskimi w obrębie miast. W systemach metro, zarówno podziemnych, jak i naziemnych, automatyka odnosi się do procesu, za pomocą którego odpowiedzialność za zarządzanie ruchem pojazdów jest przenoszona z maszynisty na autonomiczny systemu sterowania.

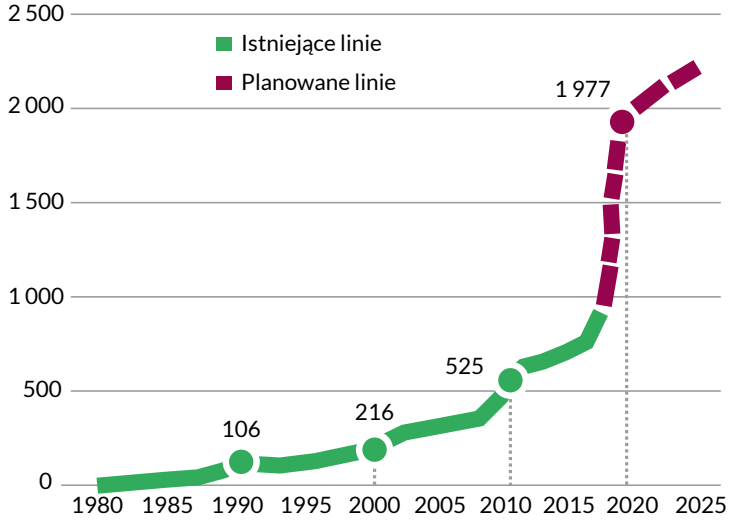


Rys. 1. **Stopnie automatyzacji w odniesieniu do ruchu pojazdów szynowych**
Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Statistics brief world report on metro automation – July 2016*, UITP, the International Association of Public Transport, http://metroautomation.org/characteristics-trends/ (31.03.2017).

[8] D. Axe, *2018: The Year U.S. Fighter Pilots Could Get Drone Wingmen*, http://warisboring.com/2018-the-year-u-s-fighter-pilots-could-get-drone-wingmen/ (12.04.2017).

Istnieją różne stopnie automatyzacji (ang. *Grade of Automation* – GoA) w odniesieniu do ruchu pojazdów szynowych (rys. 1). Stopnie GoA zdefiniowane są w zależności od zakresu podstawowych funkcji pociągu, za które odpowiedzialność ponosi personel i/lub sam system. Na przykład stopień automatyzacji „0" odpowiada sytuacji dotychczasowego sposobu prowadzenia tramwaju w ruchu ulicznym. Stopień automatyzacji 4 odnosi się do systemu, w którym pojazdy są uruchamiane w pełni automatycznie bez personelu operacyjnego na pokładzie.

Automatyczne linie metra są sprawdzonym przykładem systemów autonomicznych. Według stanu z lipca 2016 roku w 37 miastach na całym świecie funkcjonuje 55 w pełni zautomatyzowanych linii metra, operujących łącznie na 803 km tras, co oznacza wzrost o 14,2% w porównaniu z rokiem 2014[9]. W ciągu 30 lat od wdrożenia pierwszych zautomatyzowanych linii metra tempo rozwoju tej formy transportu wzrastało dwukrotnie z każdą minioną dekadą (rys. 2). Spodziewany jest jeszcze bardziej dynamiczny wzrost – szacuje się, że w nadchodzącej dekadzie będzie on czterokrotnie szybszy. Obecne prognozy, oparte na analizie znajdujących się w fazie realizacji projektów, wskazują, że do 2025 roku będzie funkcjonowało ponad 2 300 km w pełni zautomatyzowanych linii metra.



Rys. 2. **Łączna długość zautomatyzowanych linii metra (km)**

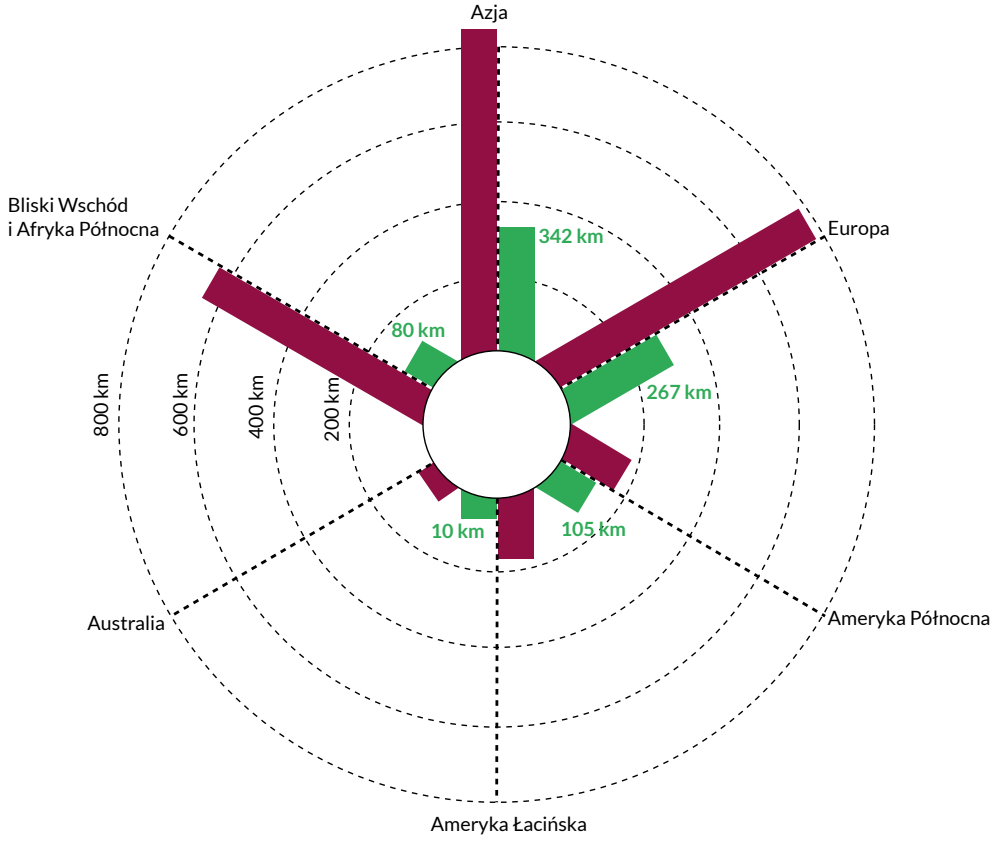
Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Statistics brief world report on metro automation – July 2016*, UITP, the International Association of Public Transport, http://metroautomation.org/characteristics-trends/ (31.03.2017).

Wzrost ten będzie koncentrował się głównie na Bliskim Wschodzie, w Europie i w Azji – łącznie 88% kilometrów nowych linii zautomatyzowanych. Ameryka Łaciń-

[9] *Statistics brief world report on metro automation – July 2016*, UITP, the International Association of Public Transport, http://metroautomation.org/characteristics-trends/ (31.03.2017).

ska stanowi kolejne 11% całkowitego przewidywanego wzrostu. Co ważniejsze, 26% nowych tras w Europie będzie konsekwencją projektów konwersji, czyli przebudowania klasycznych linii metra w autonomiczne.

Przewiduje się, że w 2025 roku w Azji i Europie znajdzie się odpowiednio 33% i 30% światowych automatycznych linii metra (rys. 3). Na Bliskim Wschodzie dzięki wysokiemu tempu wzrostu gospodarczego będzie to nawet 25% światowej długości linii zautomatyzowanego metra. Chiny ogłosiły otwarcie dwóch nowych linii na koniec 2017 roku – jedna z nich została zbudowana wyłącznie z wykorzystaniem chińskiej technologii. Ten znaczący rozwój może przełożyć się na jeszcze wyższe tempo wzrostu, jeśli Chiny obejmą pełną automatyzacją swoje rozbudowywane systemy kolei miejskich.

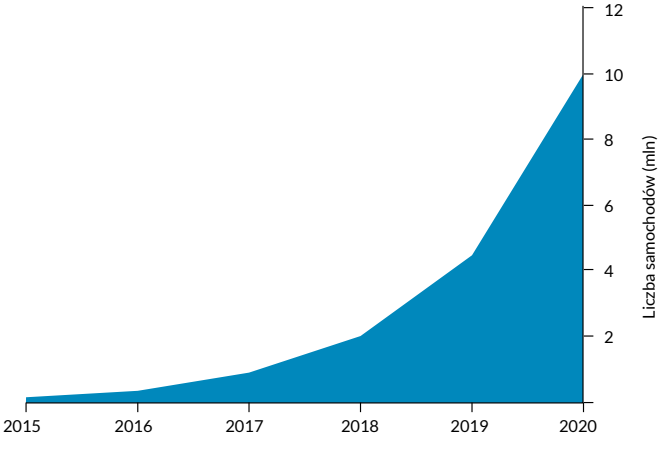


Rys. 3. **Obecna długość linii metra autonomicznego i jej przewidywany przyrost w najbliższej dekadzie w podziale na regiony świata**

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Statistics brief world report on metro automation – July 2016*, UITP, the International Association of Public Transport, http://metroautomation.org/characteristics-trends/ (31.03.2017).

3. Transport drogowy

O samojezdnych samochodach po raz pierwszy usłyszano w 1939 roku. Wtedy na Wystawę Światową w Nowym Jorku General Motors przygotowała ekspozycję „Futurama", która przedstawiała wizję przyszłości z samochodami sterowanymi przez naszpikowane nowoczesną techniką drogi. Pierwotnie koncepcja pojazdów autonomicznych skupiała się mniej na pojeździe, a bardziej na drogowej infrastrukturze. Początkowo trudno było sobie wyobrazić samochody bez kierowcy, ale kilkadziesiąt lat technicznego postępu zrobiło swoje i obecnie firmy z różnych branż współpracują nad urzeczywistnieniem tej idei. W raporcie BI Intelligence[10], który wydaje się ekstremalnie optymistyczny, szacuje się, że 10 milionów autonomicznych samochodów wyjedzie na drogi w 2020 roku (rys. 4). Według prognoz IHS sprzedaż pojazdów tego typu osiągnie poziom 21 milionów sztuk do roku 2035[11].

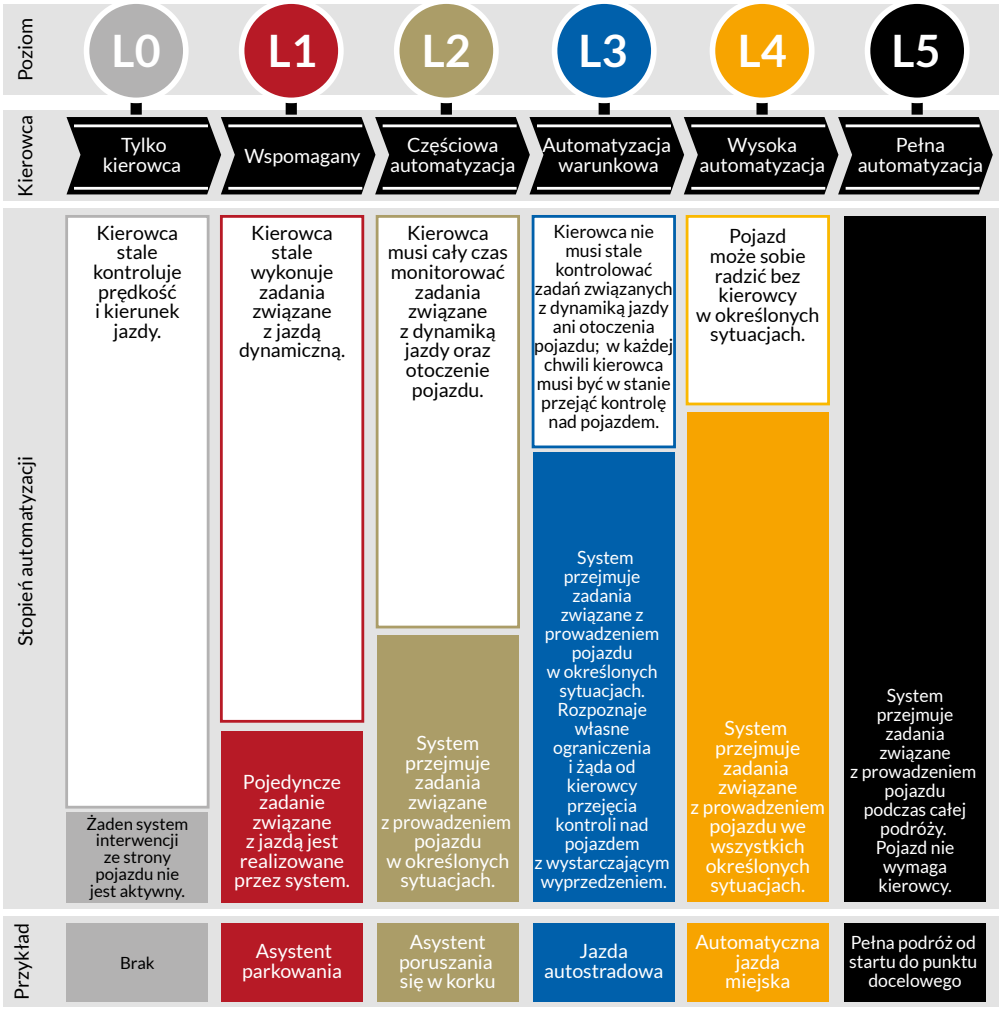


Rys. 4. **Szacowana – w scenariuszu ekstremalnie optymistycznym – globalna liczba samochodów wyposażonych w rozwiązania autonomiczne różnych poziomów**
Źródło: BI Intelligence Estimates, 2015, http://www.businessinsider.com/report-10-million-self-driving-cars-will-be-on-the-road-by-2020-2015-5-6?IR=T (31.03.2017).

Stowarzyszenie Inżynierów Motoryzacji (ang. *Society of Automotive Engineers* – SAE) wyróżnia pięć poziomów automatyzacji pojazdów (rys. 5). Na poziomach 1 i 2 pojazdem wciąż kieruje człowiek, a pomagają mu takie rozwiązania, jak: adaptacyjny tempomat, czułe hamowanie i asystent parkowania. Na poziomie 3 samochód jedzie na „autopilocie", ale człowiek może przejąć stery w razie konieczności. Poziom 4 wymaga od kierowcy jeszcze mniej, umożliwiając mu nawet ucięcie sobie drzemki, natomiast na poziomie 5, na którym samochód jest w pełni zautomatyzowany, w pojeździe może nawet nie być fotela kierowcy ani przyrządów sterowania.

[10] *10 million self-driving cars will be on the road by 2020*, BI Intelligence, BI Intelligence, Jun. 15, 2016, http://www.businessinsider.com/report-10-million-self-driving-cars-will-be-on-the-road-by-2020-2015-5-6?IR=T (31.03.2017).

[11] K. Korosec, *Autonomous Car Sales Will Hit 21 Million by 2035*, Fortune Tech, Jun. 07, 2016, http://fortune.com/2016/06/07/autonomous-car-sales-ihs/ (31.03.2017).

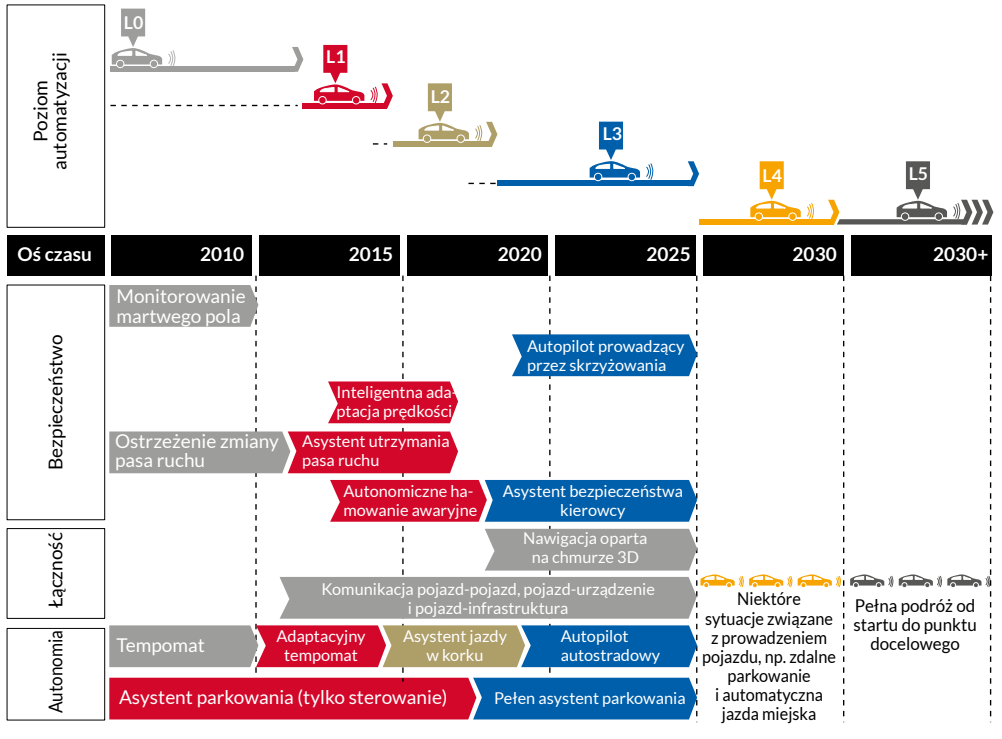


Rys. 5. **Stopnie automatyzacji pojazdów**
Źródło: *Connected and Autonomous Vehicles – The UK Economic Opportunity*, KPMG and SMMT, March 2015, s. 6.

Autonomiczny pojazd jest wyposażony w czujniki, takie jak, kamery, lidary i radary, które w sobie właściwy sposób odczytują informacje o otoczeniu wokół pojazdu[12]. Na przykład kamery mogą dostrzec człowieka, ale głębię wykrywa radar, który rozpoznaje różnicę między prawdziwym człowiekiem a np. ludzką sylwetką wykonaną z kartonu. Wszystkie urządzenia w systemie muszą ze sobą współpracować. Konstruktorzy starają się sporządzić listę wszystkich możliwych przedmiotów istniejących w świecie rzeczywistym, zwłaszcza w rozwiniętych aglomeracjach miejskich,

[12] D.M. Landau, *Na drodze do pojazdów autonomicznych*, Innowacje Techniczne, 24 sierpnia 2016, https://iq.intel.pl/na-drodze-pojazdow-autonomicznych/ (31.03.2017).

w których mogą występować dziesiątki unikatowych obiektów do rozpoznania. Samochód musi być w stanie precyzyjnie zidentyfikować każdy z nich. Po przechwyceniu przez czujniki dużych zbiorów danych analitycy mogą je wszystkie analizować i opracowywać modele uczenia maszynowego, które pozwolą autonomicznym pojazdom „uczyć się" i – przy wykorzystaniu rachunku prawdopodobieństwa i własnego przeszkolenia – odgadywać, co widzą. Realizacja wizji autonomicznych samochodów wymaga więc analizowania ogromnej ilości danych w tempie kilku terabajtów na godzinę. To zbyt dużo, aby dane można było wysłać do chmury, dlatego samochody trzeba wyposażyć w superszybkie komputery do przetwarzania danych w czasie rzeczywistym. Perspektywę upowszechniania technologii pojazdów autonomicznych uwzględniającą powyższe wyzwania przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. **Perspektywa upowszechnienia technologii pojazdów autonomicznych**
Źródło: *Connected and Autonomous Vehicles – The UK Economic Opportunity*, KPMG and SMMT, March 2015, s. 7.

Aby lepiej zrozumieć, jak będzie wyglądać samochód autonomiczny, warto pogrupować w kategorie technologie, od których zależy e-mobilność pojazdu, i bliżej przyjrzeć się ich perspektywom technicznym i handlowym[13]:

[13] R.Viereckl, J. Assmann, Ch. Raduge, *In the fast lane. The bright future of connected cars*, Strategy&PwC, 2014, s. 7–9, www.strategyand.pwc.com.

Zarządzanie mobilnością (ang. *mobility management*) obejmuje wszystkie systemy umożliwiające kierowcom szybkie i bezpieczne dotarcie do celu, po rozsądnych kosztach i przy optymalnym zużyciu paliwa. Samochody mogą już uzyskiwać dostęp do informacji o ruchu w czasie rzeczywistym za pośrednictwem wbudowanych systemów nawigacyjnych i przekierować je automatycznie, aby uniknąć korków. Mogą też dostarczyć informacji na temat niedrogich stacji tankowania i parkingów. W ciągu następnych kilku lat kierowcy będą mogli uzyskać dostęp do ostrzeżeń i komunikatów drogowych, a systemy nawigacyjne będą mogły wskazać najbardziej oszczędne drogi dla obecnych wzorców ruchu. Większość wstępnych wymagań technologicznych dla tych systemów – w szczególności nawigacji pokładowej w czasie rzeczywistym i innych komponentów – jest już dostępna, a narzędzia potrzebne do kompleksowego zarządzania transportem wkrótce powstaną.

Zarządzanie pojazdem (ang. *vehicle management*) obejmuje wiele funkcji, które pomagają kierowcom zredukować koszty eksploatacji i zwiększyć łatwość obsługi i konserwacji, takie jak, zdalne sterowanie odblokowaniem i rozruchem pojazdu, informacje na temat warunków prowadzenia auta, harmonogramowanie usług i aktualizacje oprogramowania, a także automatyczne przekazywanie danych właścicielom flot i firmom ubezpieczeniowym, w jaki sposób samochód jest rzeczywiście eksploatowany. Wykorzystanie tych nowych technologii do zarządzania flotą daje możliwość znacznej poprawy wydajności, szczególnie atrakcyjnej w obliczu rosnących nacisków na redukcję kosztów. Przewiduje się, że sprzedaż w tym segmencie wzrośnie na świecie trzykrotnie do roku 2020.

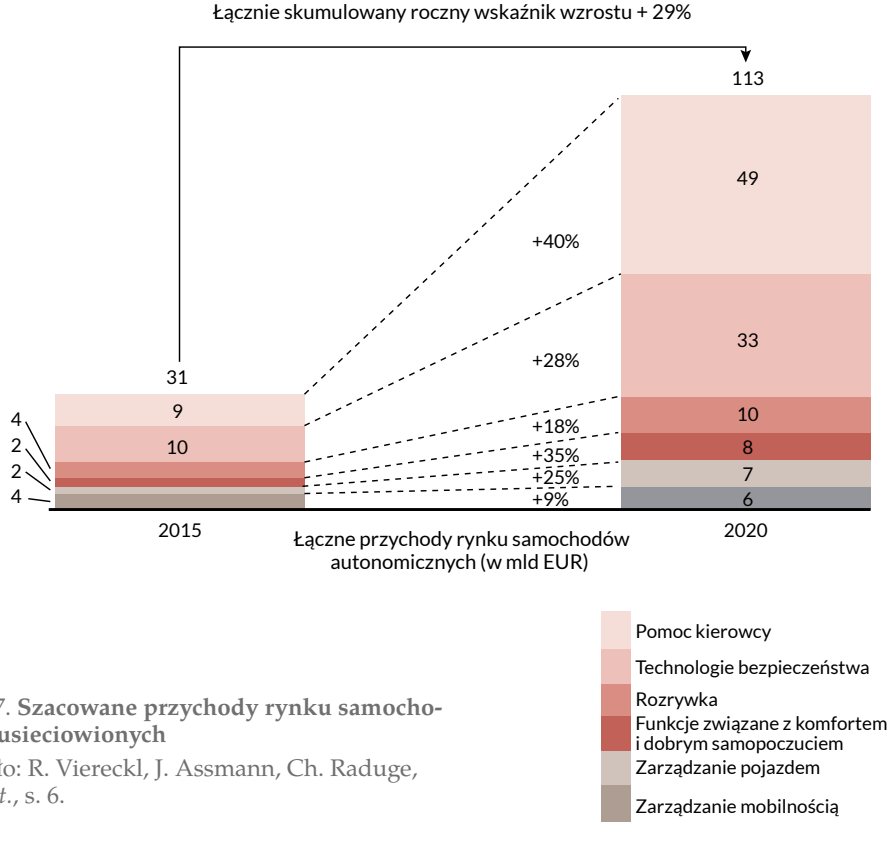
Rozrywka (ang. *entertainment*) była podstawową potrzebą uwzględnianą praktycznie w każdym samochodzie od momentu, w którym Motorola wprowadziła pierwsze radio samochodowe w 1930 roku. Samochody są już wyposażone w szeroką gamę funkcji rozrywkowych i komunikacyjnych dla kierowców i pasażerów, w tym interfejsy do smartfona i sieci bezprzewodowej, bezprzewodowe sieci lokalne, dostęp do sieci społecznościowych, muzykę internetową i wideo oraz zaawansowane funkcje biura mobilnego kontrolowane przez oprogramowanie do rozpoznawania głosu. Rozrywka w pojazdach jest szczególnie popularna w Azji, a Chiny pozostaną największym rynkiem do roku 2020. Jednak ogólny wzrost przychodów będzie niższy niż w przypadku innych powiązanych technologii samochodowych w regionie ze względu na presje cenowe spowodowane konkurencją z dostawcami wtórnymi w przemyśle elektroniki użytkowej.

Funkcje związane z komfortem i dobrym samopoczuciem (ang. *well-being*) zapewniają komfort i bezpieczeństwo kierowcom za pomocą różnych technologii. Na przykład urządzenia przechwytują obrazy za pomocą wbudowanych kamer i wyświetlają je kierowcy na monitorach, a systemy zapewnienia komfortu optymalizują klimat, muzykę, a nawet położenie foteli i oparcia. Wkrótce zostaną udostępnione systemy umożliwiające monitorowanie ważnych funkcji życiowych kierowcy, takich jak tętno czy ciśnienie, i ostrzeganie o potencjalnych problemach. Jest to szczególnie atrakcyjny obszar dla producentów samochodów, ponieważ liczba starszych, zamożnych kierowców rośnie szybko. W latach 2015–2020 oczekuje się, że segment ten wzrośnie o 35%, a USA pozostanie największym rynkiem zbytu.

Pomoc kierowcy (ang. *driver assistance*) obejmuje grupę technologii, która może poprawić lub przejąć rzeczywiste funkcje prowadzenia samochodu. Systemy są już

dostępne – mogą automatycznie zaparkować samochód w trudnych miejscach, autonomicznie kierować pojazdem, hamować przed przeszkodami, przyśpieszyć i spowolnić, jadąc w korku. Technologia w tej dziedzinie szybko się rozwija. Niektóre produkty, takie jak technologia trybu autostrady, która może prowadzić samochód z dużą prędkością w grupach pojazdów drogowych utrzymujących stałą odległość od siebie, mogą być dostępne już wkrótce. Od 2020 roku systemy te mogą nie wymagać w ogóle żadnego nadzoru lub interwencji ze strony kierowcy. Takie technologie będą sprzyjać wzrostowi przychodów w tym segmencie do ok. 40% rocznie. Napędzane przez coraz większą liczbę samochodów i nowe kilometry autostrad Chiny staną się największym rynkiem – sieć autostradowa rośnie od roku 1998 o ponad 5 tys. kilometrów rocznie. Jednak niepewne ramy prawne, w szczególności dotyczące autonomicznej jazdy, nadal stanowią potencjalną przeszkodę w jej rozwoju.

Technologie bezpieczeństwa (ang. *safety*) obejmują zewnętrzne ostrzeżenia o zagrożeniach dla kierowców w przypadku złej pogody, niebezpiecznych warunków drogowych i tym podobnych, a także wewnętrznej autonomicznej ochrony przed kolizją samochodu czy funkcje awaryjne (np. system eCall w Europie). Niektóre z tych technologii są już dostępne, w tym ostrzeżenia o niebezpieczeństwach i kolizji, ale staną się bardziej wyrafinowane. Spodziewane jest, że do roku 2020 kategoria ta osiągnie poziom 30 mld EUR sprzedaży, przy rocznych wzrostach o 28%, a USA pozostanie największym rynkiem (rys. 7).



Rys. 7. **Szacowane przychody rynku samochodów usieciowionych**
Źródło: R. Viereckl, J. Assmann, Ch. Raduge, *dz. cyt.*, s. 6.

Częste doniesienia medialne informujące, że samochody autonomiczne bezpiecznie przejechały setki tysięcy kilometrów, w połączeniu z optymistycznymi przewidywaniami co do korzyści największych producentów, dążących do jak najszybszej sprzedaży takich pojazdów, wzbudziły nadzieję, że nowa technologia wkrótce będzie szeroko dostępna i rozwiąże wiele problemów transportowych. Są jednak powody, aby być ostrożnym w tych przewidywaniach. Transport drogowy wbrew swojej nazwie odbywa się jednocześnie po drogach – z wykorzystaniem specjalnie stworzonej w tym celu infrastruktury, np. mostów, tuneli, bądź ułatwień, takich jak autostrady z szerokimi pasami ruchu, łukami o dużym promieniu skrętu – oraz poza drogami (ang. *off road*). Doświadczenie uczy, że z powodów różnych sytuacji często spotykanych na drogach (awarie, uszkodzenia nawierzchni, obecność przeszkód na drodze, błota, śniegu) on-road może szybko zamienić się w off-road, i każdy kierowca musi być na to przygotowany. Jeżeli w pojeździe ma nie być kierowcy, to system zarządzania mobilnością musi zmienić natychmiast swój moduł pracy – aby to osiągnąć, każdy pojazd (tzw. drogowy) o cechach pojazdu autonomicznego musi być przygotowany do funkcjonowania w module pracy off-road – a tu po prostu brak na dzisiaj istniejących rozwiązań technologicznych. Wątpliwości budzi również niepewny bilans kosztów i korzyści płynących z upowszechniania pojazdów autonomicznych.

4. Ograniczenia prawne dotyczące pojazdów autonomicznych

Obecnie prawo większości państw nie przewiduje możliwości używania autonomicznych pojazdów na drogach publicznych, co wynika przede wszystkim z definicji kierującego pojazdem, którym musi być „osoba", a zatem tylko człowiek. W 2016 roku weszła jednak w życie zmiana przepisów konwencji wiedeńskiej o ruchu drogowym, w ramach której przewidziano, że dotychczasowa zasada, iż kierujący pojazdem powinien stale nad nim panować, zostanie zmodyfikowana poprzez dopuszczenie stosowania systemów wspomagających kierowanie pojazdem pod warunkiem, że kierowca będzie mógł w każdej chwili takie systemy wyłączyć lub przejąć nad nimi kontrolę[14].

Powyższa zmiana przepisów konwencji daje możliwość ustawodawcom wprowadzenia odpowiedniej zmiany prawa krajowego. Przepisy te nie dają jednak możliwości wprowadzenia do ruchu całkowicie autonomicznego samochodu. Dopiero kolejna, planowana zmiana konwencji pozwoli na dopuszczenie sytuacji, że kierującym może być zarówno osoba, jak i automatyczny system, do którego stosować się będą wszelkie dotychczasowe wymagania dotyczące kierującego. W przypadku systemów półautomatycznych, czyli wspomagających kierującego w prowadzeniu pojazdu, specjalne zmiany w przepisach innych niż prawo ruchu drogowego nie są wymagane. Jest tak dlatego, gdyż zasada, że taki system musi być pod kontrolą

[14] T. Zalewski, *Czy samochody autonomiczne są legalne w Polsce? Jeszcze nie*, http://mamstartup.pl/prawo/9859/czy-samochody-autonomiczne-sa-legalne-w-polsce-jeszcze-nie (24.04.2017).

kierującego w każdej chwili mogącego go wyłączyć, oznacza także, że to kierujący ponosi pełną odpowiedzialność za konsekwencje ruchu pojazdu w czasie, gdy był kierowany przez system. W przypadku dopuszczenia pojazdów całkowicie automatycznych obecne zasady odpowiedzialności za ruch pojazdów będą musiały ulec zmianie.

Kodeks cywilny przewiduje obecnie, że odpowiedzialność za szkody na mieniu i osobie wyrządzone przez ruch mechanicznego środka komunikacji poruszanego za pomocą sił przyrody ponosi jego samoistny posiadacz na zasadzie ryzyka. W świetle dotychczasowych uregulowań to posiadacz autonomicznego samochodu (najczęściej właściciel) ponosiłby zatem odpowiedzialność za wszelkie szkody spowodowane przez autonomiczny pojazd, niezależnie od zakresu możliwości wpływania na jego ruch. Może to stanowić potencjalne ograniczenie w upowszechnianiu tych pojazdów. Jednym z możliwych kierunków zmian jest przeniesienie odpowiedzialności w całości lub znacznej części za szkody spowodowane ruchem pojazdu autonomicznego na producenta pojazdu lub producenta systemu do sterowania takim pojazdem. Zmiany będą także wymagały regulacje karne, w tym regulacje dotyczące wykroczeń drogowych – odpowiedzialność karną może ponosić tylko człowiek. Trzeba będzie zatem ustalić, kto ponosi odpowiedzialność za wypadek pojazdu autonomicznego i jego skutki – czy jego posiadacz, aktualny pasażer, producent czy może programista systemu, który zawiódł. Obecnie brak jest jeszcze prób kompleksowego uregulowania prawnego kwestii ruchu pojazdów autonomicznych, choć inicjatywy takie są podejmowane (m.in. w Stanach Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii).

5. Koszty i korzyści upowszechnienia pojazdów autonomicznych

Istnieje znaczna niepewność co do korzyści i kosztów eksploatacji pojazdów autonomicznych. Zwolennicy twierdzą, że przyniosą duże korzyści, które zrekompensują podwyższone koszty – w tym znacznie wyższe odpisy amortyzacyjne odzwierciedlające zwiększone nakłady inwestycyjne przy pozyskiwaniu pojazdów – a zatem opowiadają się za politykami zachęcającymi do ich wdrożenia. Jednak samochody autonomiczne wymagają dodatkowego wyposażenia, usług i konserwacji, które prawdopodobnie podniosą koszty użytkownika o setki lub tysiące dolarów rocznie w przeliczeniu na jeden pojazd[15], a wiele ich zalet jest niepewnych.

Obszary życia społeczno-ekonomicznego, na które technologia pojazdów autonomicznych wpłynie w największym stopniu, przedstawione w raporcie *Autonomous Vehicle Technology. A Guide for Policymakers*[16] zostały omówione poniżej.

[15] T. Litman, *Autonomous Vehicle Implementation Predictions*, Victoria Transport Policy Institute, 2015, s. 17.

[16] J.M. Anderson, N. Kalra, K.D. Stanley, P. Sorensen, C. Samaras, O.A. Oluwatola, *Autonomous Vehicle Technology. A Guide for Policymakers*, RAND Corporation, Santa Monica, Calif 2016, s. 14.

Tab. 1. **Potencjalne korzyści i koszty upowszechnienia samochodów autonomicznych**

Korzyści	Koszty / problemy
▪ Mniejsze obciążenie kierowcy – zmniejszenie stresu jazdy i pozwolenie kierowcom na odpoczynek i/lub pracę podczas podróży. ▪ Obniżenie kosztów ponoszonych na wynagrodzenia płatnych kierowców (taksówek, autobusów, ciężarówek itp.). ▪ Większa mobilność osób niebędących kierowcami – zapewnienie samodzielnej mobilności dla osób niekierujących pojazdami, a tym samym zmniejszenie potrzeby zapewnienia kierowców dla nich oraz subsydiowania transportu publicznego. ▪ Większe bezpieczeństwo – ograniczenie wielu typowych zagrożeń związanych z wypadkami drogowymi, a tym samym niższe koszty napraw i składki ubezpieczeniowe. Ograniczenie ryzyka brawurowego prowadzenia pojazdów. ▪ Większa pojemność dróg, obniżenie kosztów – możliwe łączenie pojazdów w grupy pojazdów poruszających się blisko siebie, węższe pasy ruchu i mniejsza liczba przystanków po drodze, mniejsze korki i koszty drogowe. ▪ Łatwiejsze parkowanie, niższe koszty – pojazdy mogą wysadzić pasażerów i znaleźć wolne miejsce parkingowe, zwiększając wygodę podróżnych i zmniejszając całkowite koszty parkowania. ▪ Większa efektywność energetyczna i zmniejszenie zanieczyszczeń – zwiększona efektywność zużycia paliwa i niższa emisja zanieczyszczeń. ▪ Wspieranie współdzielenia pojazdów – ułatwienie wymiany i współużytkowania samochodów, wypożyczanie pojazdów, które zastępują własność samochodu osobowego, co może przynieść różne oszczędności.	▪ Wyższe koszty – wymaganie dodatkowego wyposażenia pojazdów, usług i konserwacji oraz ewentualnie infrastruktury drogowej. ▪ Dodatkowe zagrożenia – np. awarie systemu, w pewnych warunkach drogowych niższe bezpieczeństwo, zachęcanie użytkowników drogi do podejmowania dodatkowych ryzyk (kompensowanie zachowań). ▪ Mniejsze bezpieczeństwo i prywatność – wykorzystywanie do działań przestępczych i terrorystycznych (np. dostarczenie bomby), podatność na nadużycia związane z informacją (ataki hackerskie) oraz nieautoryzowanie wykorzystanie danych i funkcji, takich jak śledzenie GPS; obawy dotyczące prywatności. ▪ Indukowanie dodatkowych podróży samochodem i zwiększone koszty zewnętrzne – w związku ze zwiększoną wygodą i przystępnością podróży autonomicznymi pojazdami liczba dodatkowych przejazdów samochodowych może wzrastać, zwiększając koszty zewnętrzne parkowania, wypadków i zanieczyszczeń. ▪ Nieznany wpływ na zachowania społeczne – mogą nieść negatywne skutki, np. ograniczając inne wygody i bezpieczeństwo w sytuacjach poza ruchem drogowym. ▪ Niższe zatrudnienie i ograniczenie prowadzenia działalności gospodarczej – mniejszy popyt na pracę kierowców, mniejsza liczba wypadków powoduje niższe zapotrzebowanie na naprawy pojazdów, części zamienne itd. ▪ Niewłaściwa koncentracja planowania – skupienie na autonomicznych rozwiązaniach pojazdów może zniechęcić do wdrażania konwencjonalnych, ale opłacalnych projektów transportowych, takich jak: poprawa warunków dla pieszych i rowerzystów, usprawnianie rozwiązań tranzytowych, kształtowanie cen i podatków, inne strategie zarządzania popytem i stymulowania rozwoju.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: T. Litman, *Autonomous Vehicle Implementation Predictions*, Victoria Transport Policy Institute, 2015, s. 4, http://www.vtpi.org/avip.pdf (31.03.2017).

Wypadki drogowe. Technologia pojazdów autonomicznych może znacznie zmniejszyć częstotliwość wypadków. Insurance Institute for Highway Safety szacuje, że jeśli wszystkie pojazdy miałyby system ostrzegania przed kolizją i zmianą pasa ruchu, kamery boczne likwidujące martwe pole widzenia oraz reflektory adaptacyjne, można zapobiec prawie jednej trzeciej wypadków i wypadków śmiertelnych[17]. Automatyczne hamowanie, gdy samochód wykryje przeszkodę, prawdopodobnie również zmniejszy znacznie liczbę przypadków najechania na tył pojazdu. Technologie, które zezwalają przede wszystkim na prowadzenie samochodu (poziom 4) prawdopodobnie znacznie przyczynią się do zmniejszenia liczby wypadków, ponieważ błąd kierowcy jest odpowiedzialny za dużą ich liczbę. Jest to szczególnie ważne ze względu na fakt, że istotny odsetek wypadków spowodowany jest spożyciem alkoholu przez jednego z kierowców.

Wpływ na mobilność. Technologia pojazdów autonomicznych zwiększy mobilność tych, którzy obecnie nie mogą lub nie chcą jeździć samochodem. Poziom 4, gdy pojazd nie wymaga człowieka za kierownicą, umożliwiłby transport osobom niewidomym i niedowidzącym, niepełnosprawnym ruchowo lub intelektualnie bądź też młodym osobom, które są już zdolne do samodzielnego przemieszczania się, ale nie osiągnęły wieku wymaganego dla uzyskania uprawnienia do prowadzenia samochodów. Korzyści dla tych grup obejmowałyby niezależność, zmniejszenie wykluczenia społecznego i dostęp do podstawowych usług. Niektóre z tych usług są obecnie świadczone przez transport publiczny lub wyspecjalizowane instytucje paratransportowe, jak w Warszawie Miejski Transport Osób Niepełnosprawnych, ale każda z tych alternatyw ma znaczące wady. Transport publiczny wymaga zazwyczaj stałych tras, które mogą nie odpowiadać potrzebom tych osób, usługi paratransportowe są drogie, gdyż wymagają wyszkolonego, dobrze wynagradzanego kierowcy. Ponieważ koszty te są zwykle ponoszone przez podatników, upowszechnienie pojazdów autonomicznych może poprawić poziom dobrobytu społecznego.

Zatory drogowe i ich koszty. Technologia pojazdów autonomicznych na poziomie 3 lub wyższym może znacząco obniżyć koszt korków na drogach pozamiejskich, ponieważ osoby uczestniczące w procesie przewozowym mogą podjąć inne działania. Nie jest wyjaśnione, na ile pojazdy autonomiczne będą sprawnie reagować na korki na ulicach miejskich. Wiadomo, że człowiek, który kieruje pojazdem, z własnej inicjatywy, podejmując nawet niekonwencjonalne działania, może reagować na nieoczekiwane sytuacje na drodze i zmieniać pierwotnie zdefiniowany sposób pokonania drogi do celu. Z drugiej strony, zmniejszenie lub zwiększenie zatorów to efekty zewnętrzne, które będą miały wpływ na wszystkich użytkowników dróg. Obniżony koszt prowadzenia pojazdu może prowadzić do wzrostu całkowitej liczby przejechanych kilometrów, potencjalnie zwiększając rzeczywiste obciążenie infrastruktury i środowiska, ale technologia ta może również zwiększyć przepustowość na drogach ze względu na bardziej wydajną obsługę pojazdów i zmniejszyć opóźnienia spowodowane wypadkami. Tak więc ogólny wpływ technologii autonomicznej na korki drogowe i uliczne jest jeszcze nieznany.

[17] *New Estimates of Benefits of Crash Avoidance Features on Passenger Vehicles,* Insurance Institute for Highway Safety, Status Report, Vol. 45, No. 5, May 20, 2010.

Zagospodarowanie terenu. Technologia pojazdów autonomicznych na poziomie 3 lub wyższym prawdopodobnie zmniejszy czas poświęcony na podróż, ponieważ osoba występująca tradycyjnie w roli kierowcy będzie mogła wykonywać alternatywne czynności w stosunku do czynności kierowania pojazdem. Innym skutkiem może być zwiększenie chęci podróżowania przez dłuższy dystans do i z pracy. Może to spowodować, że więcej osób zdecyduje się na wybór miejsca zamieszkania dalej od centrów miast. Podobnie jak wzrost liczby samochodów przyczynił się do rozkwitu przedmieść, wprowadzenie urządzeń autonomicznych może prowadzić do bardziej rozproszonych i o niskiej gęstości wzorców użytkowania terenu wokół regionów metropolitalnych. W obszarach miejskich może to prowadzić do zwiększenia gęstości zabudowy w wyniku zmniejszenia zapotrzebowania na parkingi w pobliżu miejsc pracy i zamieszkania. Na poziomie 4 samochód może po prostu wysadzić pasażera i wyjechać na satelitarne miejsca parkingowe. Innym czynnikiem jest to, że programy współdzielenia pojazdów mogą zmniejszyć chęć posiadania samochodu. W każdym przypadku zmniejszenie liczby miejsc parkingowych byłoby korzystne i umożliwiłoby zrównoważony rozwój miast. Technologie mobilności mogą mieć różne skutki dla użytkowania gruntów w krajach rozwijających się. Kraje o ograniczonej dostępności pojazdów mogłyby dokonać przeskoku technologicznego. Podobnie jak telefony komórkowe pozwoliły krajom rozwijającym się pominąć rozwój kosztownej infrastruktury stacjonarnej, technologia pojazdów autonomicznych może pozwolić wielu krajom na pomijanie aspektów konwencjonalnej, opierającej się na ludziach-kierowcach, infrastruktury transportowej.

Wpływ na wykorzystanie energii i emisję zanieczyszczeń. Ogólny wpływ technologii pojazdów autonomicznych na zużycie energii i zanieczyszczenie środowiska jest niepewny, ale wydaje się prawdopodobne zmniejszenie skali obu negatywnych zjawisk. Technologia autonomicznego sterowania pojazdem może spowodować zmniejszenie zużycia paliwa, poprawiając je o 4–10%. Dalsze udoskonalenia mogłyby polegać na zmniejszeniu odległości między pojazdami i zwiększaniu zdolności przepustowej infrastruktury. Grupowanie pojazdów, które zatrzymują się lub spowalniają rzadziej, przypominając pociąg – tak jak przewiduje to już wdrażany europejski projekt *platooning* – umożliwi zredukowanie prędkości szczytowych poszczególnych pojazdów, przyczyniając się do ograniczenia zużycia paliwa i zapewniając przy tym wzrost prędkości handlowej wszystkich pojazdów. Z biegiem czasu, wraz ze zmniejszeniem liczby wypadków, samochody i ciężarówki mogłyby się stać lżejsze dzięki wyeliminowaniu elementów chroniących pojazd, podróżnych i przewożone ładunki. To jeszcze bardziej zmniejszyłoby zużycie paliwa w całym systemie transportu drogowego. Urządzenia autonomiczne mogą zmniejszyć zanieczyszczenie poprzez ułatwienie korzystania z paliw alternatywnych. Jeśli zmniejszenie częstotliwości wypadków pozwoliłoby na eksploatację lżejszych pojazdów, to znaczenie wielu problemów, które obecnie ograniczają użycie elektrycznych i innych alternatywnych napędów, uległoby redukcji. Na poziomie 4, gdy kierowcy stają się w ogóle niepotrzebni, pojazd może dowieźć swoich użytkowników do miejsca docelowego, a następnie naładować się lub pobrać paliwo samodzielnie. Jedną z wad pojazdów napędzanych energią elektryczną lub ogniwami paliwowymi jest brak infrastruktury tankowania/ładowa-

nia. Dzięki zdolności pojazdów autonomicznych klasy 4 do jazdy bez załogi mogłyby one funkcjonować bardziej efektywnie, gdyż ich obsługa wymagałaby instalacji mniejszej liczby stanowisk do tankowania/ładowania. Z drugiej strony, zmniejszenie kosztów prowadzenia pojazdów i dołączenie do grupy nowych użytkowników pojazdów może doprowadzić do wzrostu ogólnego ruchu na drogach. Nie ma pewności, jaki byłby ostateczny bilans redukcji i wzrostu emisji i obciążenia środowiska.

Koszty. Chociaż technologia pojazdów autonomicznych niesie potencjalne korzyści, jej upowszechnienie wiązać się będzie z ponoszeniem znaczących nakładów finansowych. Wiele kosztów wdrażania i użytkowania technologii mobilnych wynika częściowo z zalet tych technologii. Ponieważ technologia może obniżyć koszty kongestii, w tym wynikające ze zmniejszenia zużycia paliwa, prawdopodobnie również zmniejszy prywatny koszt prowadzenia pojazdu, jaki ponosi konkretny użytkownik. Ze względu na ten spadek i ze względu na zwiększenie mobilności oferowanej osobom starszym lub niepełnosprawnym, technologia pojazdów autonomicznych może zwiększyć całkowitą liczbę miejsc parkingowych, co z kolei może prowadzić do wzrostu negatywnych skutków zewnętrznych związanych z użytkowaniem pojazdów, a także do wzrostu ogólnego zużycia paliwa. Technologie mobilności mogą zakłócać funkcjonowanie istniejących instytucji. Poprzez brak potrzeby parkowania w pobliżu, technologia poziomu 4 może ograniczyć przychody z opłat parkingowych, które są ważnym i stałym źródłem finansowania budżetów wielu miast. Zapewniając nowy poziom mobilności niektórym użytkownikom, którzy dzięki temu mogą odpoczywać podczas podróży, może nastąpić ograniczenie lub nawet wyparcie publicznych systemów transportowych. Obecnie jedną z głównych zalet systemu komunikacji miejskiej jest możliwość podejmowania przez pasażerów (dotychczasowych kierowców) innych czynności w trakcie podróży. Autonomiczna technologia pojazdu może wyeliminować tę przewagę. Ponadto wiele miejsc pracy może zostać utraconych, gdy kierowcy przestaną być potrzebni. Kierowcy taksówek, ciężarówek i autobusów mogą utracić swoje zawody i dochody. Jeśli częstotliwość wypadków spadnie, modele biznesowe przedsiębiorstw ubezpieczeniowych, medycznych, zajmujących się rehabilitacją ludzi, warsztatów naprawczych, producentów i sprzedawców części zamiennych ulegną trwałej zmianie.

Zwolennicy mogą wyolbrzymiać korzyści netto, ignorując nowe koszty i zagrożenia, kompensujące zachowania (tendencja do podejmowania przez użytkowników dróg dodatkowych ryzyk, gdy drogi są bardziej bezpieczne), efekty odbicia (zwiększenie podróży samochodem spowodowane szybszą podróżą lub niższe koszty operacyjne, co może zwiększyć koszty zewnętrzne). Pojazdy autonomiczne mogą szkodzić osobom, które nie korzystają z tej technologii, ograniczając np. usługi tranzytowe.

Kluczowym pytaniem jest to, czy samochody autonomiczne zwiększają, czy redukują całkowite koszty przejazdów i związane z nimi koszty zewnętrzne. Zwiększając wygodę i swobodę podróży oraz umożliwiając podróż samochodem osobom niebędącym kierowcami, mogą zwiększyć całkowitą liczbę przejazdów. Mogą również tę liczbę zmniejszyć, pozwalając gospodarstwom domowym zmniejszyć zakres posiadanych i poruszających się aut. Często sugeruje się, że całkowite koszty podróży pojazdów prawdopodobnie wzrosną, chyba że zostanie wdrożona odpowiednia polityka kom-

pensacyjna, taka jak płatności za użytkowanie dróg czy opłaty parkingowe. Nowa technologia może wpłynąć zarówno na wzrost liczby przejazdów, jak i na ich ograniczenie.

Tab. 2. **Potencjalny wpływ samochodów autonomicznych na liczbę przejazdów**

Wzrost liczby przejazdów	Spadek liczby przejazdów
▪ Wygodniejsze i wydajne podróże (pasażerowie mogą odpoczywać i pracować) skrócą czas podróży, stymulując więcej podróży samochodem. ▪ Stworzenie możliwości wygodnych przejazdów osobom niebędącym kierowcami. Sivak i Schoettle* szacują, że przy uwzględnieniu wymagań związanych z podróżowaniem tej grupy osób (osoby zbyt młode, starsze, niepełnosprawne lub w inny sposób pozbawione prawa jazdy) całkowita wielkość przejazdów może wzrosnąć o 11%. ▪ Autonomiczne taksówki będą podróżować więcej z powodu pustych przejazdów pomiędzy kursami z klientami. ▪ Lokalizacje dotychczas niedostępne bez posiadania samochodu staną się bardziej atrakcyjne. ▪ Zmniejszenie zatorów drogowych i kosztów eksploatacji pojazdów spowoduje dodatkowe podróże.	▪ Bardziej wygodne współdzielone pojazdy pozwolą gospodarstwom domowym zmniejszyć liczbę pojazdów na własność i mniejsze użytkowanie pojazdu. ▪ Zwiększone koszty posiadania pojazdu i koszty eksploatacji zmniejszą liczbę pojazdów posiadanych na własność. ▪ Autonomiczne pojazdy tranzytowe poprawiają usługi tranzytowe. ▪ Zmniejszone ryzyko dla pieszych i wymagania parkingowe uczynią życie miejskie bardziej atrakcyjnym. ▪ Zmniejszy się liczba i struktura niektórych przejazdów samochodem, np. w poszukiwaniu miejsca parkingowego.

* M. Sivak, B. Schoettle, *Road Safety with Self-Driving Vehicles: General Limitations and Road Sharing with Conventional Vehicles*, University of Michigan 2015.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: T. Litman, *dz. cyt.*, s. 8.

Inną ważną kwestią jest to, że potencjalne korzyści można uzyskać, gdy tylko część podróży samochodowych będzie autonomiczna. Niektóre korzyści, takie jak poprawa mobilności osób zamożnych niebędących kierowcami, mogą wystąpić, gdy samochody autonomiczne będą stosunkowo rzadkie i kosztowne, ale wiele potencjalnych korzyści wymaga, aby większość lub wszystkie pojazdy na drodze działały autonomicznie. Dotyczy to np. planów zwężania pasów ruchu, ograniczania pojemności parkingów czy likwidacji sygnalizatorów drogowych.

Kluczową sprawą dotyczącą polityki publicznej jest stopień, w jakim technologia ta może zaszkodzić osobom, które nie korzystają z pojazdów autonomicznych, np. w przypadku, gdy zwiększone natężenie ruchu i prędkości powoduje pogorszenie warunków dla pieszych i rowerzystów, ograniczenie konwencjonalnego zakresu usług w transporcie publicznym. Niektóre koncepcje, takie jak *platooning*, mogą wymagać specjalnych autonomicznych pasów ruchu, aby osiągnąć spodziewane korzyści.

Obecne samochody autonomiczne mogłyby jeździć samodzielnie w ograniczonych warunkach: należy pokonać znaczące przeszkody techniczne i gospodarcze, zanim typowe gospodarstwa domowe będą mogły polegać na nich podczas codziennych podróży. Prowadzenie pojazdów na drogach publicznych jest bardziej złożone

niż latanie samolotem ze względu na częstotliwość i bliskość interakcji z obiektami często nieprzewidywalnymi, w tym innymi pojazdami, pieszymi, zwierzętami, budynkami, elementami wyposażenia, śmieciami i innymi przeszkodami.

6. Prognozy i scenariusze rozwoju pojazdów autonomicznych

Przewidywane tempo wdrożenia autonomicznych pojazdów można oszacować w oparciu o analizę wcześniejszych wdrożeń nowych technologii pojazdów, takich jak: automatyczna skrzynia biegów, systemy ABS, tempomaty, poduszki powietrzne czy napęd hybrydowy. Można przyjąć, że w pełni autonomiczne pojazdy dostępne będą w sprzedaży i legalne do poruszania się po drogach publicznych około roku 2020, ale, podobnie jak w przypadku poprzednich technologii pojazdów, będą początkowo niedoskonałe (słaba niezawodność i wydajność, a także trudności w obsłudze) i kosztowne (dziesiątki tysięcy dolarów), co stanowić będzie niewielką część całkowitej sprzedaży samochodów, a udział w rynku wzrośnie w następnych dekadach wraz z poprawą ich efektywności, spadkiem cen i nowymi korzyściami. Zanim rodziny o średnim dochodzie będą mogły sobie pozwolić na posiadanie samojezdnych pojazdów, które mogą bezpiecznie działać we wszystkich warunkach, nadejdą już lata 2030–2040. Więcej czasu minie, zanim staną się one dostępne na rynku używanych pojazdów dla domów o niższych dochodach. Z biegiem czasu wzrośnie ich udział w ogólnej flocie pojazdów. Ponieważ nowsze pojazdy przejeżdżają średnio więcej kilometrów rocznie, ich udział w liczbie przejazdów samochodami będzie proporcjonalnie duży. Upowszechnienie pojazdów autonomicznych prawdopodobnie nastąpi według schematu charakterystycznego dla wcześniejszych wdrożeń technologicznych, np. automatycznych skrzyń biegów, które trwało prawie pięć dekad, aby osiągnąć nasycenie rynku – a część kierowców nadal wybiera manualne przekładnie z powodu osobistych preferencji i oszczędności. Znaczna część kierowców może zatem się oprzeć pojazdom autonomicznym, co spowoduje ruch mieszany, generując nowe problemy w zarządzaniu drogami.

Tab. 3. **Prognoza upowszechniania technologii samochodów autonomicznych**

Etap	Dekada	Sprzedaż pojazdów	Flota pojazdów	Liczba przejazdów
Dostępne z wysoką ceną premium	Lata 2020	2–5%	1–2%	1–4%
Dostępne z umiarkowaną ceną premium	Lata 2030	20–40%	10–20%	10–30%
Dostępne z niską ceną premium	Lata 2040	40–60%	20–40%	30–50%
Standardowe funkcje dostępne w większości nowych pojazdów	Lata 2050	80–100%	40–60%	50–80%
Nasycenie (dostępność dla każdego, kto tego chce)	Lata 2060	?	?	?
Wymagane dla wszystkich nowych i używanych pojazdów	???	100%	100%	100%

Źródło: T. Litman, *dz. cyt.*, s. 12.

Uwzględniając dotychczasową dynamikę upowszechniania nowych technologii w przemyśle motoryzacyjnym, Victoria Transport Policy Institute szacuje, że w latach 40. XXI wieku autonomiczne pojazdy stanowić będą około 50% sprzedaży pojazdów, 30% pojazdów i 40% wszystkich przejazdów samochodowych. Dopiero w latach 50. XXI wieku większość pojazdów mogłaby zautomatyzować jazdę. Innowacje pojazdów są zazwyczaj realizowane wolniej niż inne zmiany technologiczne ze względu na wysokie koszty, niewielką rotację floty i surowe wymogi bezpieczeństwa. Samochody zazwyczaj kosztują 50–100 razy więcej niż telefony komórkowe i 20–30 razy więcej niż komputery osobiste, więc konsumenci rzadko kupują nowe pojazdy tylko po to, aby uzyskać nową technologię. Samodzielne pojazdy prawdopodobnie będą miały stosunkowo kosztowne standardy wyposażenia i usług, które mogą zniechęcać niektórych użytkowników.

Autonomiczne pojazdy mogą pozwolić, aby auta współdzielone zastąpiły niektóre samochody osobowe. Wielu kierowców prawdopodobnie woli jednak posiadanie osobistego pojazdu ze względu na prestiż i wygodę. W rezultacie pojazdy współdzielone mogą ograniczyć własność pojazdów głównie w bogatszych, wielomilionowych obszarach miejskich i będą miały niewielki wpływ na obszary biedniejsze i wiejskie.

Wdrożenie technologii pojazdów autonomicznych to tylko jeden z wielu trendów, które mogą wpływać na przyszłe rozwiązania w zakresie transportu. Jego ostateczny kształt zależy od tego, jak oddziaływać będzie z innymi procesami zmian, takimi jak odejście od własności prywatnej pojazdów na rzecz pojazdów współdzielonych. Swoiste podsumowanie kwestii perspektyw rozwoju autonomicznych systemów pojazdów samochodowych zawiera opracowanie firmy doradczej Deloitte, którego syntezę przywołano wprost poniżej wraz z opisem możliwych scenariuszy[18]. Podkreśla ono istnienie dwóch rozbieżnych wizji w tym zakresie – jednej, wychodzącej z założenia, że obecny system prywatnej własności pojazdów kierowanych przez kierowców pozostanie względnie niezmieniony, oraz drugiej, zakładającej przejście na ogólny, w dużej mierze współdzielony system mobilności. W wizji zakładającej dużą dynamikę zmian szybko osiągnięty zostanie stan, w którym:

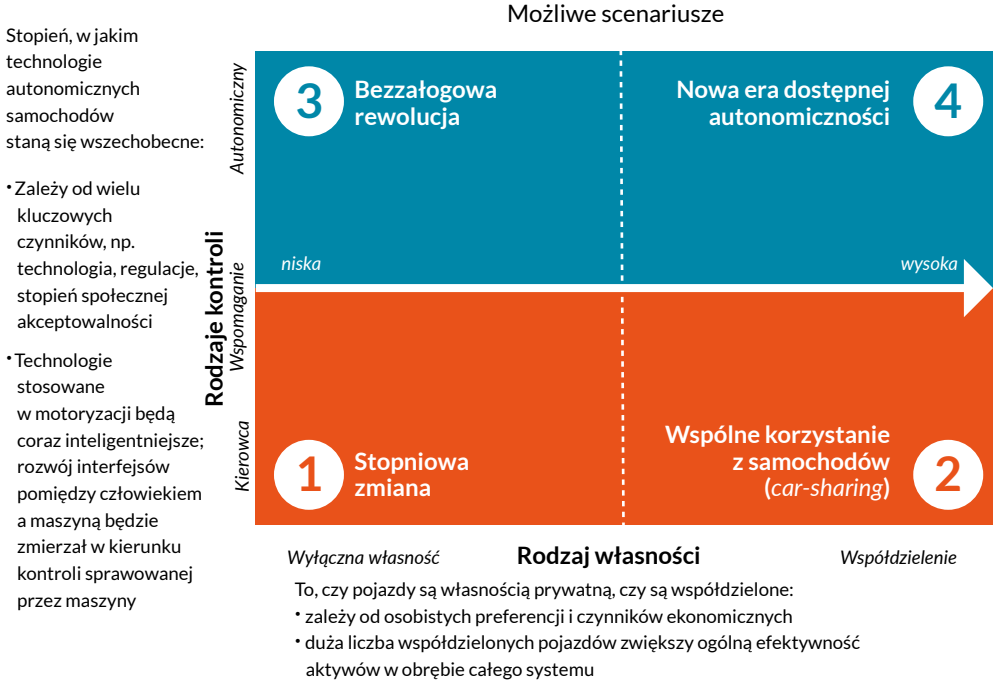
- pojazdy rzadko ulegają wypadkom;
- korki należą do rzadkości dzięki czujnikom pozwalającym zachować mniejsze odległości pomiędzy pojazdami oraz za sprawą systemów sterowania potrafiących śledzić natężenie ruchu w czasie rzeczywistym;
- spada popyt na energię, ponieważ dzięki mniejszej masie samochody wyposażone są w mniejsze, wydajniejsze i bardziej przyjazne środowisku układy napędowe;
- koszty podróży w przeliczeniu na jednego pasażera gwałtownie spadają do jednej trzeciej obecnych kosztów dzięki zdecydowanie wyższemu wykorzystaniu pojazdów;
- infrastruktura finansowana jest z opłat za rzeczywiste jej wykorzystanie, ponieważ dzięki systemowi samochodów na stałe podłączonych do internetu możliwe jest dokładne obliczenie stopnia wykorzystania dróg przez każdego użytkownika;

[18] S. Corwin, J. Vitale, E. Kelly, E. Cathles, *The future of mobility. W jaki sposób techniki transportowe i trendy społeczne tworzą nowe ekosystemy gospodarcze*, Deloitte University Press, 2015, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Reports/pl_future_of_mobilty_2015.pdf (30.03.2017).

- znikają parkingi, ponieważ modele autonomicznych samochodów i dzielenia się nimi powodują spadek zapotrzebowania na nie;
- organy ścigania przestają zajmować się ruchem ulicznym, ponieważ autonomiczne pojazdy są tak zaprogramowane, aby nie przekraczały dopuszczalnej prędkości ani w żaden inny sposób nie łamały przepisów ruchu drogowego;
- zwiększa się tempo dostaw i jednocześnie spadają ich koszty dzięki rozwojowi w pełni autonomicznej sieci długodystansowych ciężarówek dostawczych, potrafiących poruszać się przez długi czas i pokonywać większe dystanse przy niższych kosztach pracy;
- niezawodny system transportu intermodalnego staje się nową normą, ponieważ dzięki jego lepszej interoperacyjności konsumenci mogą dostać się z punktu A do B, wykorzystując rozmaite, połączone z internetem środki transportu za jedną stałą opłatę pobieraną przez jeden wspólny system pobierania opłat.

Większość technologii niezbędnych do wcielenia tej wizji w życie jest dostępna już dziś. Jednak tym technologiom, które mogłyby całkowicie odmienić rzeczywistość, może nie udać się uzyskać skali niezbędnej do tego rodzaju transformacji.

Biorąc pod uwagę dużą różnorodność sił kształtujących krajobraz potencjalnych zmian, można sobie wyobrazić cztery różne scenariusze na przyszłość dotyczące zagadnienia mobilności, wyłaniające się z przecięcia się dwóch najważniejszych trendów:



Rys. 8. **Scenariusze rozwoju pojazdów autonomicznych**

Źródło: modyfikacja własna na podstawie: S. Corwin, J. Vitale, E. Kelly, E. Cathles, *The future of mobility. W jaki sposób techniki transportowe i trendy społeczne tworzą nowe ekosystemy gospodarcze*, Deloitte University Press, 2015, s. 8. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Reports/pl_future_of_mobilty_2015.pdf (30.03.2017).

- sprawowania kontroli nad pojazdem (kierowca a system autonomiczny),
- własności pojazdu (własność prywatna czy wspólna).

W analizie Deloitte podkreśla się, że zmiany będą zachodziły na całym świecie nierównomiernie, gdyż zapotrzebowanie na poszczególne rodzaje transportu będzie różne w różnych częściach globu, co oznacza, że w przyszłości całkiem prawdopodobne będzie współistnienie czterech możliwych scenariuszy.

Scenariusz 1: Stopniowa zmiana

Najbardziej konserwatywna wizja przyszłości zakłada, że właściciele olbrzymiego majątku zaangażowanego w obecny system dobrowolnie go nie oddadzą ani nie pozwolą na ulokowanie kapitału w nowych przedsięwzięciach, które nie zagwarantują odpowiedniego zwrotu. Według tego scenariusza własność prywatna pozostanie normą, a konsumenci nadal będą cenić sobie prywatność, elastyczność, bezpieczeństwo i wygodę utożsamianą z posiadaniem samochodu na własność. Co ważne, choć wizja ta zakłada wykorzystanie technologii wspomagających prowadzenie pojazdów, nie wróży ona rychłej dostępności samochodów o cechach pojazdu autonomicznego poziomu 4.

Ta wersja przyszłości, zakładająca tak niewiele zmian, wzmacnia uzależnienie producentów samochodów od modelu biznesowego opartego na liczbie sprzedanych egzemplarzy aut. Zgodnie z nią będą oni nadal inwestowali w rozwój i wprowadzanie nowych linii pojazdów wyposażonych w zaawansowane technologie, a za jakość obsługi klienta nadal będą odpowiedzialni dealerzy. Wizja ta zachęci także pozostałych graczy z branży do polegania na znanych i sprawdzonych od wielu lat praktykach i strukturach.

Scenariusz 2: Wspólne korzystanie z samochodów

Druga wizja przyszłości zakłada stały rozwój zjawiska wspólnego dostępu do pojazdów. Zgodnie z nią ekonomia skali i zaostrzająca się konkurencja przyczynią się do rozwoju usług polegających na możliwości wspólnego korzystania z samochodów na nowych obszarach geograficznych i w bardziej wyspecjalizowanych segmentach klienta. Scenariusz ten opiera się na założeniu, że pasażerowie będą cenili sobie przede wszystkim możliwość wygodnego przemieszczania się z jednego miejsca do drugiego, wspólnie korzystając z samochodów i dzieląc się nimi z innymi podróżnymi, dzięki czemu ominą ich problemy związane z czynnym uczestnictwem w ruchu drogowym i poszukiwaniem miejsc do parkowania. Ponadto system uwzględni potrzeby osób dotychczas nieprowadzących samochodu.

Według tej wizji wraz ze spadkiem kosztu podróży w przeliczeniu na kilometr wiele osób będzie postrzegać wspólne korzystanie z samochodów jako wydajny, wygodny i zrównoważony sposób przemieszczania się, szczególnie na krótkie odległości. W związku z tym, że zjawisko wspólnego poruszania się w znacznej mierze jest odpowiedzią na potrzeby związane z transportem lokalnym, zacznie spadać liczba gospodarstw domowych posiadających kilka samochodów, a niektóre być może nawet całkowicie się ich pozbędą, co w przyszłości spowoduje dalsze obniżenie popytu na pojazdy.

Scenariusz 3: Bezzałogowa rewolucja

Trzecia wizja przyszłości przewiduje, że technologie związane z samokierującymi się samochodami będą realne, bezpieczne, wygodne i oszczędne, jednak nadal powszechne będzie posiadanie samochodu na własność. Do urzeczywistnienia tego scenariusza przyczyni się współpraca pomiędzy najwybitniejszymi naukowcami, organami regulacyjnymi i biznesem. Zarówno firmy technologiczne, jak i motoryzacyjne nadal będą inwestowały pokaźne środki w usprawnianie systemu V2X (połączenie komunikacji typu pojazd-pojazd oraz pojazd-internet). Jednocześnie stan dojrzałości osiągnie technologia związana z pojazdami autonomicznymi, a sukcesy pierwszych programów pilotażowych spowodują, że technologia szybko przyjmie się na rynku.

Jeśli przyjęte zostanie założenie, iż większość kierowców nadal będzie zwolennikami posiadania samochodu na własność, to pojedynczy użytkownicy wybiorą samochód niewymagający kierowcy ze względu na jego potencjalne zalety. Nadal jednak pozostaną oni właścicielami swych prywatnych samochodów – z tych samych powodów, co przed pojawieniem się nowej technologii. Być może nawet zainwestują jeszcze więcej środków w swoje auta, gdyż nadejdzie nowa era dostosowywania pojazdów do ściśle określonych potrzeb ich użytkowników oraz konkretnych okoliczności. Mając to na uwadze, już same funkcje, w które właściciele pojazdów chętnie zainwestują, oraz nowe rodzaje konstrukcji pojazdów mogą przyczynić się do zmian. Dzięki nim nowe pojazdy być może okażą się lżejsze, bardziej zaawansowane technicznie i projektowane będą wbrew obecnie obowiązującym zasadom nakazującym, aby samochód był czterodrzwiowy, kierowca siedział z przodu po lewej stronie i trzymał w rękach okrągłą kierownicę.

Scenariusz 4: Nowa era dostępnej autonomiczności

Czwarty scenariusz przewiduje przyszłość, w której nastąpi zbieżność trendów autonomicznego i wspólnego korzystania z samochodów. Według tego scenariusza firmy zajmujące się zarządzaniem usługami w dziedzinie poruszania się będą oferowały szeroki wachlarz takich usług, aby spełniać oczekiwania jak najszerszej grupy klientów w zależności od zasobności ich portfela. Tymi, którzy jako pierwsi po nie sięgną, będą najprawdopodobniej osoby dojeżdżające do pracy do dużych miast, ponieważ dzięki mniejszym odległościom pokonywanym przez zautomatyzowane pojazdy po drogach wspomaganych systemami informującymi w czasie rzeczywistym o warunkach na nich panujących skróceniu ulegnie łączny czas podróży. W miarę rozwoju inteligentnej infrastruktury i zmniejszaniu się liczby kierowców poniżej poziomu krytycznego, floty współużytkowanych samochodów pojawią się nie tylko w centrach miast, lecz także w gęsto zaludnionych przedmieściach i jeszcze dalej od nich.

Za koordynowanie podróży klienta z jednego miejsca do drugiego odpowiedzialne będą zaawansowane technologie łączności: intuicyjne interfejsy pozwolą użytkownikom w ciągu kilku minut zamówić samochód w dowolne miejsce i dojechać z punktu A do B szybko, bezpiecznie i niedrogo. Operatorzy systemów kierowania ruchem, dostawcy usług w zakresie treści dostępnych w samochodach podczas podróży (np.

firmy informatyczne) i właściciele danych (np. firmy telekomunikacyjne) mogą liczyć na coraz to nowe korzyści związane ze świadczeniem kolejnych usług i dostarczaniem wartości pasażerom oraz wynikające z pozyskiwania metadanych dotyczących wykorzystania systemu.

Podsumowanie

Pojazdy autonomiczne mogą zmienić nasze poglądy i priorytety w zakresie transportu, tak iż w końcu zaakceptujemy zupełnie nowy sposób przemieszczania się. Uciążliwe szukanie wolnych miejsc parkingowych lub narastająca frustracja w korku ulicznym mogą przejść do historii wraz z pojawieniem się nowych możliwości technologicznych. Pojazdy autonomiczne zmienią sposób życia i pracy oraz projektowania i budowania miast. Zmienią i przeobrażą wiele branż w nieprzewidywalnym w chwili obecnej stopniu. Wymuszą zmianę modeli biznesowych producentów aut, operatorów transportu publicznego i prywatnego, firm ubezpieczeniowych, telekomunikacyjnych, a nawet małych warsztatów naprawy pojazdów. Przyniosą skokowy przyrost przesyłania danych – szacunki firmy Intel[19] zakładają, że samochody autonomiczne do 2020 roku będą generować 4000 GB danych dziennie.

Według raportu OECD[20] autonomiczne taksówki połączone z transportem publicznym o dużej pojemności mogłyby zastąpić 9 na 10 samochodów w średniej wielkości mieście europejskim. Mimo że całkowita wielkość przejazdów samochodowych prawdopodobnie wzrośnie, ograniczone potrzeby parkingowe uwolnią znaczną przestrzeń publiczną i prywatną. Wprowadzenie na dużą skalę flot samojezdnych pojazdów prawdopodobnie zmniejszy liczbę wypadków, pomimo wzrostu ogólnej liczby przejazdów samochodem. Wpływ na środowisko zależeć będzie od przyjęcia bardziej oszczędnych i mniej zanieczyszczających technologii. Kompleksowe rozmieszczenie wspólnych samojeżdżących flot może być łatwiejsze w wyznaczonych obszarach, takich jak parki biznesowe, kampusy uniwersyteckie, wyspy, a także w miastach o niskim poziomie motoryzacji.

Zanim to jednak nastąpi, konieczne jest wypracowanie systemowych rozwiązań w zakresie regulacji prawnych dotyczących pojazdów autonomicznych – od kwestii odpowiedzialności cywilnej zaczynając, na karnej kończąc. Spotykany często nadmierny optymizm co do szybkiego upowszechnienia tych pojazdów należy skonfrontować z realnymi ograniczeniami obecnych i rozwijanych technologii, zwłaszcza ich dotychczasowej bezradności w zakresie obsługi trybu off-road.

Wydaje się, że zalety technologii autonomicznych, w tym zmniejszenie liczby wypadków, zwiększona mobilność i ograniczenie zużycia paliwa przeważają nad prawdopodobnymi wadami i kosztami. Jednak niezbędne są dalsze badania, aby precyzyjniej oszacować te koszty i korzyści, niezależnie od tego, czy dotyczą one indywidualnego operatora systemu autonomicznego czy ogółu społeczeństwa.

[19] D.M. Landau, *dz. cyt.*

[20] *Urban Mobility System Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic*, OECD/ITF 2015.

Bibliografia

10 million self-driving cars will be on the road by 2020, BI Intelligence, BI Intelligence, Jun. 15, 2016, http://www.businessinsider.com/report-10-million-self-driving-cars-will-be-on-the-road-by-2020-2015-5-6?IR=T (31.03.2017).

5G Automotive Vision, European Commission, October 20, 2015.

Airbus-Experiment mit Taxidrohne: Wer wird denn gleich in die Luft gehen?, Spiegel Online – Auto, 08.02.2017.

Anderson J.M., Kalra N., Stanley K.D., Sorensen P., Samaras C., Oluwatola O.A., *Autonomous Vehicle Technology. A Guide for Policymakers*, RAND Corporation, Santa Monica, Calif 2016.

Axe D., *2018: The Year U.S. Fighter Pilots Could Get Drone Wingmen,* http://warisboring.com/2018-the-year-u-s-fighter-pilots-could-get-drone-wingmen/ (12.04.2017).

Bertozzi M., Broggi A., Fascioli A., *Vision-based intelligent vehicles: State of the art and perspectives*, Robotics and Autonomous Systems 32 (2000).

Brown D.A., Cooper G., Gilvarry I., Rajan A., Tatourian A., Venugopalan R., Wheeler D., Zhao M., *Automotive Security Best Practices,* Intel Security, Santa Clara 2016.

Corwin S., Vitale J., Kelly E., Cathles E., *The future of mobility. W jaki sposób techniki transportowe i trendy społeczne tworzą nowe ekosystemy gospodarcze*, Deloitte University Press, 2015, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Reports/pl_future_of_mobilty_2015.pdf (30.03.2017).

Driverless Trains. Efficient, Reliable, the Future, Richard Tracey, London 2010.

Driving to the future. The development of connected cars, The Economist Intelligence Unit Limited 2016.

Future of Urban Mobility, Airbus' Magazine, http://www.airbusgroup.com/int/en/news-media/corporate-magazine/Forum-88/My-Kind-Of-Flyover.html (31.03.2017).

Hendrickson C., Biehler A., Mashayekh Y., *Connected and Autonomous Vehicles 2040 Vision. Final Report,* Commonwealth of Pennsylvania Department of Transportation, Harrisburg 2014.

Intelligent Transport Systems. Master Plan, Main Roads Western Australia, East Perth 2014.

Korosec K., *Autonomous Car Sales Will Hit 21 Million by 2035,* Fortune Tech, June 07, 2016, http://fortune.com/2016/06/07/autonomous-car-sales-ihs/ (31.03.2017).

Landau D.M., *Na drodze do pojazdów autonomicznych*, Innowacje Techniczne, 24 sierpnia 2016, https://iq.intel.pl/na-drodze-pojazdow-autonomicznych/ (31.03.2017).

Litman T., *Autonomous Vehicle Implementation Predictions*, Victoria Transport Policy Institute, 2015.

Luftfahrt: In den Himmel, DER SPIEGEL – Wissenschaft+Technik – 04.03.2017, cyt. za: http://technowinki.onet.pl/technika/co-z-tym-latajacym-samochodem/f5smc6 (31.03.2017).

Maj M., *Dostawcze drony Google to ani samoloty, ani helikoptery. Dlatego są dobre*. http://di.com.pl/dostawcze-drony-google-to-ani-samoloty-ani-helikoptery-dlatego-sa-dobre-50518 (12.04.2017).

Mueller M., *Regulation issue,* Vision Zero International, June 2016.
Plan Rozwoju Elektromobilności. „Energia do przyszłości", Ministerstwo Energii, Warszawa 2017.
Sivak M., Schoettle B., *Road Safety with Self-Driving Vehicles: General Limitations and Road Sharing with Conventional Vehicles*, University of Michigan 2015.
Statistics brief world report on metro automation – July 2016, UITP, the International Association of Public Transport, http://metroautomation.org/characteristics-trends/ (31.03.2017).
The Pathway to Driverless Cars, Department for Transport, London, February 2015.
Urban Mobility System Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic, OECD/ITF 2015.
Viereckl R., Assmann J., Raduge Ch., *In the fast lane. The bright future of connected cars*, Strategy&PwC, www.strategyand.pwc.com 2014.
Vitale J., Giffi C.A., Pingitore G., Robinson R., Schmith S., Gangula B., *What's ahead for fully autonomous driving. Consumer opinions on advanced vehicle technology*, Deloitte Development LLC 2017.
Zalewski T., *Czy samochody autonomiczne są legalne w Polsce? Jeszcze nie*, http://mamstartup.pl/prawo/9859/czy-samochody-autonomiczne-sa-legalne-w-polsce-jeszcze-nie (24.04.2017).

Streszczenie

Autonomiczne systemy transportowe pociągają za sobą rozwój fizycznego i cyfrowego środowiska, zaangażowanie i edukację użytkowników, nowe rozwiązania technologiczne i związane z nimi pojazdy oraz zakwestionowanie wielu dotychczasowych aspektów dotyczących funkcjonowania współczesnych społeczeństw, poczynając od wzorców kulturowych zachowań kierowców i pasażerów, aż po redefiniowanie pojęcia własności pojazdów. Spośród istniejących gałęzi transportu szczególnie dynamiczny rozwój technologii autonomicznych można zaobserwować w dziedzinie transportu lotniczego, głównie w zakresie rozwijania dronów służących do transportu towarów i ludzi, transportu kolejowego, zwłaszcza w zakresie automatyzacji metra oraz samochodów autonomicznych. Wydaje się, że zalety technologii autonomicznych, w tym zmniejszenie liczby wypadków, zwiększona mobilność i ograniczenie zużycia paliwa przeważają nad prawdopodobnymi wadami i ograniczeniami. Ostateczny bilans kosztów i korzyści zależeć będzie jednak od właściwego ukształtowania sposobu przyjęcia i wpływu technologii pojazdów autonomicznych w różnych dziedzinach gospodarki. W dużej mierze będzie to pochodną polityki regulacyjnej państwa, która już dziś powinna znaleźć odpowiedzi na pytania: Jak w ogóle należy regulować funkcjonowanie systemów pojazdów autonomicznych i na jakim poziomie? Jakie pojazdy powinny być dozwolone na drodze, pod ziemią i w powietrzu, kto może je obsługiwać? Jak należy badać bezpieczeństwo urządzeń autonomicznych? Do jakich standardów bezpieczeństwa powinny dążyć? Zagadnieniem wymagającym uwagi są także realne ograniczenia obecnych i rozwijanych technologii w zakresie obsługi trybu off-road pojazdów autonomicznych.

VISIONS AND SCENARIOS FOR THE DEVELOPMENT OF AUTONOMOUS TRANSPORT SYSTEMS

SUMMARY

Autonomous transport systems entail the development of a physical and digital environment, the engagement and education of users, new technological solutions and related vehicles. E-mobility systems dispute many aspects related to the functioning of modern societies, from the patterns of cultural behavior of drivers and passengers to redefining the concept of vehicle ownership. Out of the existing transport sectors, the dynamic development of autonomous technologies is particularly evident in the field of air transport, mainly in the development of drones for the transport of goods and people; rail transport, especially in the area of metro automation and autonomous cars. It seems that the advantages of autonomous technologies, including reduced accidents, increased mobility and less fuel consumption, outweigh the likely drawbacks and limitations. However, the final balance of costs and benefits will depend on the proper configuration of the way in which autonomous vehicle technology is adopted in different areas of the economy. To a large extent this will be a derivative of the state's regulatory policy, which today should address the question of how to regulate the operation of autonomous vehicles and at what level. What vehicles should be allowed on the road, underground and in the air, who can operate it? How should the security of autonomous devices be investigated? Which security standards should they follow? There are also real constraints to the current and evolving technologies concerning off-road vehicle autonomy.

Prof. dr hab. Maciej Szymczak

Pracuje w Katedrze Logistyki Międzynarodowej na Wydziale Gospodarki Międzynarodowej Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu (UEP). Jest absolwentem Politechniki Poznańskiej. Stopnie doktora i doktora habilitowanego nauk ekonomicznych uzyskał w zakresie dyscypliny nauki o zarządzaniu, specjalność logistyka. Tytuł naukowy profesora uzyskał w dziedzinie nauk ekonomicznych. Jego zainteresowania naukowe obejmują logistykę i zarządzanie łańcuchami dostaw, technologie informatyczne w logistyce, a także logistykę miejską. Opublikował ponad 100 prac naukowych. Jest autorem, współautorem lub redaktorem naukowym kilkunastu monografii naukowych i podręczników. Efektem ostatnio prowadzonych przez niego badań jest autorska monografia *Ewolucja łańcuchów dostaw* (UEP, 2015) oraz opracowane pod jego redakcją dwie monografie: wydana w Wielkiej Brytanii *Managing Towards Supply Chain Maturity. Business Process Outsourcing and Offshoring* (Palgrave Macmillan, 2013) oraz *Offshoring a rozwój łańcuchów dostaw* (UEP, 2014). Wykładał logistykę w wielu szkołach wyższych na studiach pierwszego i drugiego stopnia, doktoranckich, podyplomowych i MBA, w Polsce i za granicą. Jest członkiem komitetu redakcyjnego dwumiesięcznika branżowego „Eurologistics" i kapituły konkursu „Produkt innowacyjny dla logistyki, transportu, produkcji". Bierze udział w wielu projektach badawczych, a także w licznych ekspertyzach i projektach z zakresu logistyki i transportu realizowanych dla przemysłu oraz administracji publicznej.

Maciej Szymczak

Perspektywy rozwoju technologii i rynku dronów

Wprowadzenie

Drony jako alternatywna forma transportu wpisują się w trzy obecnie bardzo ważne i komplementarne wobec siebie koncepcje: transportu przyjaznego dla środowiska (ang. *eco-friendly transportation*), transportu niezależnego od podaży ropy naftowej (ang. *oil free transportation*) oraz e-mobilności (ang. *e-mobility*). Wykorzystanie dronów jako alternatywnej formy transportu jest szczególnie widoczne w obszarze dystrybucji, a zwłaszcza w fazie transportu dostawczego w ramach tzw. ostatniej mili (ang. *last mile*). Wiąże się to z zagadnieniem obsługi logistycznej klienta, której wysoki poziom jest coraz trudniej osiągnąć na obszarach zurbanizowanych w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego oraz licznych ograniczeń administracyjnych dla ruchu kołowego.

Choć z zastosowaniem dronów w logistyce wiąże się ogromne nadzieje, ukazało się wiele publikacji oraz odbyła się duża liczba konferencji i debat, to jednak przydatność dronów sięga znacznie dalej. Nie zawsze też musi ona być związana z przemieszczaniem zasobów materialnych – choć i tu tkwią jeszcze duże możliwości – a więc nie musi dotyczyć funkcjonowania łańcuchów dostaw. Drony mają duży potencjał w zakresie ich wykorzystania do monitoringu i kontroli wielu procesów.

W rozdziale zostanie przedstawiona koncepcja drona i jej rozwój. Następnie szczegółowo omówione zostaną możliwości wykorzystania dronów z nakreśleniem perspektyw rozwoju rynku w odniesieniu do tych zastosowań z uwzględnieniem obecnych i przyszłych potencjalnych ograniczeń, wynikających chociażby z umasowienia tej technologii.

1. Istota i rozwój koncepcji drona

W zasadzie drony stanowią jedną z wersji rozwojowych UAVs (ang. *unmanned aerial vehicles*)[1]. Nazwa dron została przejęta wprost z języka angielskiego. Dlaczego ten środek transportu nazwano dronem? Słowo *drone* w języku angielskim oznacza trutnia, ale także warkot czy brzęczenie. Nazwa przyjęta została zapewne poprzez analogię do swobody i sposobu poruszania się owadów, a także odgłosów, jakie temu towarzyszą.

Drony przyjmują postać multikopterów (ang. *multi-rotor UAV*): tri-, kwadro-, hexa- i oktokopterów, które mają odpowiednio trzy, cztery, sześć lub osiem śmigieł. Najczęściej spotkać można kwadro- oraz oktokoptery. Duża liczba śmigieł zapewnia

[1] Obok małych sterowców (ang. *blimp*), urządzeń latających z nieruchomym skrzydłem (ang. *fixed wing*), urządzeń hybrydowych wyposażonych zarówno w nieruchome skrzydła, jak i wirniki, oraz urządzeń z pojedynczym wirnikiem (ang. *single rotor*).

przewidywalne sterowanie i stabilność podczas lotu. Drony można zdefiniować jako bezzałogowe statki powietrzne wielokrotnego użytku, sterowane zdalnie lub zaprogramowane tak, by latać w sposób autonomiczny[2].

Pierwsze bezzałogowe urządzenia latające konstruowano już przed naszą erą. Dostępne źródła piszą o wynalazku Archytasa z Tarentu, który w V w. p.n.e. zbudował mechanicznego gołębia napędzanego parą wodną, a także o próbach Chińczyków z latawcami i balonami w podobnym okresie. W czasach nowożytnych swój wkład w konstrukcje tego typu miał Leonardo da Vinci, który zbudował protoplastę bezzałogowego helikoptera jako urządzenie z mechanicznymi skrzydłami – tzw. latającą śrubę. W okresie I wojny światowej stosowane były automatyczne urządzenia latające jako ruchome cele do trenowania oddziałów przeciwlotniczych. Jeden z projektów prowadzonych przez E. Sperry'ego i P.C. Hewitta w tym okresie miał na celu opracowanie bezzałogowego samolotu o klasycznej konstrukcji, wprowadzonej przez słynnych braci Wright, z silnikiem spalinowym i śmigłem z przodu. Taki samolot powstał i odbył pierwszy lot w 1917 roku. W podobnym okresie powstała też latająca torpeda opracowana przez Ch. Ketteringa (ang. *Kettering Bug*).

W 1925 roku Brytyjczycy opracowali wyposażony w autopilota bezzałogowy samolot o nazwie Larynx (ang. *Long Range Gun with Lynx Engine*), który stanowił broń przeciwko jednostkom pływającym. Stosowane później w wojskowości latające bomby czy też pociski manewrujące także można zaliczać do bezzałogowych statków powietrznych, pamiętając jednak o ich specyfice jako broni, która nie może być powtórnie wykorzystana. W kolejnych latach wysiłki skierowano na opracowanie możliwości zdalnego sterowania takimi jednostkami drogą radiową. Doskonalono konstrukcje dronów służących do szkolenia wojsk przeciwlotniczych. Doświadczenia te wykorzystano podczas II wojny światowej. W tym okresie podjęto prace nad dronami szpiegowskimi, które powszechnie zaczęto wykorzystywać w latach 60. i 70. XX wieku. Pod koniec lat 50. XX wieku firma Gyrodyne Company of America skonstruowała pierwszy bezzałogowy śmigłowiec QH-50 DASH, którego używano do celów bojowych jako niszczyciela łodzi podwodnych (ang. *Drone Anti-Submarine Helicopter*)[3]. Można było go wyposażyć w dwie torpedy. Urządzenie było także wykorzystywane w misjach szpiegowskich, transportowych i innych[4]. Dron opracowany przez Gyrodyne (obecnie Gyrodyne LLC) do dziś wykorzystywany jest przez marynarkę wojenną Stanów Zjednoczonych. Powstało wiele serii rozwojowych i odmian, jak zbudowane: QH-50A, QH-50B, QH-50C, QH-50D, QH-50DM, a także proponowane: QH-50F, QH-50H. Kolejne dekady obfitowały w wiele opracowanych rozwiązań bezzałogowych maszyn latających. Stosowano różne napędy, różne rozwiązania konstrukcyjne, powstawały urządzenia uniwersalne oraz przeznaczone do konkretnych zadań, za-

[2] K. Dalamagkidis, K.P. Valavanis, L.A. Piegl, *On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System: Issues, Challenges, Operational Restrictions, Certification and Recommendations*, 2nd ed., Springer-Verlag, Dordrecht, Heidelberg, London, New York 2012, s. 2.

[3] G. Apostolo, *The Illustrated Encyclopedia of Helicopters*, Bonanza Books, New York 1984, s. 67.

[4] S.S. Evans, *The Incredible Story of the QH-50 DASH. The First Unmanned Helicopter Turns 50*, Vertiflite, 2011, Vol. 57, No. 1, s. 36–39.

równo cywilnych, jak i militarnych. Coraz większa stawała się liczba zadań, w których realizacji drony zastępowały załogowe statki powietrzne.

Możliwości dronów nieustannie rosną. Obecnie prace nad rozwojem tych konstrukcji owocują wprowadzaniem różnego rodzaju zabezpieczeń. Mają one minimalizować ewentualne straty spowodowane kolizjami dronów czy uderzeniem o ziemię (ang. *collision tolerant drone*). Innowacyjny sposób zabezpieczenia drona i jednocześnie jeden z najciekawszych, zaproponowała firma Flyability. Ich produkt nazywa się Elios. Ma niezwykle zaawansowane systemy stabilizacji położenia oraz stabilizacji lotu, a zamknięty jest jakby w ażurowej bańce zbudowanej z włókien węglowych, która chroni go przed kolizjami. Jednocześnie – co jest bardzo ważne ze względu bezpieczeństwa – w przypadku kolizji z ludźmi nie zagraża im w żaden sposób. Kolizje tego drona do prędkości 15 km/h włącznie nie powodują utraty stabilności i sterowności. Konstrukcja drona pozwala mu także toczyć się po powierzchni – może to być podłoże, ale także ściana czy sufit, co otwiera kolejne możliwości użytkowe. Modułowa budowa systemu ochrony pozwala na łatwy serwis drona oraz instalowanie dodatkowych urządzeń[5]. Innym rozwiązaniem zabezpieczającym drona przed upadkiem może być specjalnej konstrukcji spadochron. SmartChutes można zamontować do dowolnego rodzaju kwadrokoptera ważącego powyżej 1,81 kg, jest on wielokrotnego użytku, waży tylko 113 gramów, działa autonomicznie i sam wyczuwa zagrożenie, odczytując dane z żyroskopu i akcelerometru[6].

Drony zyskują także coraz większy udźwig. W październiku 2015 roku dron skonstruowany przez studentów z Uniwersytetu w Oslo podniósł ładunek o masie 61 kg, co zostało wpisane do księgi rekordów Guinnesa[7]. Dron-rekordzista został zbudowany z ośmiu heksakopterów, a więc posiadał 48 śmigieł i tyle samo silników elektrycznych (uzyskując masę 76,6 kg). Nie umniejsza to znaczenia tego osiągnięcia, bo przecież nie jest przesądzone, czy duże maszyny tego typu nie będą miały właśnie konstrukcji złożonej wykorzystującej istniejący sprzęt. Polska również notuje sukcesy na polu rozwoju dronów. W Świdniku (PZL-Świdnik) powstał największy w Europie dron pionowego startu jako specjalna wersja lekkiego, jednosilnikowego śmigłowca SW-4. Dron o nazwie SW-4Solo RUAS/OPH stanowi najbardziej zaawansowane i ambitne osiągnięcie lotnicze ostatnich lat. Faza rozwojowa i testy lotnicze trwały od września 2013 do maja 2014 roku. Możliwość instalowania szerokiej gamy wyposażenia zapewnia użyteczność drona w realizacji różnorodnych zadań: misji wywiadowczych, obserwacyjnych, poszukiwawczych, rozpoznawczych oraz transportu ładunków. Dron jest wykorzystywany w programach włoskiego i brytyjskiego Ministerstwa Obrony Narodowej. Włosi i Brytyjczycy brali udział także przy opracowywaniu konstrukcji[8].

---

[5] Flyability, http://www.flyability.com/elios/ (29.03.2017).

[6] *SmartChutes ochroni drona przed upadkiem*, Chip, http://www.chip.pl/news/sprzet/gadzety/2015/05/smartchutes-ochroni-drona-przed-upadkiem (7.05.2015).

[7] *Rekord Guinnesa w udźwigu drona*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/konferencje-pokazy/2016/01/rekord-guinnesa-w-udzwigu-drona (21.01.2016).

[8] *SW-4 Solo pomyślnie zakończył demonstrację Bezzałogowego/Opcjonalnie Pilotowanego Śmigłowca dla włoskiego MON*, PZL-Świdnik, http://www.pzl.swidnik.pl/pl/sw-4-solo-pomyslnie-zakonczyl-demonstracje-bezzalogowegoopcjonalnie-pilotowanego-smiglowca-dla-wloskiego-mon/0,-m5,1 (27.03.2017).

Naukowcy pracują także nad wyposażeniem dronów w coraz lepsze mechanizmy sztucznej inteligencji, która nie tylko ma umożliwiać zupełnie autonomiczny lot z autokorektą toru lotu pozwalającą omijać przeszkody, lecz także przemieszczanie się w grupie i wykonywanie coraz bardziej skomplikowanych zadań. Wyraźną tendencją jest tworzenie sztucznych mózgów, będących odwzorowaniami fragmentów mózgów żywych organizmów. W ten sposób w ramach projektu Green Brain naukowcy z uniwersytetów w Sheffield i Sussex w Wielkiej Brytanii stworzyli drona z mózgiem pszczoły[9].

Odwiecznym problemem takich urządzeń jak drony są kwestie zasilania energią. Nieustannie trwają prace nad zwiększaniem zasięgu lotu poprzez montowanie coraz wydajniejszych akumulatorów oraz urządzeń wyposażonych w panele fotowoltaiczne zasilanych energią słoneczną. Co ciekawe, inżynierowie pracują jeszcze nad ułatwieniem w pilotażu drona. Kto raz próbował, wie, że nie jest to rzecz banalna. Do standardu należy wykorzystanie w tym zakresie specjalizowanych pulpitów sterowniczych, dostępnych na rynku tabletów czy smartfonów – w tych dwóch ostatnich przypadkach z wykorzystaniem specjalnie opracowanej (najczęściej przez dostawcę drona) aplikacji mobilnej. Nowatorskie pomysły w tym zakresie koncentrują się na wykorzystaniu jeszcze innych dostępnych urządzeń, dzięki którym sterowanie będzie bardziej intuicyjne. Firma Sony w 2015 roku zaproponowała wykorzystanie do tego celu swojego smartwatcha, który przenosi gesty użytkownika na odpowiedni ruch drona, wraz z okularami do rozszerzonej rzeczywistości, które służą jako projektor ułatwiający nawigację[10]. Rosyjski robotyk opracował system kontrolowania drona Fotokite za pomocą sznurka[11], co przypomina sterowanie latawcem. Kontrola ruchu poprzez taką smycz odbywa się oczywiście mechanicznie. Firma oferuje teraz dwa takie urządzenia: Fotokite Pro i bardzo lekki Fotokite Phi (przystosowany do sportowych kamer GoPro), które różnią się parametrami technicznymi, a ich zasadniczym zastosowaniem jest filmowanie[12]. Najbardziej bodaj spektakularnym pomysłem jest wykorzystanie do sterowania rękawicy od Nintendo – specjalisty w zakresie gier komputerowych – która pojawiła się na rynku w 1989 roku i nie odniosła sukcesu rynkowego. W Nintendo Power Glove (tak nazywała się rękawica) Nolan Moore wymienił całą elektronikę, zamontował akcelerometry, żyroskopy, czujniki nacisku itp., tak że z oryginału została praktycznie sama rękawica. Swój kontroler pokazał w 2016 roku na targach Maker Fair[13]. Powstają także nowe konstrukcje dronów łatwych w pilotażu,

[9] *Naukowcy stworzyli drona z mózgiem pszczoły*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/nauka-i-technika/2015/04/naukowcy-stworzyli-drona-z-mozgiem-pszczoly (28.04.2015).

[10] *AR Drone 2.0 kontrolowany smartwatchem*, Chip, http://www.chip.pl/news/sprzet/gadzety/2015/01/ar-drone-2.0-kontrolowany-smartwatchem-wideo (15.01.2015).

[11] *Fotokite, czyli dron prowadzony po… sznurku*, Chip, http://www.chip.pl/news/sprzet/gadzety/2015/04/fotokite-czyli-dron-prowadzony-po...-sznurku (14.04.2015).

[12] M. Luśtyk, *Fotokite – reporterski dron na smyczy*, Fotopolis, http://www.fotopolis.pl/newsy-sprzetowe/akcesoria-fotograficzne/18540-fotokite-reporterski-dron-na-smyczy (28.09.2015); https://fotokite.com/ (2.04.2017).

[13] *Nintendo Per Glove jako kontroler do dronów!*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2016/06/nintendo-power-glove-jako-kontroler-do-dronow (9.06.2016).

jak Parrot Disco, który jest w kształcie samolotu. Ma on nieruchome skrzydła, startuje i ląduje automatycznie, ma też funkcję autopilota. Konstrukcja ta oferuje bardzo dobre osiągi: prędkość maksymalną 80 km/h oraz 45 minut ciągłego lotu, co przekłada się na znaczny zasięg[14].

2. Wykorzystanie dronów – analiza możliwości

W analizie możliwości wykorzystania dronów uwzględnione zostaną jedynie aspekty zastosowania w zakresie cywilnym. Trzeba jednak zaznaczyć, że w znacznej części aplikacje w zakresie cywilnymi oraz militarnym się pokrywają, zwłaszcza w ujęciu funkcjonalnym. Co więcej, wiele rozwiązań w zakresie dronów skutkowało powstaniem urządzeń znajdujących swoje zastosowanie zarówno w sferze cywilnej, jak i w wojskowości. Do takich urządzeń należą m.in.: Urban Aeronautics AirMule (prototyp od 2009 roku), Boeing A160 Hummingbird (w produkcji od 2002 roku), Kaman K-MAX (w produkcji od 1991 roku), Northrop Grumman MQ-8 Fire Scout (w produkcji od 2002 roku).

Cywilne wykorzystanie dronów obfituje w wiele rozmaitych możliwości, które na ogół powiązane są z zamontowaniem i przenoszeniem przezeń różnego typu urządzeń, takich jak choćby kamery, czujniki, detektory wraz z nadajnikami i urządzeniami telekomunikacyjnymi. Biorąc pod uwagę dotychczasowe sposoby wykorzystania dronów, a także obecne rozwiązania prototypowe, można wskazać następujące główne zastosowania dronów:

– w ujęciu funkcjonalnym:
  - monitoring,
  - kontrola,
  - ochrona,
  - zbieranie danych, rejestracja obrazu i dźwięku,
  - propagacja sygnału radiowego, propagacja danych,
  - przemieszczanie rzeczy;

– w ujęciu branżowym:
  - transport i logistyka (w tym intralogistyka),
  - budownictwo,
  - rolnictwo,
  - ratownictwo,
  - meteorologia,
  - geodezja, hydrografia i kartografia.

Te zastosowania w naturalny sposób się przenikają, co oznacza, że można wskazać konkretne zastosowania zorientowane na konkretne działania i procesy. Poniżej wymienione zostaną te, które w ostatnim czasie szczególnie zyskały na znaczeniu.

[14] *Parrot Disco: dron w kształcie samolotu do lotów immersyjnych*, Chip, http://www.chip.pl/news/sprzet/kamery-i-aparaty/2016/08/parrot-disco-dron-w-ksztalcie-samolotu-do-lotow-immersyjnych (25.08.2016).

2.1. Zastosowanie dronów w transporcie i logistyce

W pierwszej kolejności drony nieodparcie kojarzą się z transportem, przenoszeniem ładunków, z dystrybucją, a konkretnie z dostarczaniem niewielkich przesyłek do miejsca przeznaczenia, do odbiorcy. Zastosowanie to wiąże się z transportem w obszarze dystrybucji na odcinku tzw. ostatniej mili i dotyczy głównie obszarów zurbanizowanych, na których istnieją największe ograniczenia w świadczeniu dostaw transportem drogowym. Transport drogowy nie jest wystarczająco elastycznym rozwiązaniem (mimo jego bardzo wysokiej dostępności przestrzennej), bo nie zapewnia pożądanego poziomu mobilności w miastach ze względu na poziom zatłoczenia motoryzacyjnego, specyficzne uwarunkowania infrastrukturalne oraz liczne zakazy administracyjne dotyczące zarówno ruchu, jak i załadunku/wyładunku. Samo zatłoczenie motoryzacyjne utrudnia znacząco planowanie dostaw, zwiększa ryzyko tych z określonym czy gwarantowanym terminem doręczenia. Ten brak pożądanej elastyczności jest najbardziej odczuwalny przy dostawach artykułów świeżych (a nawet generalnie produktów spożywczych) do konsumentów, którzy nabyli je w sklepach internetowych. Rozwiązanie tego problemu jest coraz istotniejsze ze względu na preferencje konsumentów i ogromny potencjał wzrostowy dokonywanych w ten sposób zakupów żywności. Przenoszenie ładunków przez drony oznacza najczęściej dostarczanie przesyłek kurierskich, ekspresowych i pocztowych. Dlatego duże nadzieje z dronami wiąże wiele firm – firmy kurierskie, ekspresowe i pocztowe (te duże i te mniejsze, lokalne) obmyślają nowe usługi dla swoich klientów, a inne podmioty, dla których transport czy logistyka nie są główną domeną działania, opracowują nowe modele biznesowe.

Globalny operator logistyczny DHL już w 2013 roku po serii testów był przekonany o przewadze dronów nad tradycyjnymi kurierami na obszarach wysoce zurbanizowanych[15]. DHL swoje rozwiązanie nazwał Paketkopter (ang. *Parcelcopter*). Pierwsze dwie wersje drona: 1.0 i 2.0 były konstrukcjami czterosilnikowymi o pionowym starcie, a druga umożliwiała loty autonomiczne. Najnowsza wersja Paketkoptera – wersja 3.0 – jest rozwiązaniem hybrydowym, które łączy trikoptera z płatowcem. Paketkopter może startować i lądować pionowo, ale lot odbywa jako płatowiec ze śmigłami ciągnącymi. Dzięki temu nową konstrukcję cechuje dłuższy czas lotu (do 60 min), co oznacza możliwość dostarczenia ładunku na dalsze odległości[16], a także wysoka maksymalna prędkość lotu dochodząca do 120 km/h (poprzednia wersja do 65 km/h). Daje to zasięg ponad 100 km z ładunkiem o masie maksymalnej do 2 kg[17]. DHL o wykorzystaniu dronów w swojej działalności myśli systemowo. Komplementarnym do

[15] *Nie tylko Amazon myśli o dronach. DHL zastąpi nimi kurierów*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2013/12/nie-tylko-amazon-mysli-o-dronach.-dhl-zastapi-nimi-kurierow (17.12.2013).

[16] Zasięg drona w tym zastosowaniu należy zawsze podzielić przez 2, gdyż uwzględnić należy jego powrót do bazy po dostarczeniu przesyłki.

[17] *Paketkopter 3.0 – nowy dron DHL*, Świat Dronów, http://www.swiatdronow.pl/paketkopter-3-0-nowy-dron-dhl (24.02.2016).

Paketkoptera rozwiązaniem są paczkomaty Sky Port[18]. Zostały one tak skonstruowane, aby za pomocą drona można było umieścić w nich paczkę, a przy okazji, aby dron, który wylądował na paczkomacie, mógł samodzielnie doładować baterie. Dostarczanie przesyłek dronami bezpośrednio pod adres odbiorcy wciąż rodzi wiele problemów proceduralnych (bezpieczeństwo drona i przesyłki) i infrastrukturalnych (możliwość lądowania i pozostawienia przesyłki).

Testy w zakresie dostarczania przesyłek przy użyciu dronów już w 2014 roku realizowała francuska poczta[19]. Testy były na tyle pomyślne, że w 2017 roku Francuski Urząd Pocztowy (fr. *La Poste*) przeszedł do historii jako pierwsza państwowa instytucja zajmująca się dostarczaniem listów i przesyłek, która zaczęła wykorzystywać drony. Ze względu na restrykcyjne francuskie prawo mogą one być wykorzystane tylko do świadczenia usług pocztowych w trudno dostępnych rejonach kraju. Poczta uruchomiła[20] trasę na terenie południowej Prowansji, a drony dostarczają przesyłki firmom korzystającym ze stałego miejsca odbioru[21]. Podobnymi usługami zainteresowała się także poczta w Szwajcarii, gdyż w kraju tym na trudno dostępnych terenach górzystych żyje sporo osób, a usługi kurierskie tam świadczone są najdroższe. Testy tej usługi ruszyły latem w 2015 roku przy współpracy ze Swiss World Cargo i Matternet – amerykańskim producentem dronów[22].

Polskie przedsiębiorstwo InPost, znane przede wszystkim jako operator popularnych w Polsce paczkomatów, w 2014 roku ogłosiło także swoje plany w zakresie wykorzystania dronów i pokazało możliwości operacyjne w tym zakresie szerszej publiczności na Rynku Głównym w Krakowie[23]. W informacjach prasowych publikowanych przez operatora podkreśla się, że choć na razie są to eksperymenty, działowi R&D zlecono w pełni profesjonalne prace analityczne, które mają zbadać potencjał zastosowania dronów w usługach pocztowo-kurierskich[24]. Obecnie pomysł wchodzi w fazę ostatecznych prób, a za pomocą dronów będą na początku obsługiwane dwa szpitale w Lugano w kantonie Ticino, którymi będą transportowane próbki laboratoryjne[25].

Możliwością dostarczania przesyłek swoim klientom z wykorzystaniem dronów zainteresował się także Amazon. Usługa Amazon Prime Air (zaprezentowana jako

---

[18] *The Flying Postman*, Polygon, http://www.polygon-design.com/en/references/projects/_projects/dhlparcelcopter-skyport.html (10.12.2016).

[19] *Francuska poczta próbuje dostarczać paczki dronami*, 24.pl, http://www.24.pl/francuska-poczta-probuje-dostarczac-paczki-dronami/ (2.01.2015).

[20] W zasadzie poczta do świadczenia tej usługi korzysta z usług grupy DPD.

[21] *Francuska poczta korzysta już z latających dronów*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2016/12/ftancuska-poczta-korzysta-juz-z-latajacych-dronow (4.01.2017).

[22] *Szwajcarska poczta stawia na drony*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2015/04/szwajcarska-poczta-stawia-na-drony-1 (21.04.2015).

[23] *InPost użyje dronów do przesyłania paczek?*, Świat Dronów, http://www.swiatdronow.pl/inpost-uzyje-dronow-przesylania-paczek (5.01.2015).

[24] *Paczkomat, robot i dron, czyli poczta przyszłości według InPost*, Integer, https://integer.pl/pl/aktualnosci/paczkomat-robot-i-dron-czyli-poczta-przyszlosci-wedlug-inpost674 (23.07.2014).

[25] *W Szwajcarii próbki pomiędzy szpitalami dostarczać będą… drony*, TVP info, http://www.tvp.info/29504-115/w-szwajcarii-probki-pomiedzy-szpitalami-dostarczac-beda-drony (3.04.2017).

usługa przyszłości pod koniec 2013 roku) polegać ma na doręczeniu przesyłki w jedynie 30 minut (lub krócej) od momentu, w którym klient kliknie „kup" na stronie internetowej sklepu. Dron, który miałby ją świadczyć, jest niewielkim oktokopterem. Może on przenosić ładunki o masie do ok. 2,5 kg, w promieniu ok. 16 km. Ten niezbyt wielki udźwig może okazać się wystarczający, jako że aż 86% klientów Amazona zamawia przesyłki o masie nieprzekraczające tej wielkości. Jednak firma nie wyklucza zastosowania także dronów o większym udźwigu. Zasięg drona z kolei odpowiada potrzebom miast, w których firma ma swoje magazyny i z których mogłaby świadczyć tę usługę[26]. Zapowiadano, że usługa będzie dostępna za kilka lat od jej pierwszej prezentacji, a więc pod koniec drugiej dekady XXI wieku. Podyktowane to było planem testów usługi oraz rekrutacją pilotów, ale istotną przeszkodą w jej świadczeniu były obowiązujące przepisy prawa. Sądzono, że szybciej nie uda się ich pokonać[27]. I jak do tej pory się nie udało, jednak 7 grudnia 2016 roku odbyła się pierwsza dostawa przesyłki w usłudze Prime Air[28], wykonana jako demonstracja możliwości technicznych firmy i potwierdzenie przystąpienia firmy do prac nad budową potencjału operacyjnego floty.

Dostarczanie przesyłek nie jest wyłącznie domeną operatorów logistycznych, firm transportowych, kurierskich, poczt czy dużych sprzedawców internetowych. Technologią dronów interesują się również firmy, dla których organizowanie dostawy nie jest domeną działania, a jedynie działalnością komplementarną – ważną z perspektywy przyjętego modelu biznesu. Dostarczanie pizzy, którą można zamówić przez telefon czy internet, jest właśnie taką działalnością. Jedną z pierwszych firm, która zaczęła dostarczać to danie kuchni włoskiej za pomocą drona, była pizzeria Domino's w Guildford pod Londynem. Miało to miejsce już w 2013 roku i dotyczyło klientów zlokalizowanych w pobliżu lokalu[29]. Rok później DoDo Pizza z miasta Syktywkar w północno-wschodniej europejskiej części Rosji rozpoczęła dostarczanie pizzy dronem, z którego kartonik z pizzą jest opuszczany na linie, co miało uchronić przed uszkodzeniem czy kradzieżą dronu. Pociągnięcie za linkę przez klienta powoduje jej odczepienie się i automatyczny powrót drona na miejsce startu[30]. Taki sposób dostarczania posiłku można zastosować także, jeśli odbiorca nie znajduje się w domu pod konkretnym adresem, ale na przykład siedzi na ławce w parku i tam chciałby zjeść posiłek.

Z kolei Zookal i Flirtey, dwa australijskie start-upy zajmujące się wypożyczaniem i sprzedażą podręczników, ogłosiły, że planują dostarczać wypożyczone i kupione

[26] Amazon, http://www.amazon.com/b?node=8037720011 (3.01.2015).

[27] CNN, http://www.cnn.com/2013/12/02/tech/innovation/amazon-drones-questions/ (3.01.2015).

[28] RobotShop, http://www.robotshop.com/blog/en/amazon-made-history-first-prime-air-drone-delivery-19767 (26.03.2017).

[29] N. Subbaraman, *Domino's 'DomiCopter' Drone Can Deliver Two Large Pepperonis*, NBCNews, http://www.nbcnews.com/tech/innovation/dominos-domicopter-drone-can-deliver-two-large-pepperonis-f6C10182466 (5.01.2015).

[30] *To ptak? To samolot? Nie, to tylko dron dostarczający pizzę*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2014/06/to-ptak-to-samolot-nie-to-tylko-dron-dostarczajacy-pizze (25.06.2014).

książki za pomocą drona. Książki będą opuszczane na linie, a proces ten będzie mógł uruchomić jedynie adresat (po autoryzacji) za pomocą specjalnej aplikacji mobilnej – tej samej, która służy do zamówienia podręcznika. Czas realizacji dostawy ma wynosić jedynie 2–3 minuty, a koszt dostarczenia książki ma być nawet 10-krotnie niższy w porównaniu z dotychczasową metodą[31].

Od tego już tylko krok do wykorzystania drona w roli kelnera. Na taki pomysł wpadła firma Infinium Robotics, której drony mają dostarczać jedzenie do stolików w singapurskich restauracjach (w Singapurze brakuje kelnerów). Klienci mają wybierać dania z panelu zainstalowanego przy stoliku. Jeśli waga zamówienia nie przekroczy 2 kg, będzie mogło być dostarczone w całości podczas przelotu jednego drona. Nie oznacza to, że kelnerzy stracą pracę. Będą zaangażowani przy podawaniu gościom dań dostarczonych przez maszynę[32].

Chińska firma Taobao, właściciel internetowego sklepu Alibaba, chce zaoferować klientom błyskawiczne dostawy herbaty, na którą nie będą musieli czekać dłużej niż 30 min. Na razie odbyły się testy tej usługi w trzech chińskich metropoliach: Pekinie, Szanghaju i Kantonie[33].

Spore są także możliwości zastosowania dronów w obszarze transportu, lecz nie w roli środków transportu wykorzystywanych do przemieszczania osób i rzeczy. Sprowadzają się one do:

- kontroli zewnętrznego stanu technicznego środków transportu, np. samolotów;
- dostarczania danych dotyczących sytuacji na drogach, np. o długości zatorów, zdarzeniach i wypadkach, stanie nawierzchni.

Inspekcję wizyjną górnej części poszycia samolotu wykonywaną przez drona w 2016 roku pokazał Airbus podczas imprezy Airshow w brytyjskim Farnborough. Dron wyposażony był w kamerę wysokiej rozdzielczości. Zapisane zdjęcia następnie były składane w cyfrowy model 3D, który poddawano analizie komputerowej[34]. Taka inspekcja trwa 10–15 minut zamiast dotychczasowych dwóch godzin, a jej dokładność (detekcja najdrobniejszych uszkodzeń) może znacząco podnieść zarówno jakość wykonania statków powietrznych (percepcja firmy Airbus jako producenta), jak i bezpieczeństwo lotów (przy jej zastosowaniu na lotniskach). Przy okazji nie potrzeba angażować do tego ciężkiego sprzętu: wysięgników i podnośników. Drony z pewnością znalazłyby też zastosowanie przy kontroli poziomu ubytków w transporcie,

[31] C. Shu, *Australian Startups Zookal and Flirtey to Begin Delivering Textbook Orders by Drone*, TechCrunch, https://techcrunch.com/2013/10/14/australian-startups-zookal-and-flirtey-to-begin-delivering-textbook-orders-by-drone/ (28.11.2013).

[32] *Drony w roli kelnerów*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2015/02/drony-w-roli-kelnerow-wideo-1 (10.02.2015).

[33] J. Fingas, *Drones Are Delivering Tea in China*, Engadget, https://www.engadget.com/2015/02/04/taobao-delivery-drones/ (18.04.2015).

[34] *Airbus Demonstrates Aircraft Inspection by Drone at Farnborough*, Airbus, http://www.airbus.com/presscentre/pressreleases/press-release-detail/detail/airbus-demonstrates-aircraft-inspection-by-drone-at-farnborough-innovation-and-digitalisation-for-production-ramp-up/ (7.12.2016).

zwłaszcza drogowym i kolejowym. Kontrolę taką można byłoby przeprowadzać podczas wykonywania przewozu, nie tylko na postoju. Na podobnej zasadzie można by kontrolować przewozy ładunków niebezpiecznych (ubytki szkodliwe dla otoczenia) oraz wartościowych (ubytki spowodowane zamierzonym działaniem człowieka). Kilka lat temu nowatorski pomysł przedstawił producent samochodów – firma Renault. Koncepcyjny model kompaktowego samochodu typu SUV o nazwie Kwid, pokazany podczas salonu w New Delhi w 2014 roku, był wyposażony w zdalnie sterowanego drona, kwadrokoptera, który chowany był w tylnej części dachu pojazdu. Dron na życzenie kierowcy startuje, aby zdać raport z sytuacji, jaka jest na drodze przed poruszającym się pojazdem[35]. Zebrane przez dron dane mogą trafić bezpośrednio do systemu nawigacji pokładowej, aby na bieżąco modyfikować trasę przejazdu z uniknięciem zagrożeń czy zatorów drogowych. Podobne rozwiązanie zastosowano w amerykańskich helikopterach Apache AH-64E. Nazwano je MUM-T (ang. *Manned-Unmanned Teaming*). W tym rozwiązaniu drony odgrywają rolę skrzydłowych śmigłowca, które mogą być od niego oddalone o 100 km i przekazywać pilotowi informacje dotyczące misji bojowej, takie jak: lokalizacja celu, prędkość jego przemieszczania się czy dane na temat aktualnych warunków bojowych. Śmigłowiec współpracuje z dwoma rodzajami dronów: Army Shadow oraz Grey Eagle[36].

Drony wykorzystywane są w ochronie mienia, która w szczególności może dotyczyć transportu – środków oraz przewożonych ładunków, infrastruktury, zwłaszcza punktów przeładunkowych, terminali, centrów dystrybucyjnych i logistycznych, portów morskich oraz kolejowych stacji rozrządowych. W tego typu miejscach często dochodzi do kradzieży ładunków, zwłaszcza paliw i węgla, a przy okazji do uszkodzenia środków transportu czy elementów infrastruktury. Polski przewoźnik PKP Cargo wykorzystuje polskiego drona o nazwie Bielik do nadzoru nad bezpieczeństwem ładunków, głównie paliw stałych, na stacjach kolejowych. Staje się on obecnie podstawowym narzędziem Straży Ochrony Kolei. Jak twierdzą przedstawiciele PKP Cargo, dzięki wykorzystaniu tego narzędzia w 2016 roku o 46% zmniejszyły się kradzieże ładunków[37].

Drony można także wykorzystywać w roli robotów manipulacyjnych w zakresie intralogistyki. Mogą one dokonywać kompletacji, przygotować towar do wysyłki, pakować, formować ładunki paletowe. Są przydatne także w obszarze produkcji, gdzie mogą usprawnić różnego rodzaju prace za- i wyładunkowe związane z przygotowaniem stanowiska pracy i załadunkiem detali na stanowiska obróbkowe. Ze względu na ograniczenie masy ładunku, który może przenosić dron, jego praca w tym zakresie ogranicza się do niewielkich modułów, lekkich części i detali zgrupowanych w pakiety, a także towarów w opakowaniach konsumenckich. Taka automatyzacja przekłada się na zwiększenie elastyczności procesów, których organizację można na

[35] *Renault z dronem w pakiecie*, „Puls Biznesu", 12 lutego 2014 r., s. 20.

[36] K. Osborn, *Real-Time Drone Video is Beamed into Apache Helicopter Cockpits*, Scout, http://www.scout.com/military/warrior/story/1675265-army-apache-attack-helicopters-control-drones (20.03.2017).

[37] *Bielik pilnuje pociągów*, „Puls Biznesu", 7 marca 2017 r., s. 2.

bieżąco zmieniać i to przy ekstremalnie niskim koszcie i bez przestojów. Można płynnie zmieniać algorytm, według którego pracują takie maszyny, a tym samym na bieżąco dostosowywać do potrzeb sposób wykonywania przez nie czynności, sekwencję działań, szybkość operowania, osiągając wyniki zgodnie z przyjętym kryterium sterowania. Możliwości w tym zakresie zależą od zastosowanego oprogramowania sterującego. Taki system można także płynnie skalować, dołączając do niego kolejne drony – oznacza to zwiększanie jego mocy przerobowych. Rozwiązania tego typu jeszcze się nie upowszechniły, na razie mamy do czynienia raczej z pionierskimi instalacjami testowymi. Jedno z takich rozwiązań opracowała i testuje holenderska firma Qimarox – dostawca rozwiązań w zakresie gospodarki magazynowej.

Innym, znacznie prostszym operacyjnie zastosowaniem dronów w procesach intralogistyki jest ich wykorzystanie do inwentaryzacji. Proponuje się wykorzystanie tagów RFID (np. na poziomie jednostek ładunkowych, co już dzisiaj staje się popularne). Dane z nich byłyby zbierane automatycznie przez drony wyposażone w czytniki, które podczas zaprogramowanego przelotu (np. inwentaryzacja części zapasów) przekazywałyby informacje wprost do systemu WMS (ang. *Warehouse Management System*)[38]. Rozwiązanie takie sprawdziłoby się zwłaszcza na rozległych składowiskach, a mając na uwadze prędkość drona i zdolność szybkiego odczytywania tagów przez współczesne czytniki, można sobie wyobrazić efektywność takiego rozwiązania. Dlatego zespoły inżynierskie firm GEODIS i Delta Drone wspólnie rozwijają rozwiązania w zakresie zautomatyzowanej inwentaryzacji w magazynach z wykorzystaniem dronów, budując prototypy urządzeń i przeprowadzając ich testy, z których pierwszy odbył się w 2016 roku w magazynie GEODIS pod Paryżem. System zbudowany na bazie kwadrokopterów wyposażonych w kamery wysokiej rozdzielczości i technologię geolokalizacji może działać autonomicznie w godzinach zamknięcia magazynu[39].

2.2. Zastosowanie dronów w innych wybranych sektorach

Jednym z kluczowych motorów rozwoju zastosowań dronów stało się obecnie budownictwo i inspekcja budowlana (ang. *construction & inspection*). Według wyliczeń PwC wartość pracy ludzkiej, jaką można w tym sektorze zastąpić pracą dronów, szacowana jest na ponad 38 mld USD[40]. W budownictwie drony mogą być z powodzeniem wykorzystywane na wszystkich etapach inwestycji: od planowania budowy aż po eksploatację i zarządzanie nieruchomością (ang. *facility management*). Oprócz automatyzacji wstępnych prac – takich jak wizualizacje terenu, mapy numeryczne

[38] P. Ślaski, T.R. Waśniewski, *Zastosowanie dronów do inwentaryzacji magazynów otwartych wielkopowierzchniowych*, w: Z. Kurasiński, M. Pawlisiak (red.), *Logistyka w XXI wieku – wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź–Warszawa 2016, s. 199–210.

[39] *GEODIS i Delta Drone łączą siły, rozwijając wyjątkowe rozwiązanie do inwentaryzacji w magazynach z wykorzystaniem dronów*, Geodis, http://www.geodis.pl/geodis-and-delta-drone-join-forces-to-develop-a-unique-solution-for-warehouse-inventory-using-drones-@/pl/view-12441-article.html/5196 (1.04.2017).

[40] C. Dillow, *The Construction Industry Is in Love with Drones*, Fortune, http://fortune.com/2016/09/13/commercial-drone-construction-industry/ (22.03.2017).

(np. ortofotomapy) i pomiary pozwalające ocenić lokalizację i możliwości posadowienia konkretnej budowli, monitorowanie i rejestracja postępów prac – drony pozwalają szybko przeprowadzić pomiary budynku, stworzyć cyfrowy model budynku, przeprowadzić inspekcję struktury, identyfikację obiektów umieszczonych na dachu i elewacji, badanie integralności instalacji zewnętrznych itp. Mogą być także dobrym uzupełnieniem systemu monitoringu, pozwalając identyfikować niebezpieczeństwo z nowej perspektywy obserwacyjnej. Należy dodać, że te czynności wykonywane przez drony oznaczają możliwość pracy w warunkach niesprzyjających bądź niebezpiecznych dla ludzi, np.: w dużym zapyleniu, przy niesprzyjających warunkach atmosferycznych, w wąskich przestrzeniach, na dużych wysokościach.

Ponadto za pomocą dronów łatwiej jest wykonać wizualizacje inwestycji z lotu ptaka (ang. *overhead viewing*), do których do tej pory wykorzystywane były śmigłowce, albo w ogóle staje się to możliwe z niskiego pułapu (szczegółowość oględzin przy tej samej rozdzielczości urządzeń rejestrujących) przy ograniczeniach dla śmigłowców wynikających z gęstej zabudowy wysokościowej. Możliwe stają się także kreacje architektoniczne, tworzenie form o innowacyjnym charakterze, których późniejsza obsługa eksploatacyjna uniemożliwia wykorzystanie ludzi. W Polsce już od 2014 roku firma Sodexo wykorzystuje drony SDX, które w sensie technicznym są heksakopterami, z ramą wykonaną z włókna węglowego i rurek z tkaniny węglowej. Dzięki temu dron ma masę tylko nieco ponad 500 g i może odbijać się od ścian czy elementów konstrukcji budowlanych bez ryzyka większej awarii. Zasięg drona wynosi 1000 m, a czas pracy na jednym akumulatorze to 12 minut[41]. Polski oddział tej firmy był pierwszym, który zaoferował usługi wykonywane dronami. Firma wykonuje dokumentację fotograficzną i wideo budów, przeprowadza inspekcję i ocenę techniczną wysokich budynków, w tym rejestracje strat cieplnych budynków (wyposażenie drona w kamerę termowizyjną). To wszystko odbywa się przy wyraźnie niższym koszcie i krótszym czasie wykonania tych czynności (nie ma potrzeby stosowania ciężkiego sprzętu, podnośników). Drony potrafią także budować. Na obecnym poziomie rozwoju zakres tych prac jest raczej ograniczony, jednak naukowcy z Instytutu Dynamicznych Systemów i Kontroli z Zurychu opracowali system budowy mostu linowego przez drony w sposób zupełnie autonomiczny. Wystarczyła do tego flota trzech dronów, z których każdy miał zamontowaną szpulę z liną. W efekcie ze 120 m liny powstało 9 segmentów mostu o długości 7,4 m, który wytrzymuje obciążenie dorosłego człowieka[42].

Rośnie zainteresowanie wykorzystaniem dronów w służbie bezpieczeństwa publicznego, zwłaszcza przez osoby dokonujące działań w ramach pierwszej interwencji (ang. *first responder operations*). Kiedy wysłanie człowieka w rejon katastrof, pożaru, zawaliska wiąże się ze zbyt dużym ryzykiem, a wysłanie ciężkiego pojazdu gąsienicowego nie jest możliwe, dobrym rozwiązaniem jest wykorzystanie drona. Jesienią 2016 roku strażacy z Nowego Jorku rozpoczęli testy wartego 85 tys. USD drona wy-

[41] K. Pielesiek, *Dron Sodexo lata nad Polską*, Computerworld, http://www.computerworld.pl/news/399200/Dron-Sodexo-lata-nad-Polska.html (18.03.2017).

[42] *Drony samodzielnie budujące most linowy*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2015/09/drony-samodzielnie-budujace-most-linowy-wideo (22.01.2017).

posażonego w niezwykle czułe kamery o wysokiej rozdzielczości (działające także w podczerwieni), który ma za zadanie znajdywać ludzi uwięzionych w pożarach[43]. Z kolei w Boise, w stanie Idaho, strażacy testują drony mogące zrzucać wodę w rejonie pożaru[44], co wskazuje na wszechstronność tej technologii w służbie straży pożarnej. Dron o nazwie Ryptide (zbudowany na bazie amatorskiego DJI Phantom) ma za zadanie wspomagać ratowników pracujących na plaży czy przy basenie. Ratownik za pomocą kamery zamontowanej na dronie lokalizuje osobę tonącą, a następnie, naciskając przycisk na sterowniku, zrzuca jej niewielkie koło ratunkowe, które również automatycznie się nadmuchuje. Lekkie koło eliminuje ryzyko uderzenia tonącego, które mogłoby pogorszyć sytuację[45].

Dodatkowo drony ratownicze można wyposażyć w głośnik, przez który ratownik będzie mógł zdalnie wydawać instrukcje tonącemu. Jeśli ktoś się topi, liczy się każda sekunda. Dron pracujący przy akwenie będzie zawsze szybszy od człowieka, bo nawet olimpijczycy nie pływają szybciej niż 10 km/h. O ratunkowym zastosowaniu dronów słyszymy coraz więcej. Niewykluczone jest, że drony staną się standardowym wyposażeniem zespołów ratunkowych w niedługim czasie. Pracownicy ochrony także otrzymują świetne narzędzia w postaci dronów. Jedno z nich opracowała japońska firma Secom. Ich dron przeznaczony jest dla budynków przemysłowych i użyteczności publicznej. Tradycyjne systemy monitoringu po wykryciu podejrzanej aktywności przekazują sygnał uruchamiający drona, który samodzielnie namierzy podejrzanych i będzie ich śledził do granic obiektu. Dron samodzielnie będzie także dokumentował całą akcję (film + zdjęcia), gromadząc materiał dowodowy[46]. Centrum monitoringu może także ingerować w całą akcję i np. dodatkowo zlecić wykonanie zbliżeń twarzy osobników lub zbliżeń numerów rejestracyjnych pojazdu, którym przyjechali.

Służba bezpieczeństwa to oczywiście także policja, która zaczęła dostrzegać potencjał tego rozwiązania. Departament policji w Lucknow w Indiach zakupił drony wyposażone w gaz pieprzowy (ładunek o masie 1,9 kg), które mogą być wykorzystane do zapanowania nad tłumem podczas zamieszek. Wcześniej już policja w tym mieście używała dronów do patrolowania ulic podczas uroczystości religijnych[47]. W Londynie, gdzie prawdziwą plagą są kradzieże dokonywane przez złodziei na motorach, policja wykorzystuje drony do ich ścigania. W godzinach szczytu pościg radiowozem

[43] *Drony pomogą strażakom z Nowego Jorku*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2016/09/drony-pomoga-strazakom-z-nowego-jorku (12.09.2016).

[44] *Tamże.*

[45] Ł. Michalik, *Project Riptide – jeden z lepszych pomysłów na wykorzystanie drona, jakie widziałem*, Gadżetomania, http://gadzetomania.pl/56760,project-ryptide-jeden-z-lepszych-pomyslow-na-wykorzystanie-drona-jakie-widzialem (8.03.2015).

[46] Ch. Macdonald, *The Drone That Will Chase Thieves: Security UAV Will Follow Invaders to Make Sure They Are on Camera*, Daily Mail, http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3359624/Drones-CHASE-thieves-Security-UAV-follow-invaders-make-sure-camera.html (22.12.2015).

[47] *Policja inwestuje w drony z gazem pieprzowym*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2015/04/policja-inwestuje-w-drony-z-gazem-pieprzowym (10.04.2015).

za złodziejem na motorze jest skazany na niepowodzenie[48]. Również polska policja zaczyna interesować się technologią dronów. Dowodem na to są testy przeprowadzone przez Wydział Ruchu Drogowego Komendy Wojewódzkiej Policji w Katowicach. Wykorzystany dron został zaprojektowany przez pracowników Politechniki Śląskiej. Testy odbywały się w okolicach przejść dla pieszych w Katowicach. Rejestrowane były zachowania uczestników ruchu drogowego oraz pieszych. Obraz rejestrowany przez drona trafiał do laptopa patrolu policyjnego, który zlokalizowany był opodal i w razie konieczności wkraczał do akcji[49]. Ze względu na wciąż dużą liczbę wypadków drogowych w Polsce, zwłaszcza na przejściach dla pieszych, drony w polskiej policji mają duży potencjał aplikacyjny, nie wspominając już np. o zabezpieczaniu imprez masowych.

Drony w służbie bezpieczeństwa mogą służyć do przechwytywania i zakłócania sygnału radiowego. Na taki pomysł wpadły władze chińskich szkół ponadgimnazjalnych, których uczniowie wykazują się wielką pomysłowością w ściąganiu podczas egzaminów. Wykorzystują przy tym technologie mobilne. Drony (pracujące na zewnątrz budynku) wykrywają podejrzane sygnały radiowe przekazywane z zewnątrz do sali egzaminacyjnej oraz sygnały wysyłane z sali na zewnątrz[50]. Paradoksalnie drony mogą służyć także do łapania dronów. Temat staje się obecnie niezwykle aktualny, gdyż sporo anonimowych dronów pojawia się w przestrzeni publicznej – nad budynkami państwowymi, obiektami przemysłowymi, ważnymi elementami infrastruktury czy zabytkowymi budynkami. Takie loty wzbudzają podejrzenia i obawy o bezpieczeństwo. Dlatego buduje się drony pozwalające namierzać podejrzane urządzenia, lokalizować osoby je pilotujące (zaczęto stosować je we Francji[51]) ale buduje się także urządzenia działające w sposób bardziej zdecydowany – potrafiące natychmiast przechwycić niechcianego drona i sprowadzić na ziemię. Odbywa się to za pomocą specjalnej, rozwijanej automatycznie siatki. Takie drony zostały wprowadzone przez stołeczną policję w Tokio[52].

Drony oferują potencjał w zakresie propagacji sygnału radiowego dla świadczenia dowolnego rodzaju bezprzewodowych usług przesyłu dźwięku, obrazu czy danych. W takiej funkcji mogą uzupełniać braki w zakresie telekomunikacyjnej infrastruktury naziemnej na danym terenie. Internetowy gigant Google w 2016 roku rozpoczął projekt pod nazwą SkyBender, którego celem jest bezprzewodowe udostępnianie in-

[48] *Londyńska policja wykorzysta drony do ścigania przestępców na motorach*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2016/07/londynska-policja-wykorzysta-drony-do-scigania-przestepcow-na-motorach-1 (7.07.2016).

[49] *Polska policja zaczyna testować drony*, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2016/05/polska-policja-zaczyna-testowac-drony (7.05.2016).

[50] *Drony zapobiegają ściąganiu*, „Puls Biznesu", 10 czerwca 2015 r., s. 24.

[51] *Neutralization of Malicious Drones: ECA Group Is Innovating and Validates a Unique Technology to Locate Drone Operators*, ECA Group, http://www.ecagroup.com/en/financial/neutralization-malicious-drones-eca-group-innovating-and-validates-unique-technology (21.05.2015).

[52] R. Williams, *Tokyo Police Are Using Drones with Nets to Catch Other Drones*, The Telegraph, http://www.telegraph.co.uk/technology/2016/01/21/tokyo-police-are-using-drones-with-nets-to-catch-other-drones/ (7.02.2016).

ternetu za pomocą dronów zasilanych energią słoneczną. Drony mają zamontowane najnowsze nadajniki, które mają być podstawą budowy sieci 5G. Obecnie trwają testy na terenie portu kosmicznego w Nowym Meksyku, a inżynierowie zajmują się usprawnianiem technologii fal milimetrowych wysyłanych z dronów, które ulegają szybkiemu rozproszeniu w powietrzu[53].

W ostatnim czasie obserwować możemy rozwój osobistych dronów – małych, lekkich, składanych. Tego typu urządzenia mieszczą się swobodnie w kieszeni kurtki. Można więc wyposażyć w nie osoby pracujące w terenie (ang. *field service*). Choć są to urządzenia o stosunkowo słabych parametrach lotu, pole ich zastosowań jest bardzo szerokie. Podstawą rozmaitych aplikacji jest ocena otoczenia dokonywana z powietrza przez pracownika terenowego dysponującego takim dronem oraz dowolnym urządzeniem mobilnym, na którym może obserwować obraz. Dzięki takiej możliwości ratownik może szybko ocenić stopień zniszczeń w rejonie klęski żywiołowej oraz szukać osób, które przeżyły. Pracownik serwisu może szybciej lokalizować usterkę dźwigu, windy, kolei linowej etc. Leśnik może użyć drona do opisu stanu zdrowotnego lasu i wykonania szczegółowych zdjęć wyrządzonych szkód, do planowania nowych nasadzeń na danej powierzchni, do liczenia owadów metodą powierzchni próbnych, do oceny drzewostanu przeznaczonego do wycięcia, planowania powierzchni wycinki oraz obliczania ilości pozyskanego drewna (szacunek brakarski). Takie miniaturowe, składane drony mogą służyć także ogółowi społeczeństwa jako produkt elektroniki konsumenckiej przeznaczony do robienia sobie *selfie*[54] zamiast powszechnie obecnie stosowanych kijków (ang. *selfie stick*). Już w 2014 roku rozpoczęła się kampania zbierania funduszy na serwisie crowdfundingowym Kickstarter na rzecz rozpoczęcia produkcji składanego drona Anura, którego obudowę oraz elementy konstrukcyjne można wydrukować na drukarce 3D i który po złożeniu ma wymiary zbliżone do smartfona[55]. Jednak do tego celu najlepiej nadają się drony wyposażone w funkcję podążania za użytkownikiem. Takie urządzenie zostało opracowane przez chiński startup Zero Zero Robotics. Urządzenie nazywa się Hover Camera i ma masę 238 gramów, a po złożeniu zajmuje tyle miejsca ile kaseta VHS. Wyposażone jest w kamerę, która może nagrywać filmy w rozdzielczości 4K[56].

Drony coraz częściej znajdują zastosowanie w meteorologii i nie chodzi tu tylko o zbieranie różnego rodzaju danych pogodowych, ale raczej o kontrolowanie warunków atmosferycznych poprzez stosowanie metody zwanej zasiewaniem chmur (ang. *cloud-seeding*). Rozpylanie substancji służących jako jądra kondensacji lub zarodki krystalizacji powoduje zmiany w procesach, jakie odbywają się wewnątrz chmury. W ten sposób można zwiększać opady (np. deszczu na obszarach dotkniętych suszą)

[53] *Project SkyBender: Google's secretive 5G internat drone tests revealed*, The Guardian, https://www.theguardian.com/technology/2016/jan/29/project-skybender-google-drone-tests-internet-space-port-virgin-galactic (2.02.2016).

[54] Fotografia autoportretowa wykonywana za pomocą aparatu cyfrowego trzymanego w ręku.

[55] A. Amato, *Anura, the Drone That Fits in Your Pocket, Launches Kickstarter Campaign*, Drone Life, http://dronelife.com/2014/10/21/anura-drone-fits-pocket-launches-kickstarter-campaign/ (7.11.2014).

[56] Hover Camera, https://gethover.com/shop/product/hover-camera (23.03.2017).

lub je ograniczać (np. mgłę na lotniskach). Do zasiewania chmur idealnie nadają się właśnie drony, za pomocą których można z wielką precyzją wykonać tę operację, na dużym obszarze (flota dronów, którymi można operować poza zasięgiem wzroku – BVLOS[57]) i do tego w ekstremalnie trudnych warunkach atmosferycznych. Meteorolodzy z Desert Research Institute wraz z Drone America Savant opracowali stałoskrzydłowego drona i wyposażyli go w cały potrzebny do tej operacji sprzęt. Podczas pokazu w Nevadzie dron wzbił się na wysokość ponad 450 m i wykonał godzinny lot o długości niemal 52 km[58].

3. Perspektywy rozwojowe

W ocenie perspektyw rozwojowych rynku dronów należy wziąć pod uwagę zarówno przedstawione wcześniej bardzo szerokie możliwości wykorzystania tych urządzeń stymulowane dodatkowo rozwojem technologicznym – w zakresie możliwości i atrybutów samych dronów, ale także urządzeń na nich montowanych – jak i pewne ograniczenia związane z rosnącą popularnością tych urządzeń i kwestiami zapewnienia bezpieczeństwa. Z pewnością nie będzie możliwe, aby każdy zainteresowany mógł używać dronów do wykonywania różnych działań w sposób nieograniczony. To rodziłoby ogromne ryzyko kolizji, powodowało brak swobody operowania dronem, a także obawy o bezpieczeństwo osób postronnych oraz zagrożenia natury estetycznej. Dlatego podejmuje się obecnie wiele wysiłków legislacyjnych, mających na celu uporządkowanie ruchu dronów na niebie, a to wiąże się z wieloma ograniczeniami i restrykcjami[59].

Niebezpieczne są kolizje dronów z innymi dronami, kolizje dronów z ptakami oraz kolizje dronów z budynkami i budowlami. Nie chodzi tu o uszkodzenia samych dronów, ale o to, że w efekcie spadające części urządzenia, akcesoria czy ładunek przemieszczany przez drona, a także upadek samego drona mogą być bardzo niebezpieczne dla osób znajdujących się na ziemi. Uszkodzeniu mogą ulec też znajdujące się na dole budynki, budowle, pojazdy itp. Te niebezpieczeństwa dotyczą zwłaszcza obszarów zurbanizowanych, gdzie szczególnie popularne jest operowanie dronami przenoszącymi ładunki. Najbardziej niebezpieczne może być zderzenie drona z innym statkiem powietrznym – samolotem lub śmigłowcem. Polskie, amerykańskie i brytyjskie prawo jest mało restrykcyjne, więcej restrykcji znajduje się w prawie francuskim, bardzo restrykcyjne w tym zakresie jest prawo niemieckie. Rozwiązania legislacyjne w Unii Europejskiej są niespójne. Wyposażenie dronów w urządzenia rejestrujące obraz i dźwięk rodzi dodatkowe obawy o inwigilację osób, a więc uszanowanie prywatności (podglądanie i podsłuchiwanie), ochronę wizerunku czy da-

[57] Ang. *Beyond Visual Line of Sight*.

[58] *DRI Unmanned Cloud-seeding Realizes Beyond Visual Line of Sight*, Desert Research Institute, https://www.dri.edu/newsroom/news-releases/5469-dri-unmanned-cloud-seeding-realizes-beyond-visual-line-of-sight (9.04.2017).

[59] Zob. H. Igliński, M. Szymczak, *Rola bezzałogowych statków powietrznych w funkcjonowaniu zwinnych łańcuchów dostaw*, Studia Oeconomica Posnaniensia, Vol. 3, No. 6, 2015, s. 139–164.

nych osobowych, a także obawy o ochronę informacji o budynkach i rzeczach, jakie posiadają. Obawy budzi również możliwość fotografowania budynków, budowli (np. istotnych dla obronności) czy umieszczonych w przestrzeni publicznej utworów (np. rzeźb) objętych zakazem fotografowania, a także możliwość filmowania działań różnego rodzaju służb mundurowych czy podsłuchiwania ważnych osób w państwie. Te obawy dotyczą bezpieczeństwa państwa.

Znaczne przyspieszenie prac nad harmonizacją prawa dotyczące wykorzystywania dronów w Unii Europejskiej zapowiada przyjęta 24 listopada 2016 roku w Warszawie *Deklaracja Warszawska dotycząca bezzałogowych statków powietrznych*. Opracowanie dokumentu było zwieńczeniem międzynarodowej konferencji poświęconej tej tematyce. Zawiera on listę konkretnych działań, które mają na celu stworzenie jednolitego rynku bezzałogowych statków powietrznych do 2019 roku[60]. Deklaracja podejmuje również kwestię zasad ruchu bezzałogowców w nowo zdefiniowanej przestrzeni powietrznej dla miast – U-Space, która korzysta z wzorców amerykańskich – i jej zintegrowania z ruchem miejskim. Rada i Parlament Europejski planują zakończenie prac w tym zakresie do połowy 2017 roku[61]. Takie wsparcie, obejmujące wszystkie kraje Unii, jest absolutnie konieczne dla rozwoju rynku dronów i zagwarantowania bezpieczeństwa, prywatności i ochrony środowiska. Tego typu działania zyskują na znaczeniu w obliczu wielkiego potencjału rynku dronów i jego dotychczasowej ogromnej dynamiki rozwoju. Według szacunków BI Intelligence globalny rynek dronów w 2016 roku był warty prawie 10 mld USD. W 2024 roku jego wartość ma przekroczyć 12 mld USD, przy czym przytłaczająca większość (ponad trzykrotna) dotyczy sektora obronnego[62]. Dostawy konsumenckich urządzeń wzrosną ponad czterokrotnie do 2021 roku, przy czym wyraźnie obniżać się będą ich ceny. Jednocześnie analitycy spodziewają się, że wzrost sektora biznesowego przewyższy wzrost sektora konsumenckiego, jak tylko przyjęte będą stosowne regulacje prawne w Stanach Zjednoczonych oraz Unii Europejskiej[63]. Rynek komercyjnych usług świadczonych za pomocą dronów w skali globalnej w 2016 roku szacowano na 2 mld USD. PricewaterhouseCoopers przewiduje, że wzrośnie on do 2020 roku do 127 mld USD[64].

---

[60] *Deklaracja Warszawska dotycząca bezzałogowych statków powietrznych* przyjęta na zakończenie konferencji *Drony jako źródło nowych miejsc pracy i wzrostu gospodarczego*, Urząd Lotnictwa Cywilnego, http://ulc.gov.pl/pl/publikacje/wiadomosci/4097-deklaracja-warszawska-dotyczaca-bezzalogowych-statkow-powietrznych-przyjeta-na-zakonczenie-konferencji-drony-jako-zrodlo-nowych-miejsc-pracy-i-wzrostu-gospodarczego (6.12.2016).

[61] B. Carey, *Europe Advances Small Drone Regulations, 'U-Space' System*, AIN Publications, http://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2017-01-13/europe-advances-small-drone-regulations-u-space-system (23.01.2017).

[62] *The Drones Report: Market Forecasts, Regulatory Barriers, Top Vendors, and Leading Commercial Applications*, Business Insider, http://www.businessinsider.com/uav-or-commercial-drone-market-forecast-2015-2?IR=T (2.08.2016).

[63] *Tamże.*

[64] W. Moskwa, *World Drone Market Seen Nearing $127 Billion in 2020, PwC Says*, Bloomberg, https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-05-09/world-drone-market-seen-nearing-127-billion-in-2020-pwc-says (20.07.2016).

Loty komercyjne dronami (inne niż rekreacyjne i sportowe) można wykonywać, posiadając świadectwo kwalifikacji operatora – UAVO (ang. *Unmanned Aerial Vehicle Operator*). Świadectwo takie wydawane jest po odbyciu specjalistycznego szkolenia w certyfikowanym ośrodku i zdaniu egzaminu składającego się z części teoretycznej oraz praktycznej. Wydaje je odpowiedni organ administracji właściwy w sprawach lotnictwa cywilnego, który także opracowuje program szkolenia – w Polsce jest to Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC). Uprawnienia operatorskie można uzyskać w zakresie dwóch podstawowych sposobów wykonywania lotów: w zasięgu wzroku – VLOS (ang. *Visual Line of Sight*) oraz zarówno w zasięgu, jak i poza zasięgiem wzroku – BVLOS (ang. *Beyond Visual Line of Sight*)[65]. Jednocześnie oba sposoby wykonywania lotów wyznaczają dwie ścieżki rozwoju rynku dronów, które uwarunkowane są technologicznie. Operowanie dronem w modelu VLOS oznacza niemożność wykonywania lotów w chmurach czy we mgle, a także za wzniesieniem, za drzewami czy jakąkolwiek inną przeszkodą, która choćby częściowo przysłaniała widok drona. Wykonywanie operacji w zasięgu wzroku wyklucza stosowanie jakichkolwiek urządzeń optycznych do obserwacji drona, jak lornetki czy lunety. W niektórych systemach prawnych loty w modelu VLOS zostały ograniczone do konkretnej wysokości nad ziemią i konkretnej odległości od operatora (w Europie jest to zwykle odpowiednio 400 stóp i 500 m). Ale należy wziąć tu pod uwagę wielkość samego drona. Im będzie on mniejszy, tym szybciej zniknie z pola widzenia. Nie bez znaczenia są także jego barwa i zamontowane oświetlenie.

Operowanie dronem w modelu BVLOS oznacza duże wymagania w zakresie samej technologii drona, który musi mieć cechy autonomicznego środka transportu, zwłaszcza zdolność unikania kolizji (ang. *detect & avoid*), ale także w zakresie infrastruktury telekomunikacyjnej, która pozwoli zdalnie operować statkiem powietrznym czy też kontrolować jego ruch. Taki model sterowania oznacza w praktyce umieszczenie operatora w centrum sterowania, które utrzymuje stałą łączność z dronem. Operator może operować dronem pozornie w formule VLOS, jeśli zapewni mu się przekazywany w czasie rzeczywistym obraz z kamery zamontowanej na dronie w postaci widoku z kokpitu statku powietrznego – FPV (ang. *First Person View*). Wymaga to znacznie większych nakładów niż operowanie w modelu VLOS. Ponadto, operowanie dronem w formule BVLOS nakłada wysokie wymagania w zakresie koordynacji lotów poza zarezerwowaną lub wydzieloną przestrzenią powietrzną (ang. *reserved or segregated airspace*), w celu zapewnienia bezpieczeństwa wszystkim statkom powietrznym. Biorąc to pod uwagę, można więc zakładać znacznie szybsze upowszechnienie się komercyjnych lotów VLOS niż BVLOS w najbliższym czasie. Jednak za kilkanaście, dwadzieścia lat obie formy operowania dronami mogą być równie popularne, ale zależy to przede wszystkim od atrakcyjności celów, jakim podporządkowane będą loty tych statków powietrznych, i wykonywanych przez nie zadań.

[65] Wyróżnia się jeszcze metodę EVLOS (ang. *Extended Visual Line of Sight*), polegającą na wykorzystaniu pomocy jednego lub wielu obserwatorów, którzy mają drona w zasięgu swojego wzroku i przekazują drogą radiową niezbędne do sterowania nim informacje operatorowi.

W Polsce w 2013 roku było zarejestrowanych sześciu operatorów bezzałogowych statków powietrznych, a pod koniec 2016 roku – już ponad 3,5 tys.[66]. Według raportu obejmującego dane z 2016 roku wartość rynku dronów w Polsce szacuje się na 201,3 mln PLN, przy czym dominującą działalnością jest handel (55%), następnie usługi (33%) i produkcja (12%)[67]. Najwięcej firm, dla których drony są podstawowym narzędziem działalności gospodarczej, zlokalizowanych jest w województwach: mazowieckim, śląskim, wielkopolskim i pomorskim[68]. Duży wzrost w stosunku do roku poprzedniego odnotowały usługi, co wskazuje na znaczne zwiększenie skali (coraz bardziej popularne filmowanie wydarzeń z powietrza) oraz poszerzenie oferty świadczonych dronami usług (np. w obsłudze inwestycji), co związane jest z omówionymi wyżej coraz szerszymi możliwościami ich stosowania. Ze względu na wysoki koszt profesjonalnego sprzętu na obecnym etapie rozwoju technologicznego, usługi dronami podlegają zlecaniu na zewnątrz. Spadła natomiast krajowa produkcja dronów, co wynika głównie z braku zamówień ze strony naszych służb mundurowych. Wraz z rynkiem dronów rozwija się komplementarny rynek szkoleń operatorów bezzałogowych statków powietrznych w Polsce, na którym działa 46 certyfikowanych ośrodków szkoleniowych, a który szacuje się na 13,8 mln PLN[69].

Podsumowanie

Bezzałogowe statki powietrzne zyskują bardzo szybko zainteresowanie wszystkich grup odbiorców: konsumentów, przedsiębiorców oraz służb mundurowych. Coraz lepsze parametry operacyjne dronów oraz możliwość ich wyposażenia w rozmaite urządzenia pokładowe zwiększają potencjalny zakres zastosowania tych maszyn. Najbardziej dotychczas spektakularne przykłady wykorzystania dronów, opisywane szeroko w doniesieniach prasowych, dotyczą transportu w zakresie dostarczania ładunków na ostatnim etapie dystrybucji, realizowanego przez dużych operatorów kurierskich czy ponadnarodowe przedsiębiorstwa, dla których szybka dostawa towaru do klienta jest kluczowym elementem modelu biznesowego. Najbardziej popularne drony są jednak w wykonywaniu zadań związanych z dokumentacją terenów, obiektów i wydarzeń. Wykonywanie zdjęć i filmów za pomocą dronów stało się wymogiem współczesności. Właśnie dzięki temu największym doświadczeniem w eksploatacji dronów dysponują firmy małe i średnie. Poza nimi – jak wynika z analizy dotychczasowych dokonań – kompetencje w tym zakresie, a zwłaszcza wizje o dużym potencjale komercjalizacji, mają start-upy, firmy z branży teleinformatycznej, instytuty badawcze oraz ośrodki badawczo-rozwojowe sektora lotniczego i zbrojeniowego.

Bardzo odczuwalna jest obecnie konieczność uporządkowania ruchu dronów w przestrzeni powietrznej, potrzeba regulacji ich wykorzystania do celów cywilnych oraz harmonizacji tych regulacji w skali ponadnarodowej z innymi obszarami pra-

[66] *Deklaracja…*, *dz. cyt.*

[67] K. Juszczyk, S. Kosieliński, P. Rutkowski, *Gdzie jesteśmy, dokąd idziemy*, w: S. Kosieliński (red.), *Rynek dronów w Polsce. Edycja 2017. Świt w dolinie śmierci*, Fundacja „Instytut Mikromakro", Warszawa 2016, s. 9.

[68] S. Kosieliński (red.), *dz. cyt.* s. 29.

[69] *Tamże*, s. 10.

wa. Biorąc pod uwagę publikowane prognozy rozwoju rynku dronów, takie regulacje powinny chronić przed zagrożeniem zbyt dużej popularności dronów. Rozważa się kwestie rejestracji tych statków powietrznych czy ewidencji osób i podmiotów uprawnionych do ich używania. Jednocześnie działania legislacyjne nie powinny hamować rozwoju tej technologii, która ma w sobie potencjał podnoszenia konkurencyjności gospodarek jako element koncepcji Przemysłu 4.0.

Oprócz tworzenia prawa potrzebne są także działania edukacyjne. Powinny one być prowadzone równolegle i rozpoczęte już teraz. Celem kampanii edukacyjnej powinno być zwiększenie świadomości użytkowników dronów, bo przecież bardzo niewielu z nich miało lub ma doświadczenia w zakresie lotnictwa. Kampania musi obejmować zasady poruszania się bezzałogowym statkiem powietrznym, uświadamianie ryzyka i promowanie zasad bezpieczeństwa. Kampanie edukacyjne można połączyć z opracowywaniem narzędzi przydatnych dla adeptów pilotowania dronów. Takim jest np. popularna aplikacja mobilna DroneRadar[70], która łączy różne informacje przydatne dla operatorów dronów, a także pozwala szybko sprawdzić, czy w danym miejscu i czasie można wykonywać loty oraz informować innych użytkowników o wykonywanych właśnie przez nas lotach.

Czy drony staną się technologią przełomową, a więc taką, która zmieni dotychczasowe modele biznesowe, funkcjonowanie rynków i zachowania społeczne[71]? Na to pytanie będziemy mogli rzetelnie odpowiedzieć dopiero za kilkanaście lat.

[70] DroneRadar, https://droneradar.eu/info (20.03.2017).

[71] Na podst. poglądu C.M. Christensena dot. technologii przełomowej. Zob. C.M. Christensen, *The Innovator's Dilemma*, HarperBusiness, New York 2000.

Bibliografia

Airbus Demonstrates Aircraft Inspection by Drone at Farnborough, Airbus, http://www.airbus.com/presscentre/pressreleases/press-release-detail/detail/airbus-demonstrates-aircraft-inspection-by-drone-at-farnborough-innovation-and-digitalisation-for-production-ramp-up/ (7.12.2016).

Airliners, http://www.airliners.net/photo/USA-Navy/Gyrodyne-QH-50C-Dash/653513 (15.03.2017).

Amato A., *Anura, the Drone That Fits in Your Pocket, Launches Kickstarter Campaign*, Drone Life, http://dronelife.com/2014/10/21/anura-drone-fits-pocket-launches-kickstarter-campaign/ (7.11.2014).

Amazon, http://www.amazon.com/b?node=8037720011 (3.01.2015).

Apostolo G., *The Illustrated Encyclopedia of Helicopters*, Bonanza Books, New York 1984.

AR Drone 2.0 kontrolowany smartwatchem, Chip, http://www.chip.pl/news/sprzet/gadzety/2015/01/ar-drone-2.0-kontrolowany-smartwatchem-wideo (15.01.2015).

Bielik pilnuje pociągów, „Puls Biznesu", 7 marca 2017 r.

Carey B., *Europe Advances Small Drone Regulations, 'U-Space' System*, AIN Publications, http://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2017-01-13/europe-advances-small-drone-regulations-u-space-system (23.01.2017).

Christensen C.M., *The Innovator's Dilemma*, HarperBusiness, New York 2000.

CNN, http://www.cnn.com/2013/12/02/tech/innovation/amazon-drones-questions/(3.01.2015).

Dalamagkidis K., Valavanis K.P., Piegl L.A., *On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System: Issues, Challenges, Operational Restrictions, Certification and Recommendations*, 2nd ed., Springer-Verlag, Dordrecht, Heidelberg, London, New York 2012.

Deklaracja Warszawska dotycząca bezzałogowych statków powietrznych przyjęta na zakończenie konferencji „Drony jako źródło nowych miejsc pracy i wzrostu gospodarczego", Urząd Lotnictwa Cywilnego, http://ulc.gov.pl/pl/publikacje/wiadomosci/4097-deklaracja-warszawska-dotyczaca-bezzalogowych-statkow-powietrznych-przyjeta-na-zakonczenie-konferencji-drony-jako-zrodlo-nowych-miejsc-pracy-i-wzrostu-gospodarczego (6.12.2016).

Dillow C., *The Construction Industry Is in Love with Drones*, Fortune, http://fortune.com/2016/09/13/commercial-drone-construction-industry/ (22.03.2017).

DRI Unmanned Cloud-seeding Realizes Beyond Visual Line of Sight, Desert Research Institute, https://www.dri.edu/newsroom/news-releases/5469-dri-unmanned-cloud-seeding-realizes-beyond-visual-line-of-sight (9.04.2017).

DroneRadar, https://droneradar.eu/info (20.03.2017).

Drony pomogą strażakom z Nowego Jorku, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2016/09/drony-pomoga-strazakom-z-nowego-jorku (12.09.2016).

Drony samodzielnie budujące most linowy, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2015/09/drony-samodzielnie-budujace-most-linowy-wideo (22.01.2017).

Drony w roli kelnerów, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2015/02/drony-w-roli-kelnerow-wideo-1 (10.02.2015).
Drony zapobiegają ściąganiu, „Puls Biznesu", 10 czerwca 2015 r.
Engelking C., *Foldable Drone Fits in Your Pocket*, Discover Magazine, http://blogs.discovermagazine.com/drone360/2015/05/19/foldable-drone-fits-in-your-pocket/#.WNKG_oWcGUl (19.06.2016).
Evans S.S., *The Incredible Story of the QH-50 DASH. The First Unmanned Helicopter Turns 50*, Vertiflite, 2011, Vol. 57, No. 1, s. 36–39.
Fingas J., *Drones Are Delivering Tea in China*, Engadget, https://www.engadget.com/2015/02/04/taobao-delivery-drones/ (18.04.2015).
Flyability, http://www.flyability.com/elios/ (29.03.2017).
Fotokite, czyli dron prowadzony po… sznurku, Chip, http://www.chip.pl/news/sprzet/gadzety/2015/04/fotokite-czyli-dron-prowadzony-po...-sznurku (14.04.2015).
Francuska poczta korzysta już z latających dronów, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2016/12/ftancuska-poczta-korzysta-juz-z-latajacych-dronow (4.01.2017).
Francuska poczta próbuje dostarczać paczki dronami, 24.pl, http://www.24.pl/francuska-poczta-probuje-dostarczac-paczki-dronami/ (2.01.2015).
GEODIS i Delta Drone łączą siły, rozwijając wyjątkowe rozwiązanie do inwentaryzacji w magazynach z wykorzystaniem dronów, Geodis, http://www.geodis.pl/geodis-and-delta-drone-join-forces-to-develop-a-unique-solution-for-warehouse-inventory-using-drones-@/pl/view-12441-article.html/5196 (1.04.2017).
Hover Camera, https://gethover.com/shop/product/hover-camera (23.03.2017).
Igliński H., Szymczak M., *Rola bezzałogowych statków powietrznych w funkcjonowaniu zwinnych łańcuchów dostaw*, Studia Oeconomica Posnaniensia, Vol. 3, No. 6, 2015, s. 139–164.
InPost użyje dronów do przesyłania paczek?, Świat Dronów, http://www.swiatdronow.pl/inpost-uzyje-dronow-przesylania-paczek (5.01.2015).
Izakowski Ł., *Bezzałogowy DHL Parcelcopter szybuje coraz wyżej*, Retail Net, https://retailnet.pl/2016/01/07/15129-bezzalogowy-dhl-parcelcopter-szybuje-coraz-wyzej/ (15.01.2016).
Juszczyk K., Kosieliński S., Rutkowski P., *Gdzie jesteśmy, dokąd idziemy*, w: S. Kosieliński (red.), *Rynek dronów w Polsce. Edycja 2017. Świt w dolinie śmierci*, Fundacja „Instytut Mikromakro", Warszawa 2016, s. 9–12.
Kosieliński S. (red.), *Rynek dronów w Polsce. Edycja 2017. Świt w dolinie śmierci*, Fundacja „Instytut Mikromakro", Warszawa 2016.
Londyńska policja wykorzysta drony do ścigania przestępców na motorach, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2016/07/londynska-policja-wykorzysta-drony-do-scigania-przestepcow-na-motorach-1 (7.07.2016).
Luśtyk M., *Fotokite – reporterski dron na smyczy*, Fotopolis, http://www.fotopolis.pl/newsy-sprzetowe/akcesoria-fotograficzne/18540-fotokite-reporterski-dron-na-smyczy (28.09.2015); https://fotokite.com/ (2.04.2017).
Macdonald Ch., *The Drone That Will Chase Thieves: Security UAV Will Follow Invaders to Make Sure They Are on Camera*, Daily Mail, http://www.dailymail.co.uk/scien-

cetech/article-3359624/Drones-CHASE-thieves-Security-UAV-follow-invaders-make-sure-camera.html (22.12.2015).
Michalik Ł., *Project Riptide – jeden z lepszych pomysłów na wykorzystanie drona, jakie widziałem*, Gadżetomania, http://gadzetomania.pl/56760,project-ryptide-jeden-z-lepszych-pomyslow-na-wykorzystanie-drona-jakie-widzialem (8.03.2015).
Moskwa W., *World Drone Market Seen Nearing $127 Billion in 2020, PwC Says*, Bloomberg, https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-05-09/world-drone-market-seen-nearing-127-billion-in-2020-pwc-says (20.07.2016).
Naukowcy stworzyli drona z mózgiem pszczoły, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/nauka-i-technika/2015/04/naukowcy-stworzyli-drona-z-mozgiem-pszczoly (28.04.2015).
Neutralization of Malicious Drones: ECA Group Is Innovating and Validates a Unique Technology to Locate Drone Operators, ECA Group, http://www.ecagroup.com/en/financial/neutralization-malicious-drones-eca-group-innovating-and-validates-unique-technology (21.05.2015).
Nie tylko Amazon myśli o dronach. DHL zastąpi nimi kurierów, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2013/12/nie-tylko-amazon-mysli-o-dronach.-dhl-zastapi-nimi-kurierow (17.12.2013).
Nintendo Per Glove jako kontroler do dronów!, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2016/06/nintendo-power-glove-jako-kontroler-do-dronow (9.06.2016).
Osborn K., *Real-Time Drone Video is Beamed into Apache Helicopter Cockpits*, Scout, http://www.scout.com/military/warrior/story/1675265-army-apache-attack-helicopters-control-drones (20.03.2017).
Paczkomat, robot i dron, czyli poczta przyszłości według InPost, Integer, https://integer.pl/pl/aktualnosci/paczkomat-robot-i-dron-czyli-poczta-przyszlosci-wedlug-inpost674 (23.07.2014).
Paketkopter 3.0 – nowy dron DHL, Świat Dronów, http://www.swiatdronow.pl/paketkopter-3-0-nowy-dron-dhl (24.02.2016).
Parrot Disco: dron w kształcie samolotu do lotów immersyjnych, Chip, http://www.chip.pl/news/sprzet/kamery-i-aparaty/2016/08/parrot-disco-dron-w-ksztalcie-samolotu-do-lotow-immersyjnych (25.08.2016).
Pielesiek K., *Dron Sodexo lata nad Polską*, Computerworld, http://www.computerworld.pl/news/399200/Dron-Sodexo-lata-nad-Polska.html (18.03.2017).
Policja inwestuje w drony z gazem pieprzowym, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2015/04/policja-inwestuje-w-drony-z-gazem-pieprzowym (10.04.2015).
Polska policja zaczyna testować drony, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2016/05/polska-policja-zaczyna-testowac-drony (7.05.2016).
Project SkyBender: Google's secretive 5G internet drone tests revealed, The Guardian, https://www.theguardian.com/technology/2016/jan/29/project-skybender-google-drone-tests-internet-spaceport-virgin-galactic (2.02.2016).
Qimarox Examines the Use of Drones for Palletising, Qimarox, http://www.qimarox.com/news/qimarox-examines-the-use-of-drones-for-palletising-3671.html (15.03.2014).

Rekord Guinnesa w udźwigu drona, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/konferencje-pokazy/2016/01/rekord-guinnesa-w-udzwigu-drona (21.01.2016).
Renault z dronem w pakiecie, „Puls Biznesu", 12 lutego 2014 r.
RobotShop,http://www.robotshop.com/blog/en/amazon-made-history-first-prime-air-drone-delivery-19767 (26.03.2017).
Shu C., *Australian Startups Zookal and Flirtey to Begin Delivering Textbook Orders by Drone*, TechCrunch, https://techcrunch.com/2013/10/14/australian-startups-zookal-and-flirtey-to-begin-delivering-textbook-orders-by-drone/ (28.11.2013).
Ślaski P., Waśniewski T.R., *Zastosowanie dronów do inwentaryzacji magazynów otwartych wielkopowierzchniowych*, w: Z. Kurasiński, M. Pawlisiak (red.), *Logistyka w XXI wieku – wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź–Warszawa 2016.
SmartChutes Drone Parachute, The Upscout, http://theupscout.com/gear/smart-chutes-drone-parachute/ (2.04.2017).
SmartChutes ochroni drona przed upadkiem, Chip, http://www.chip.pl/news/sprzet/gadzety/2015/05/smartchutes-ochroni-drona-przed-upadkiem (7.05.2015).
Subbaraman N., *Domino's 'DomiCopter' Drone Can Deliver Two Large Pepperonis*, NBC-News, http://www.nbcnews.com/tech/innovation/dominos-domicopter-drone-can-deliver-two-large-pepperonis-f6C10182466 (5.01.2015).
SW-4 Solo pomyślnie zakończył demonstrację Bezzałogowego/Opcjonalnie Pilotowanego Śmigłowca dla włoskiego MON, PZL-Świdnik, http://www.pzl.swidnik.pl/pl/sw-4-solo-pomyslnie-zakonczyl-demonstracje-bezzalogowegoopcjonalnie-pilotowanego-smiglowca-dla-wloskiego-mon/0,-m5,1 (27.03.2017).
Szwajcarska poczta stawia na drony, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2015/04/szwajcarska-poczta-stawia-na-drony-1 (21.04.2015).
The Drones Report: Market Forecasts, Regulatory Barriers, Top Vendors, and Leading Commercial Applications, Business Insider, http://www.businessinsider.com/uav-or-commercial-drone-market-forecast-2015-2?IR=T (2.08.2016).
The Flying Postman, Polygon, http://www.polygon-design.com/en/references/projects/_projects/dhlparcelcopter-skyport.html (10.12.2016).
Their Flying Machines, http://flyingmachines.ru/Site2/Crafts/Craft29033.htm (13.03.2017).
To ptak? To samolot? Nie, to tylko dron dostarczający pizzę, Chip, http://www.chip.pl/news/wydarzenia/trendy/2014/06/to-ptak-to-samolot-nie-to-tylko-dron-dostarczajacy-pizze (25.06.2014).
W Szwajcarii próbki pomiędzy szpitalami dostarczać będą… drony, TVP info, http://www.tvp.info/29504115/w-szwajcarii-probki-pomiedzy-szpitalami-dostarczac-beda-drony (3.04.2017).
Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Hewitt-Sperry_Automatic_Airplane (13.03.2017).
Williams R., *Tokyo Police Are Using Drones with Nets to Catch Other Drones*, The Telegraph, http://www.telegraph.co.uk/technology/2016/01/21/tokyo-police-are-using-drones-with-nets-to-catch-other-drones/ (7.02.2016).

Streszczenie

W rozdziale przedstawiono rozwój technologii bezzałogowych statków powietrznych UAVs (ang. *Unmanned Aerial Vehicles*) ze szczególnym uwzględnieniem ostatnich osiągnięć w tym zakresie, omówiono możliwości zastosowania współczesnych urządzeń tego typu – powszechnie zwanych dronami – oraz nakreślono perspektywy rozwoju technologii, aplikacji i rynku dronów. W rozważaniach uwzględniono także ograniczenia w wykorzystaniu dronów, jakie występują dzisiaj i jakie wystąpią w przyszłości. Omówiono rozwój dronów nie tylko jako alternatywnej formy transportu, lecz także jako technologii przydatnej w wielu dziedzinach gospodarowania, przy czym nie skupiono się tylko na najbardziej popularnych aplikacjach tej technologii. W tekście zwraca się uwagę na konieczność uporządkowania ruchu dronów w przestrzeni powietrznej i potrzebę regulacji ich wykorzystania do celów cywilnych, a także na zagrożenie związane z umasowieniem tej technologii.

PROSPECTS FOR DRONES: THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY, APPLICATIONS, AND MARKET

SUMMARY

The chapter presents the development of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), with a focus on recent developments in this field. It discusses the potential for using drones, and outlines the evolution of technology, applications and market. The considerations also include restrictions on the use of drones that occur today and that may occur in the future. The author discusses the development of drones not only as an alternative form of transport, but presents a much broader view of the technology that may be useful in many areas of business. At the same time he doesn't focus only on the most popular applications of this technology. The text highlights the necessity of drones' flights and operations control in the airspace and the need to regulate their use for civil purposes as well as the threats posed by the popularization of the technology.

Część II.

Perspektywy i bariery rozwoju elektromobilności na świecie i w Polsce

Dr inż. Przemysław Komarnicki

Uzyskał w 2004 roku podwójny dyplom magistra nauk technicznych na Politechnice Wrocławskiej i Uniwersytecie Otto von Guericke Magdeburg (OVGU) w Niemczech. Od 2004 roku jest kierownikiem badań, od 2008 roku menedżerem Grupy Systemy Elektroenergetyczne, a od 2017 roku rzecznikiem Departamentu Konwergentnych Infrastruktur i Systemów w Instytucie Fraunhofera IFF w Magdeburgu. W 2008 roku zdobył tytuł doktora w Katedrze Sieci Elektroenergetycznych i Odnawialnych Źródeł Energetyki na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki OVGU. Jego zainteresowania koncentrują się zwłaszcza na monitorowaniu rozległych obszarów oraz kontroli i zabezpieczeniu systemów energetycznych. Jest członkiem niemieckich stowarzyszeń t.j. VDE, DIN, DKE, a także grupy koordynacyjnej M/490 Smart Grid Mandated i IEC TC8/WG6. Jest autorem i współautorem ponad 80 publikacji na krajowych i międzynarodowych konferencjach.

Dr inż. Bartłomiej Arendarski

Ukończył studia magisterskie na Wydziale Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Wrocławskiej. W latach 2006–2009 był stypendystą programu Marie Curie Early Stage Research w Instytucie Fraunhofera IFF w Magdeburgu w Niemczech. Obecnie pracuje tam na stanowisku menedżera projektu. Tytuł doktorski uzyskał w Katedrze Sieci Elektroenergetycznych i Odnawialnych Źródeł Energetyki na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Uniwersytetu Otto von Guericke w Magdeburgu. Jego szczególne obszary zainteresowania obejmują multikryterialne planowanie i prowadzenie systemów energetycznych, integrację teleinformatyki i komunikacji cyfrowej w sieciach elektrycznych oraz analizę niezawodności systemów elektroenergetycznych i teleinformatycznych.

Mgr inż. Michał Ramczykowski

Jest absolwentem Wydziału Zarządzania i Marketingu Wrocławskiej Akademii Ekonomicznej (1997). W 2010 roku ukończył program MBA na Uniwersytecie Franklina. W roku 2012 ukończył Studia Podyplomowe z Mediacji w Biznesie w WSB we Wrocławiu. Ma doświadczenie w marketingu i sprzedaży, a także zarządzaniu, które zdobył, pracując m.in. w sieci dealarskiej Volvo. Od listopada 1998 roku menedżer projektu w Polskim Centrum Promocji Miedzi. Jego zainteresowania koncentrują się na obszarach koordynacji projektów rozwoju rynku w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem projektów energetycznych. Kierownik projektów Leonardo Energy, EPQU i Motor Challenge w Polsce, współfinansowanych m.in. przez Intelligent Energy Europe (IEE). Od czerwca 2008 roku prezes zarządu i dyrektor zarządzający Europejskiego Instytutu Miedzi. Od 2011 roku odpowiedzialny za program Komunikacji i PR, w tym za relacje z przemysłem.

Przemysław Komarnicki, Bartłomiej Arendarski, Michał Ramczykowski

Scenariusze rozwoju technologii magazynowania energii

Wprowadzenie

Sieć elektroenergetyczna ulega szybkim zmianom, aby sprostać zapotrzebowaniu odbiorców na zrównoważony system energetyczny, a także by w sposób ekonomicznie opłacalny zapewnić bezpieczeństwo dostawy i jakość zasilania. W celu osiągnięcia globalnych celów instaluje się coraz więcej odnawialnych (OZE) i rozproszonych źródeł energii. W 2014 roku zainstalowano w skali światowej ponad 650 GW w odnawialnych źródłach energii (rys. 1). Wartość ta będzie wzrastać z powodu różnorodnych czynników regionalnych lub lokalnych (np. promieniowania słonecznego lub warunków wietrznych) oraz czynników zależnych od struktury sieci i warunków rynku[1].

Z drugiej strony, zużycie energii na kontynencie europejskim, które w 2014 roku przekroczyło 20 000 TWh, rośnie w sposób bardzo zróżnicowany (różne trendy demograficzne i działania w zakresie efektywności energetycznej)[2]. Wymienione czynniki (dynamika generacji i zużycia) oraz nowe funkcje i role, które mogą zostać włączone w kompletną sieć elektroenergetyczną – inteligenta sieć (ang. *smart grid*) i inteligentny rynek (ang. *smart market*)[3], a także uczestnicy tego procesu, znacznie zwiększają zapotrzebowanie na zdolności przesyłowe, powodując, że struktura sieci i mechanizmy działania jej operatora będą lepiej reagowały na te potrzeby. Pożądaną zdolność wytwórczą nie zawsze można uzyskać za pomocą konwencjonalnych środków, takich jak tylko rozbudowa sieci, a przede wszystkim – nie dość szybko i w sposób ekonomicznie opłacalny[4]. Dokładne prognozy produkcji OZE[5], a zatem pozwalające na bardziej efektywne zaplanowanie wykorzystania OZE[6], w połączeniu

[1] P. Komarnicki, *Energy Storage Systems: Power Grid and Energy Market Use Cases*, Archives of Electrical Engineering, DOI, https://doi.org/10.1515/aee-2016-0036 (20.04.2017).

[2] *Global Energy Statistical Yearbook 2016*, https://yearbook.enerdata.net (6.12 2016).

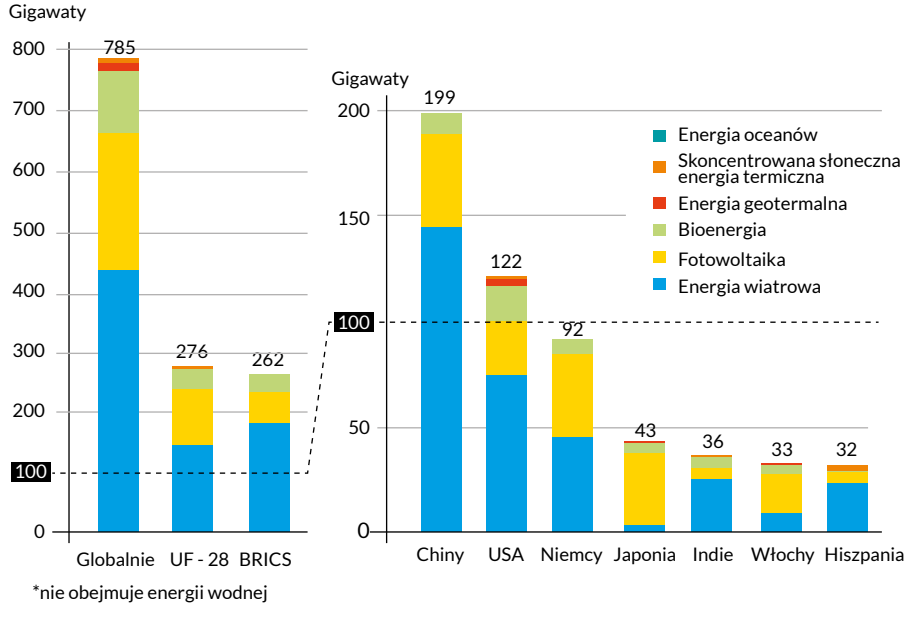
[3] M. Buchholz, Z. Styczynski, *Smart Grid Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*, Springer 2014.

[4] Netzentwicklungsplan 2014, *Factsheet, Inhalt, Konsultation, Sensitivitäten und weiteres Verfahren*, www.netentwicklungsplan.de (6.12 2016).

[5] L. Bridier, M. David, P. Lauret, *Optimal design of a storage system coupled with intermittent renewables*, "Renewable Energy", 2014, No. 67, s. 2–9; D.M. Quan, E. Ogliari, F. Grimaccia, S. Leva, M. Mussetta, *Hybrid model for hourly forecast of photovoltaic and wind power*, "IEEE International Conference on Fuzzy Systems", 2013, art. No. 6622453.

[6] B.V. Mathiesen, H. Lund, D. Connolly, H. Wenzel, P.A. Ostergaard, B. Möller, S. Nielsen, I. Ridjan, P. Karnøe, K. Sperling, F.K. Hvelplund, *Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions*, "Applied Energy", 2015, No. 145, s. 139–154.

ze środkami zapewniającymi zdolność do reagowania na obciążenie[7] będą miały zasadnicze znaczenie dla przyszłej elastyczności systemu elektroenergetycznego. Tylko one, wraz z nowymi komponentami zwiększającymi zdolność sieci do reagowania, jak układy magazynowania energii[8] w lokalnych systemach energetycznych[9], mogą zagwarantować odpowiednie bezpieczeństwo i niezawodność zasilania w przyszłych inteligentnych sieciach.



Rys. 1. **Odnawialne źródła energii zainstalowane na świecie w 2015 roku**
Źródło: *Renewables 2016*, Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, http://www.ren21.net (25.04.2017).

Wykorzystanie zasobników energii do rożnych aspektów wspierania systemów wraz z OZE pozwoliłoby zrekompensować czas rozbieżności między generacją i obciążeniem a wynikającą z tego zmianą w dynamice sieci.

Obecna globalna zainstalowana moc systemów magazynowania energii jest szacowana na 140 GW[10], a zainstalowanie w sieciach elektroenergetycznych dalszych

[7] H. Kondziella, T. Bruckner, *Flexibility requirements of renewable energy based electricity systems – A review of research results and methodologies*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews", 2016, No. 53, s. 10–22; M. Stötzer, I. Hauer, M. Richter, Z.A. Styczynski, *Potential of demand side integration to maximize use of renewable energy sources in Germany*, "Applied Energy", 2015, No. 146, s. 344–352.

[8] Z.A. Styczynski, M. Stötzer, G. Müller, P. Komarnicki, R. Belmans, J. Driesen, A.B. Hansen, J. Pecas Lopes, N. Hatziargyriou, *Challenges and barriers of integrating e-cars into a grid with high amount of renewable generation*, 44th International Conference on Large High Voltage Electric Systems, 2012, s. 9.

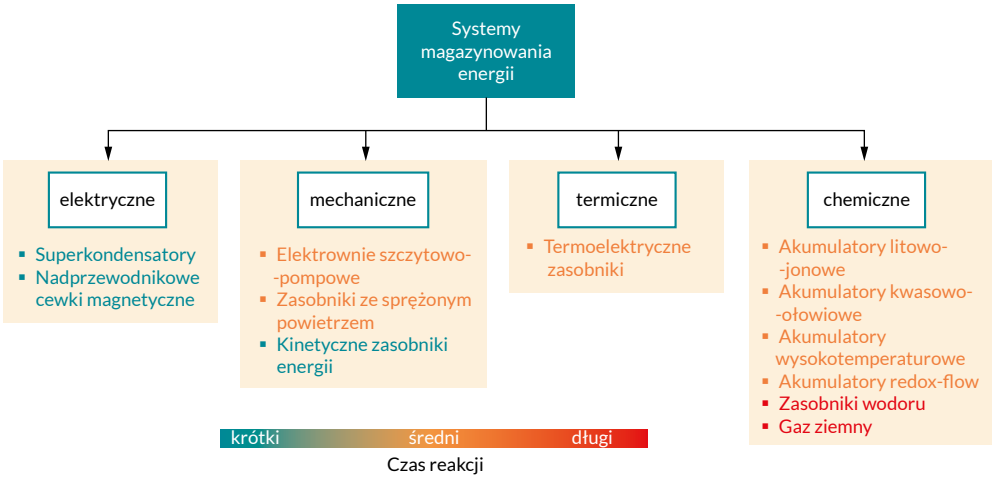
[9] P. Lombardi, Z.A. Styczynski, T. Sokolnikova, K. Suslov, *Use of energy storage in Isolated Micro Grids*, "Power Systems Computation Conference PSCC", 2014, Art. No. 7038361.

[10] Z. Styczynski, P. Lombardi, R. Seethapathy, M. Piekutowski, C. Ohler, B. Roberts, SC. Verma, *Electric*

310 GW uważa się za niezbędne do kontynuowania redukcji emisji CO_2 w nadchodzących latach. Ponieważ technologie magazynowania energii, szczególnie technologie innowacyjne, są dosyć drogie, jest niezmiernie ważne, żeby zawsze analizować przypadki ich indywidualnego i łącznego użycia oraz scenariusze działania – zarówno pod względem technicznym (wymiarowanie systemu magazynowania: pojemność, energia wyjściowa, odpowiedź dynamiczna), jak i ekonomicznym (sposób działania, analiza kosztów i korzyści) w celu dokonania wyboru optymalnego pod względem technologii i parametrów systemu magazynowania.

1. Technologie magazynowania energii

Różne technologie magazynowania energii wynikają z dostępności zasobów, lokalizacji oraz zastosowania danego systemu. Rozwój technologii prowadzi do zwiększenia mocy i wydajności przy jednoczesnym zmniejszeniu wymiarów zasobnika. Należy również zwrócić uwagę na dynamikę i wydajność zasobnika, która ma istotne znaczenie np. w dziedzinie pojazdów elektrycznych. Dodatkowo można rozważyć zastosowanie zasobników energii w systemie elektroenergetycznym jako wsparcie w regulacji częstotliwości bądź bilansowanie mocy biernej. Rys. 2 przedstawia schematyczny podział systemów magazynowania energii ze względu na technologię, które są opisane w dalszej części.



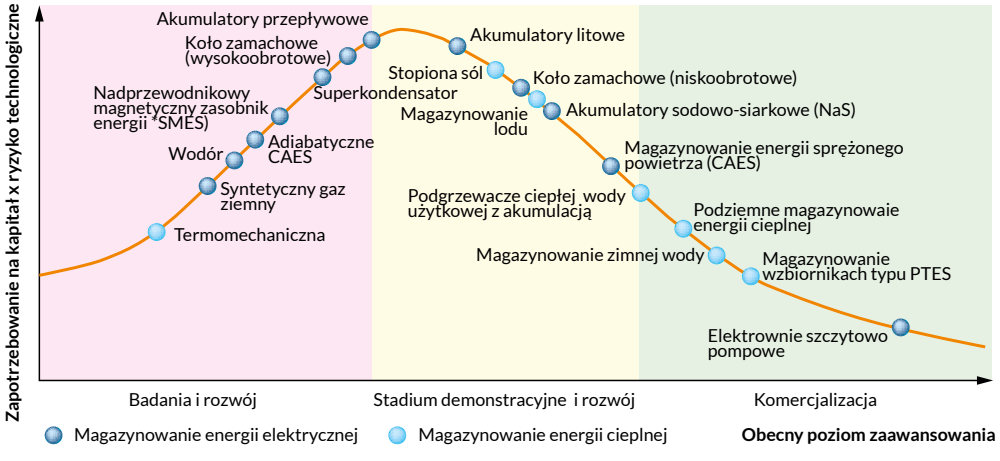
Rys. 2. **Podział zasobników energii**

Źródło: *Technologischer* Überblick *zur Speicherung von Elektrizität*, Smart Energy for Europe Platform GmbH, RWTH Aachen, September 2012, http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/Ueberblick_Speichertechnologien_SEFEP_deutsch.pdf (5.04.2017).

Technologie magazynowania energii mają różne właściwości, które predestynują je lub eliminują ich stosowanie w konkretnych przypadkach użycia. Ponadto, syste-

energy storage and its tasks in the integration of wide-scale renewable resources, Integration of Wide-Scale Renewable Resources Into the Power Delivery System, CIGRE/IEEE PES Joint Symposium, 2009.

my magazynowania znajdują się na różnych etapach rozwoju technicznego i badań (rys. 3). Niektóre technologie, np. adiabatyczne magazynowanie energii sprężonego powietrza lub magazynowania wodoru, znajdują się nadal we wczesnych stadiach rozwoju technicznego. Chociaż wielkoskalowe projekty demonstracyjne, np. system magazynowania z akumulatorami litowymi, powoli rozszerzają zakres stosowania już ugruntowanych i skomercjalizowanych systemów, takich jak elektrownie szczytowo-pompowe, to nadal należy bacznie zwracać uwagę na ich koszty.



Rys. 3. **Rodzaje systemów magazynowania energii i ich stan zaawansowania**
Źródło: *Technology Roadmap Energy Storage*, International Energy Agency, OECD/IEA, https://www.iea.org/publications (5.12.2016).

1.1. Chemiczne systemy magazynowania energii

Przemiana energii elektrycznej w związki chemiczne jest podstawą jednej z najbardziej rozpowszechnionych technologii magazynowania, szczególnie w sektorze odbiorców indywidualnych (zasilanie urządzeń mobilnych), zapewniającej także działanie infrastruktury (np. telekomunikacji). Są to prawie wyłącznie akumulatory niskotemperaturowe, głównie ołowiowo-kwasowe i litowo-jonowe, oraz wysokotemperaturowe, głównie sodowo-siarkowe, określane jako systemy z magazynowaniem wewnętrznym, ponieważ ich poziom energii i moc wyjściowa są niezależne. Z kolei zaletą systemów z zewnętrznym magazynowaniem energii jest możliwość niezależnego wymiarowania energii i parametrów wyjściowych. Przedstawicielami tej grupy są systemy magazynowania wodoru/metanu i akumulatory przepływowe (ang. *redox-flow batteries*), które wymagają większej przestrzeni. Podstawowe parametry chemicznych systemów magazynowania energii zestawiono w tabeli 1. Ponieważ są one zwykle przyłączane do sieci za pośrednictwem układów energoelektronicznych (uznawanych za szybkie i niezawodne), ta grupa systemów magazynowania może obejmować bardzo szeroki zakres przypadków użycia w sieciach elektroenergetycznych.

Tab. 1. **Parametry techniczne chemicznych systemów magazynowania energii**

Rodzaj akumulatora	η, %	Gęstość mocy, W/kg	Gęstość energii, Wh/kg	Samo-rozładowanie	Koszt zakupu, EUR/kW	Koszty inżynieryjne, EUR/kW
Litowo--jonowy	do 95	100–185	120–200	5%/mies.	150	180–600
Przepływowy redox	do 75	b.d.	30–70	0,4%/dzień	1 500	150
NaS	do 75	250	200	10%/dzień	200	150–600
H2/metan	do 40	1 000	580–33 300	<1%/mies.	2 000	6

Źródło: T. Mayer, B. Sandurkov, *Evaluierung der Weiterverwendung gebrauchter Lithium-Ionen-Zellen aus der Elektromobilität und Marktübersicht Hausbatterien*, EKF-Auftragsstudie SWD – 10.08.81-12.11.2013; G. Fuchs, B. Lunz, M. Leuthold, D.U. Sauer, *Technologischer* Überblick *zur Speicherung von Elektrizität*, Smart Energy for Europe Platform GmbH (SEFEP), 2012.

Akumulatory kwasowo-ołowiowe

Akumulator kwasowo-ołowiowy jest najbardziej rozpowszechnionym rodzajem akumulatora, dla którego w zależności od zastosowania można rozróżnić specyficzne warianty konstrukcji. Użyteczne gęstości mocy i energii przy niskim samorozładowaniu spełniają zwykle wymagania dotyczące głównych obszarów zastosowania jako akumulator rozruchowy lub zasilacz awaryjny UPS, np. w telekomunikacji[11]. Zarządzanie zasobnikiem charakteryzuje się niską złożonością z powodu stosunkowo bezpiecznych reakcji chemicznych w nim zachodzących. Ponadto system magazynowania energii może zapewnić możliwość kompensowania krótko- oraz średniofalowych zmian obciążenia. Elektrochemia akumulatorów kwasowo-ołowiowych jest bardzo dobrze znana i nie przewiduje się fundamentalnego rozwoju pod względem zwiększenia ich wydajności i mocy. Niemniej jednak należy rozważyć nowe konstrukcje akumulatorów, np. z domieszką węgla, które przedłużają ich żywotność.

Akumulatory litowo-jonowe

Rosnący udział akumulatorów litowo-jonowych w rynku wynika z zapotrzebowania na zasobniki o wysokiej gęstości energii i stabilności cyklu. Poza korzyściami wynikającymi z wysokiej gęstości energii i mocy oraz długiej żywotności trzeba wspomnieć o stratach termicznych oraz ryzyku powstawania wodoru, co należy brać pod uwagę w przypadku rozbudowanego systemu zarządzania akumulatorem. W porównaniu do akumulatorów kwasowo-ołowiowych koszty montażu są również odpowiednio wyższe. Dzisiejsze systemy w europejskiej sieci energetycznej mają charakter prototypowy i są testowane w kontekście badań terenowych. Vattenfall Distri-

[11] ARUP, *Five Minutes Guide – Electricity Storage Technologies*, http://www.arup.com/ (8.12.2016).

bution w Berlinie testuje przykładowo działanie systemu opartego na akumulatorze litowym o mocy 1 MW celem zapewnienia usług regulacji pierwotnej[12]. Podobnie WEMAG w mieście Schwerin dysponuje rozwiązaniem kontenera 5 MW zainstalowanym w projekcie demonstracyjnym[13]. Biorąc pod uwagę opłacalność inwestycji pod względem kosztów instalacyjnych, wymagana jest duża liczba cykli pracy akumulatora.

Akumulatory wysokotemperaturowe

Do najbardziej znanych typów akumulatorów wysokotemperaturowych należy zaliczyć te na bazie siarczku sodu (NaS) oraz bazujące na chlorku sodu i niklu (znane również jako akumulatory ZEBRA). Główną różnicą w stosunku do niskotemperaturowych zasobników jest zastosowanie ciekłego elektrolitu jako materiału aktywnego. Akumulatory muszą być eksploatowane w temperaturze ok. 300°C. Przy odpowiedniej izolacji jest możliwe utrzymanie niezbędnej temperatury reakcji. Zaletą tych zasobników jest duża liczba cykli ładowania/rozładowania przy jednocześnie dużej wydajności. Wadami są: niskie napięcie pojedynczego ogniwa (ok. 2V), stosunkowo wysoka temperatura ogniwa (w szczególności biorąc pod uwagę długotrwałe utrzymywanie naładowanego akumulatora) oraz mała gęstość mocy[14].

Akumulatory przepływowe redox-flow

Akumulatory przepływowe należą do tzw. grupy zewnętrznych zasobników chemicznych (rys. 4). Charakteryzują się one tym, że materiał aktywny na bazie soli jest rozpuszczony w ciekłym elektrolicie, znajdującym się w oddzielnym zbiorniku. Proces pochłaniania i rozpraszania energii elektrochemicznych komórek (anoda – membrana – katoda) konwertuje energię elektryczną na chemiczną i odwrotnie[15]. Przeszkodą w uzyskaniu pozwoleń na umiejscowienie zasobników jest duża ilość magazynowanego kwasu, który z biegiem czasu może prowadzić do nieszczelności. Kolejnym przykładem jest akumulator redox-flow na bazie wanadu, który od 2000 roku jest badany w teście pilotażowym. Zaletą w stosunku do innych kombinacji par redoks jest stosowanie jonów tego samego metalu, co pozwala uniknąć degradacji, a tym samym strat mocy. Zasoby wanadu są jednak ograniczone, a więc i ekonomiczna eksploatacja jest obecnie mało realna. Wadą tego typu akumulatorów, oprócz niskiej gęstości energii oraz mocy, jest konieczność zasilania urządzeń potrzeb własnych, np. pomp. Główną przewagą nad systemami magazynowania z wewnętrznymi zasobnikami chemicznymi jest możliwość niezależnego dobierania mocy i wydajności akumulatora. Konstrukcja zbiornika określa wydajność energetyczną a jednostka reaktora wyznacza maksymalną moc.

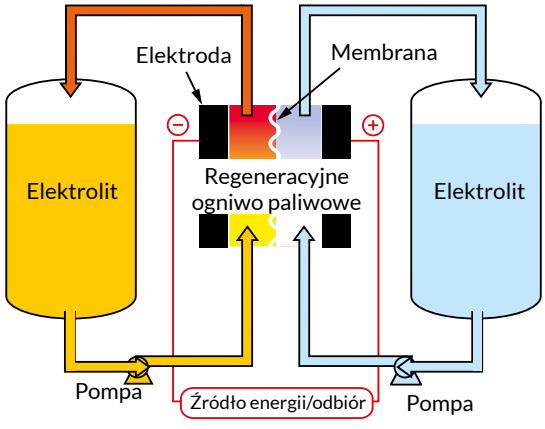
---

[12] *Pressemitteilung Younicos: Younicos und Vattenfall gleichen mit Großbatterie in Berlin kurzfristige Netzschwankungen aus*, Erstmals kommerzieller Einsatz am Markt für Primärregelleistung (8.12.2016).

[13] *Pressemitteilung Younicos: Größter kommerzieller Batteriepark Europas*, WEMAG und Younicos feiern Baubeginn, Fertigstellung im September 2014 (8.12.2016).

[14] *Technologischer* Überblick *zur Speicherung von Elektrizität*, Smart Energy for Europe Platform GmbH, RWTH Aachen, September 2012; ARUP, *Five Minutes Guide*, *dz. cyt*.

[15] *IEC Market Strategy Board: Electrical Energy Storages*, White Paper, December 2011.



Rys. 4. **Idea akumulatora przepływowego redox-flow**
Źródło: Energetyka, Automatyka przemysłowa, Elektrotechnika, *Tanie i mniejsze akumulatory przepływowe*, http://elektroonline.pl (23.03.2014).

Wodór/Metan

Proces elektrolizy w produkcji wodoru jest powszechnie stosowany w przemyśle. Wysoka gęstość energii oraz właściwości wodoru umożliwiające znaczny stopień jego sprężania w kawernach solnych warunkują niskie koszty zasobnika przy jednocześnie wysokiej zdolności magazynowania energii. Jednak skrajna łatwopalność wodoru musi być wzięta pod uwagę podczas planowania dużych systemów mających na celu kompensację wahań mocy farm fotowoltaicznych. Dlatego w następnym kroku „zielony" wodór jest metanizowany w procesie Fischera-Tropscha (poprzez dostarczenie CO_2). Wyprodukowany w ten sposób czysty metan, jako składnik gazu ziemnego, ma trzykrotnie większą gęstość energii i jest dużo łatwiejszy w eksploatacji i kontroli pod względem bezpieczeństwa[16]. Zaletą stosowania drugiego etapu procesu jest wykorzystanie istniejącej infrastruktury gazu ziemnego jako zasobnika. W przeciwieństwie do składowania czystego wodoru magazynowanie metanu jest o ok. 10% mniej efektywne, co pociąga za sobą wzrost kosztów produkcji. Jednak uwzględniając gęstość energii metanu i dostępność infrastruktury potrzebnej do jego przechowywania, koszty zasobników bazujących na metanie są niższe.

1.2. Elektryczne systemy magazynowania energii

Elektryczne systemy magazynowania energii zwykle nie wymagają żadnego wtórnego materiału w celu przechowywania energii. Magazynowanie zachodzi często w polu elektrostatycznym lub w stałym polu magnetycznym. Ponieważ systemy te mogą bardzo szybko się ładować i rozładowywać, są zwykle stosowane jako zasobniki energii. W obecnym stanie bardzo niska gęstość energii (<10 Wh/kg) i stosunkowo

[16] *Technologischer* Überblick *zur Speicherung von Elektrizität*, *dz. cyt.*; ARUP, *Five Minutes Guide*, *dz. cyt.*; *IEC Market Strategy Board: Electrical Energy Storages*, White Paper, December 2011.

wysoki współczynnik samorozładowania (do 25% w ciągu 48 h) pozwalają na korzystne pod względem technicznym i ekonomicznym stosowanie ich tylko jako krótkoterminowych zasobników energii[17]. Najbardziej znanymi przykładami tych dwóch technologii są superkondensatory i cewki nadprzewodzące.

Kondensatory dwuwarstwowe

W kondensatorach dwuwarstwowych ładunek elektryczny jest gromadzony przy zastosowaniu spolaryzowanych elektrod, przy których grupują się dodatnie i ujemne nośniki ładunku. Mogą one gromadzić lub uwalniać energię przy wysokich wartościach mocy właściwej (do 18 kW/kg) i z bardzo wysoką sprawnością (do 95%) w ciągu bardzo krótkiego czasu (<10 ms)[18]. Z tego powodu potencjalne zastosowania dotyczą przypadków użycia, w których potrzebne jest dostarczenie dużej mocy w krótkim czasie, ponieważ ich gęstości energii (do 10 Wh/kg) są od dziesięciu do pięćdziesięciu razy niższe niż w przypadku akumulatorów[19]. Zastosowanie nowych materiałów separatora pozwala na podwojenie lub potrojenie gęstości energii przy zachowaniu osiągów i stabilności cyklu pracy. Koszty obsługi i energii znacznie się różnią. O ile koszt do 200 EUR za kilowat mocy zainstalowanej jest porównywalny z analogicznym kosztem dla akumulatora litowego, to koszt energii właściwej, który może wynosić aż 20 000 EUR/kWh, znacznie przekracza koszty innych technologii magazynowania energii[20].

Nadprzewodnikowe magnetyczne zasobniki energii

Nadprzewodnikowe magnetyczne zasobniki energii (SMES) przechowują energię elektryczną w postaci pola magnetycznego wytworzonego przez prąd stały płynący przez cewkę. Bezstratne przechowywanie energii wymaga chłodzenia cewki ciekłym helem do temperatury w przybliżeniu 4,2 K (–269 C)[21]. Niższa gęstość energii (do 5 Wh/kg) tego rodzaju zasobnika i samorozładowanie powodowane dużym poborem mocy układu chłodzenia są charakterystyczne dla systemów krótkoterminowego magazynowania energii. Nowe badania wskazują, że w specjalnych materiałach można uzyskać nadprzewodnictwo w temperaturze 91 K (tzw. nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe), co w przyszłości uczyni nadprzewodnikowe zasobniki energii bardziej atrakcyjnymi[22]. Ponieważ układy te są nadal prototypami, brak jeszcze wiarygodnych danych na temat gęstości energii i kosztów obsługi.

---

[17] T. Mayer, B. Sandurkov, *Evaluierung der Weiterverwendung gebrauchter Lithium-Ionen-Zellen aus der Elektromobilität und Marktübersicht Hausbatterien*, EKF-Auftragsstudie SWD – 10.08.81–12.11.2013; G. Fuchs, B. Lunz, M. Leuthold, D.U. Sauer, *Technologischer* Überblick *zur Speicherung von Elektrizität*, Smart Energy for Europe Platform GmbH (SEFEP), 2012.

[18] *Tamże.*

[19] T. Mayer, B. Sandurkov, *dz. cyt.*

[20] G. Fuchs, B. Lunz, M. Leuthold, D.U. Sauer, *dz. cyt.*

[21] T. Mayer, B. Sandurkov, *dz. cyt.*

[22] M.A. Subramanian, C.C. Torardi, J.C. Calabrese, J. Gopalakrishnan, K.J. Morrissey, T.R. Askew, R.B. Flippen, U. Chowdhry, A.W. Sleight, *A New High-Temperature Superconductor: Bi2Sr3-x Cax Cu-2O8+y.*, "Science" 1988, 26, Vol. 239, No. 4843, s. 1015–1017.

1.3. Mechaniczne systemy magazynowania energii

Przykładami mechanicznych systemów magazynowania energii są elektrownie szczytowo-pompowe, wirujące zasobniki energii (koło zamachowe) i magazynowanie energii sprężonego powietrza.

Elektrownie szczytowo-pompowe

W elektrowniach szczytowo-pompowych energia kinetyczna wody płynącej z górnego do dolnego zbiornika zamieniana jest w generatorze na energię elektryczną. Jest to najbardziej rozpowszechniony systemem magazynowania energii. Stanowią one 99% światowych systemów magazynowania energii w sieciach elektroenergetycznych. W ciągu dziesięcioleci eksploatacji ich podzespoły zostały zoptymalizowane i nie należy się spodziewać znacznych obniżek kosztów w tej dziedzinie. Z powodu niskiej gęstości energii wynikającej z nieściśliwości wody wykorzystanie tego rodzaju magazynowania energii, przy typowym stosunku energii do mocy, zostało zoptymalizowane w zakresie pracy od dwóch do ośmiu godzin. W odróżnieniu od systemów akumulatorowych, możliwe lokalizacje tego rodzaju jednostek są uzależnione od warunków i ograniczeń geograficznych i zwykle położone z dala od centrów poboru energii elektrycznej. Pod względem ekonomicznym elektrownie szczytowo-pompowe stanowią jedną z najbardziej efektywnych kosztowo opcji magazynowania energii elektrycznej (1000 EUR/kW do 20 EUR/kWh) przy wysokiej sprawności (do 82%)[23]. Zasadniczą zaletą tak dużych systemów magazynowania energii jest szybkość dysponowania i, co za tym idzie, ich wkład w stabilność systemu elektroenergetycznego[24].

Wirujące zasobniki energii

Wykorzystanie energii kinetycznej w ruchu obrotowym umożliwia magazynowanie energii i jej szybkie dostarczenie. Koło zamachowe, zawieszone w próżni na łożyskach magnetycznych, gromadzi energię ze sprawnością 90–95%. Znaczną wadą układu jest wysoki współczynnik samorozładowania (całkowite rozładowanie w czasie od 1 h do 10 h) i niska gęstość energii (mniejsza od 100 Wh/kg)[25]. Z drugiej strony, wirujące zasobniki energii odznaczają się wysoką trwałością (rzędu miliona cykli) oraz wysoką gęstością mocy (do 1800 kW/kg)[26]. Potencjalne zastosowania są warunkowane przede wszystkim przez samorozładowanie zasobnika i w przypadku kompaktowych jednostek skupiają się głównie na redukcji krótkotrwałych wahań napięcia i częstotliwości celem poprawy jakości energii. Przykładem jest jednostka (20 MW) zainstalowana w miejscowości Stephentown w stanie New York, zapewniająca dla tego obszaru 10-procentowy wkład w regulację częstotliwości. Stosowanie

[23] G. Fuchs, B. Lunz, M. Leuthold, D.U. Sauer, *dz. cyt.*

[24] S. Rehman, L.M. Al-Hadhrami, M.M. Alam, *Pumped hydro energy storage system: A technological review*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews", 2015, No. 44, s. 586–598.

[25] T. Mayer, B. Sandurkov, *dz. cyt.*

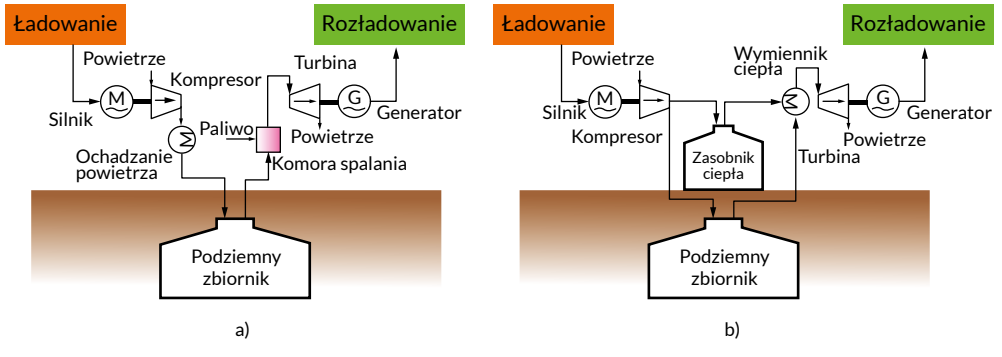
[26] *Tamże*; Deutsches ClenTech Institut (DCTI), *Speichertechnologien 2013 – Technologien, Anwendungsbereiche, Anbieter*, 2013.

tego typu technologii w roli średnio- i długofalowych zasobników energii nie jest jednak opłacalne z technologicznego i ekonomicznego punktu widzenia[27].

Kompresyjne zasobniki energii

Kompresyjne systemy magazynowania energii (ang. *compressed air energy storage* – CAES) wykorzystują jako nośnik energii sprężone powietrze zmagazynowane np. w kawernach solnych. Ponieważ ciepło zużywane do ogrzania powietrza schłodzonego podczas rozprężania pochodzi ze spalania gazu ziemnego, systemy te mają sprawność około 50% niższą niż elektrownie szczytowo-pompowe. To ogrzewanie chłodnego powietrza w specjalnej komorze jest typowe dla systemów diabatycznych. Główną zaletą systemów adiabatycznych jest wykorzystanie podczas rozprężania ciepła wytworzonego w procesie sprężania (poprzez zasobnik ciepła) i wzrost wydajności do około 70%.

Rozwój systemów adiabatycznych magazynowania energii sprężonego powietrza, o znacznie lepszych sprawnościach, poczynił postępy wraz ze wzrostem wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych i spodziewanym zwiększeniem zapotrzebowania na magazynowanie energii[28]. Zasada działania zasobnika opartego na sprężonym powietrzu jest analogiczna do funkcjonowania elektrowni szczytowo-pompowej, również skupiając się na dziennym szczytowym zapotrzebowaniu na energię. Wybór miejsca instalacji systemu zależy głównie od dostępności podziemnych zbiorników, gdzie sprężone powietrze może być magazynowane.



Rys. 5. **Systemy magazynowania ze sprężonym powietrzem: a) diabatyczne, b) adiabatyczne**
Źródło: *Technologischer Überblick zur Speicherung von Elektrizität*, *dz. cyt.*

[27] *Tamże*; ARUP, *Five Minutes Guide*, *dz. cyt.*; *IEC Market Strategy Board*, *dz. cyt.*

[28] P. Lombardi i in., *An ACAES pilot installation in the distribution system: A technical study for RES integration*, "Energy Science & Engineering", 2014, Vol. 2, Issue 3, s. 116–127.

1.4. Systemy magazynowania energii cieplnej

Obecnie połączenie elektrycznych i cieplnych systemów magazynowania w celu zmagazynowania nadmiaru energii (konwersja na ciepło) jest traktowane jako jednokierunkowy proces produkcji ciepła, np. dla miejskich systemów ciepłowniczych lub na użytek gospodarstw domowych (pompy ciepła). Ponieważ wytworzeniu ciepła użytecznego towarzyszą tak znaczne straty energii, że ponowna przemiana termodynamiczna byłaby niekorzystna, do tego celu odpowiednie są termoelektryczne wysokotemperaturowe systemy magazynowania, będące obecnie w opracowywaniu. Wysokosprawny system grzewczy wytwarza podczas ładowania temperaturę około 500°C w zasobniku z wykorzystaniem ciała stałego (tlenek magnezu lub sole). Podczas rozładowania ciepło wysokotemperaturowe jest wykorzystywane do wytwarzania pary za pośrednictwem wymiennika ciepła. Możliwości zastosowania są podobne jak w przypadku elektrowni szczytowo-pompowej lub kompresyjnego magazynowania energii, tj. typowo w systemach 24-godzinnego magazynowania. Wadami tego układu są niska sprawność i straty cieplne w czasie postoju. Zalety to dostępność standardowych komponentów stosownych w elektrowniach i swobodny wybór lokalizacji – w przeciwieństwie do elektrowni szczytowo-pompowych i kompresyjnych zasobników energii.

2. Wymagania dotyczące elektrycznych systemów magazynowania energii (EES) i zwiększenia użyteczności magazynowania sieciach *smart grid*

Niektóre nowe uzasadnienia ekonomiczne dla stosowania systemów magazynowania energii mogą być korzystne, jeżeli struktura wytwarzania energii jest zdominowana przez odnawialne źródła energii zależne od warunków atmosferycznych[29]. *Biała Księga IEC*[30] podsumowuje uzasadnienia ekonomiczne dla trzech grup – dystrybutorów, odbiorców i wytwórców energii odnawialnej.

Z punktu widzenia dystrybutorów:

- Przesunięcie w czasie: redukcja kosztów wytwarzania przez magazynowanie energii w godzinach pozaszczytowych (głównie w nocy) i rozładowanie w godzinach szczytu (głównie w ciągu dnia lub godzinach południowego szczytu).
- Jakość energii: systemy magazynowania energii EES mogą zapewnić funkcje regulacji częstotliwości oraz, jeżeli są usytuowane na końcu silnie obciążonych linii (szczególnie dystrybucyjnych), mogą ograniczać spadki napięcia przez kontrolowane operacje ładowania/rozładowania.
- Bardziej efektywne wykorzystanie sieci: jeżeli nie można dokonać wzmocnienia sieci przesyłowej/dystrybucyjnej, mogą występować krótkotrwałe ograniczenia zdolności przesyłowych sieci. W takich przypadkach wielkoskalowe systemy magazynowania energii (szczególnie wielkoskalowe akumulatory)

[29] P. Komarnicki, P. Lombardi, Z. Styczynski, *Electric Energy Storage Systems, Flexibility Options for Smart Grids*, Springer 2017.

[30] *Electric Energy Storage*, White Paper, IEC, Geneva 2011.

ulokowane w strategicznych miejscach mogą łagodzić ograniczenia i pomóc odłożyć w czasie lub wstrzymać wzmocnienie sieci.
- W sieciach izolowanych: systemy magazynowania energii EES mogą stabilizować działanie małych, izolowanych sieci energetycznych (położonych np. na wyspach lub w odległych rejonach) zasilanych z agregatów prądotwórczych z silnikiem wysokoprężnym.
- Awaryjne źródło zasilania dla urządzeń zabezpieczających lub sterujących: w przypadku zaniku zasilania akumulatory mogą pełnić istotną funkcję awaryjnego zasilania.

Z punktu widzenia odbiorców:
- Aspekty przesunięcia w czasie/redukcji kosztów: zachęty dla odbiorców do spłaszczenia obciążenia szczytowego mają formę taryf wielostrefowych uzależniających cenę energii od czasu. Obniżenie mocy szczytowej przez zastosowanie systemów magazynowania energii EES może również obniżyć koszty przyłączenia odbiorców.
- Awaryjne źródło zasilania: zasobnik energii może służyć jako źródło awaryjnego zasilania odbiorców.
- Pojazdy elektryczne i aplikacje mobilne: interfejs pojazd – sieć V2G (ang. *vehicle-to-grid*) lub pojazd – dom V2H (*vehicle-to-home*), mogą być używane zarówno lokalnie (ładowane z lokalnych generatorów PV) lub globalnie (wspieranie usług sieciowych przez ładowanie i/lub rozładowanie).

Z punktu widzenia wytwórców energii odnawialnej:
- Przesunięcie czasowe: magazynowanie nadmiaru energii elektrycznej w EES i wykorzystywanie jej w razie potrzeby dla usług systemowych lub sprzedaż energii operatorowi sieci.
- Efektywne przyłączenie do sieci: system magazynowania energii może skuteczniej absorbować wahania napięcia niż inne środki redukcji, np. przesuwnik fazowy.

Z klasyfikacji tej widać, że niektóre usługi EES mogą być wykorzystywane przez rozmaitych użytkowników, zarówno w przypadku podobnych, jak i odmiennych uzasadnień ekonomicznych – możliwe jest zatem zwielokrotnione stosowanie (np. przesunięcie czasowe).

Ponadto, biorąc pod uwagę usługi sieciowe, systemy magazynowania energii mogą zapewniać następujące rodzaje usług[31]:

Usługi energetyczne w skali systemu:
- przesuwanie produkcji energii elektrycznej na okresy szczytowe (arbitraż),
- świadczenie usług rezerwy mocy;

Usługi pomocnicze:
- regulacja,
- rezerwa wirująca, rezerwa niewirująca i interwencyjna rezerwa zimna,
- regulacja napięcia w celu utrzymywania wymaganych poziomów napięcia sieci,
- rozruch beznapięciowy;

[31] US Department of Energy, *Electric Energy Storage*, "Quadrennial Technology Review" 2015.

Usługi w zakresie infrastruktury przesyłowej:
- odłożenie modernizacji systemu przesyłowego,
- uwalnianie zdolności przesyłowych;

Usługi w zakresie infrastruktury dystrybucyjnej:
- odłożenie modernizacji systemu dystrybucyjnego,
- regulacja napięcia w celu utrzymywania wymaganych poziomów napięcia sieci;

Usługi w zakresie zarządzania energią po stronie odbiorcy:
- jakość energii elektrycznej,
- niezawodność zasilania,
- usługi energetyczne w skali systemu dystrybucyjnego,
- zarządzanie stroną popytową.

Dla celów planowania i eksploatacji systemy magazynowania energii można ogólnie scharakteryzować za pomocą parametrów niezależnych od zastosowanej technologii. Wykaz tych parametrów wraz z krótkimi opisami zamieszczono w tabeli 2.

Tab. 2. **Charakterystyczne parametry EES. Wymagania ogólne**

Parametry	Wymiar	Typowe wartości	Opis
Moc wyjściowa lub zasób energii	kW, MW	Dystrybucja 10–100 kW Przesył do GW	Moc nominalna na wyjściu (np. transformator).
Pojemność magazynowania	h, także kWh lub MWh	Krótkoterminowe – sekundy do minut Długoterminowe – godziny do tygodni	Czas pracy z mocą nominalną jest ograniczony osiągnięciem trzykrotnej głębokości naładowania. Po upływie tego czasu pobieranie energii z zasobnika jest nadal możliwe, ale mogą wystąpić pewne uszkodzenia.
Głębokość naładowania	% pojemności	Akumulatory 40% – do min. 10% Pozostałe EES 10%	Minimalny poziom pojemności, który można osiągnąć bez uszkodzenia zasobnika przy nominalnym procesie ładowania/rozładowania.
Stosunek ładowania	% mocy nominalnej	Zależy od technologii, 10–100%	Moc, wyrażona w proporcji do mocy nominalnej, z jaką zasobnik może być ładowany bez spowodowania uszkodzeń. Większość typów akumulatorów jest nieliniowych i wartość ta może być podawana w postaci krzywej w funkcji napięcia.
Stosunek mocy wyładowania	% mocy nominalnej	Zależy od technologii, 100% i więcej	Moc, z jaką zasobnik może być rozładowany bez spowodowania uszkodzeń. Zwykle zależy od konstrukcji i technologii. Większość typów akumulatorów jest nieliniowych i wartość ta może być podawana w postaci krzywej w funkcji napięcia.

Wymagania dot. napięcia przemiennego	V lub kV	Zależy od technologii i mocy	Zależy od mocy; wartość napięcia przemiennego musi być zgodna z wymaganiami przyłączenia.
Wymagania dot. liczby cykli pracy	Liczba cykli	Zależy od technologii, 1000 do 10,000 cykli w okresie użytkowania	Zależy od zastosowania; dla uzyskania korzyści ekonomicznych liczba ta może się różnić, np. przy czasie zwrotu 10 lat i jednodniowym pełnym cyklu, potrzeba ok. 5000 cykli.
Wymagania dot. przenośności	Optymalna wielkość modułu	Zależy od technologii, 100% i więcej	Optymalna wielkość zasobnika powinna być znormalizowana, szczególnie dla zasobników mobilnych i lokalnych.
Stan naładowania (SOC)	W, % pojemności	Zależy od technologii i czasu	Parametr szczególnie ważny dla eksploatacji. SOC powinien być także prognozowany i stosowany dla zapewnienia optymalnej eksploatacji.
Głębokość wyładowania (DoD)	W, % pojemności	Zależy od technologii	Stosunek maksymalnej ilości energii, jaka może być wyładowana z zasobnika energii do maksymalnej energii magazynowanej.
Samorozładowanie	Dzienna utrata energii w % pojemności	Zależy od technologii	Oznacza straty energii w wyniku wewnętrznych procesów, takich jak reakcje endotermiczne (w akumulatorach), opory przepływu pomp (w akumulatorach przepływowych) lub odparowanie wody (w elektrowniach szczytowo-pompowych).
Gęstość energii	kW/m³ lub kW/litr	Zależy od technologii	Stosunek energii wyładowanej do całkowitej pojemności systemu magazynowania energii.
Czas uruchomienia	s	Od kilku sekund do minut	Czas wymagany do dostarczenia żądanej mocy do odbiorcy.
Czas rampy	s	Od kilku sekund do minut	Czas potrzebny do dostarczenia maksymalnej mocy.
Koszt jednostkowy	EUR/kW (dla mocy) EUR/kWh (dla energii)	Zależy od technologii: 300–2000 EUR/kW 50–1000 EUR/kWh	Najbardziej sensowny parametr użytkowania EES. Bardzo silnie zależy od technologii i zastosowania.

Źródło: P. Komarnicki, P. Lombardi, Z. Styczynski, *Electric Energy Storage Systems, Flexibility Options for Smart Grids*, Springer 2017.

Średnie wartości parametrów wymaganych dla systemów magazynowania energii EES podano w tabeli 3 z uwzględnieniem uprzednio wymienionych zastosowań.

Tab. 3. **Zestawienie wymagań technicznych dla różnych zastosowań**

Rodzaj zastosowania	Magazynowanie, min.	Moc	Napięcie AC, kV	Wymagania dot. cyklu pracy	Zajmowana powierzchnia (istotność)	Przenośność (istotność)
Rezerwa wirująca	101–102	101–102 MW, LC	101–102	101/rok, tylko sporadyczne wyładowanie	Średnia	Niska
Regulacja obszaru & rezerwa regulacyjna częstotliwości	Cykle ładownia/rozładowania < 101	101–102 MW, LC	101–102	Losowe, ciągłe cykle ładownia/rozładowania, występujące w 2-godzinnych blokach dziennie	Niska	Niska
Wyrównywanie obciążeń	102–0.5*103	100–102 MW, LC	101–0.5*103	102/rok, cykle rozładowanie regularne, okresowe, w blokach tygodniowych, zwiększone wykorzystanie w miesiącach wiosennych i jesiennych	Średnia	Pomijalna
Stabilność systemu przesyłowego	10-3–10-1	101–102 MVA, SC	101–0.5*103	103/rok, losowe cykle ładownia/rozładowania	Średnia	Niska
Regulacja napięcia w systemie przesyłowym	101–102	100–101 MVAR, SC	101–102	102/rok losowe cykle ładownia/rozładowania typowo w dni robocze, sezonowo zależnie od regionu – co najmniej 6–7 miesięcy	Średnia	Wysoka
Odłożenie rozbudowy obiektów systemu przesyłowego	10^2	10-1–101 MVA, LC	100–101	10^2/rok, cykle ładownia/rozładowania zwykle podczas szczytu w dzień roboczy	Średnia	Średnia
Odłożenie rozbudowy obiektów systemu dystrybucyjnego	10^2	10-1–100 MW, LC	100–101	10^2/rok, cykle ładownia/rozładowania zwykle podczas szczytu w dzień roboczy	Średnia	Średnia

Usługi zarządzania energią po stronie odbiorcy	101–102	10-2–101 MVA, LC	10-1–101	10^2–103/rok, w regularnych okresach	Wysoka	Zmienna
Jakość energii i niezawodność zasilania	10-3–100	10-2–101 MVA, SC	10-1–101	10^2–103/rok, ładowanie/wyładowanie w nieregularnych okresach	Wysoka	Zmienna
Zarządzanie energią odnawialną	100–103	10-2–10^2 MVA, LC	10-1–101	10^2–103/rok, regularne okresy, tylko rozładowanie, źródło nieprzewidywalne	Zmienna	Zmienna

Źródło: E. Handschin, Z. Styczynski (eds), *Power System Applications of the Modern Battery Storage*, Magdeburg 2014.

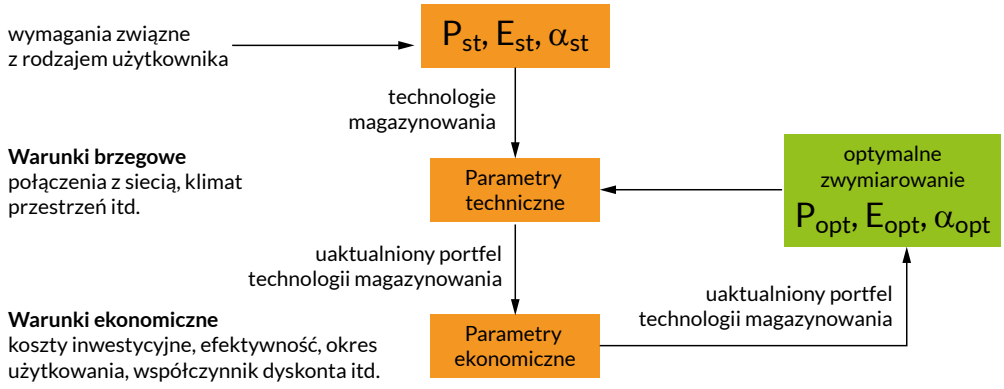
3. Wymiarowanie systemu magazynowania energii

Technologia i właściwości systemów magazynowania energii (krótkoterminowy lub długoterminowy, gradient mocy, maksymalna pojemność w odniesieniu do powierzchni) powodują, że systemy magazynowania nie nadają się do każdego przypadku użycia. Jest zatem istotne, aby wymiarowanie i projektowanie systemów magazynowania energii oraz wybór właściwej technologii, wielkości i parametrów przeprowadzać indywidualnie dla każdego przypadku[32].

Wymiarowanie rozpoczyna się od sporządzenia specyfikacji systemu na podstawie danego przypadku użycia. Kluczowymi parametrami są: moc maksymalna (PSt), maksymalna pojemność (CSt) i gradient mocy (αSt) (rys. 6). Parametry te, oraz specyfikacja zgodnie z zamierzonym zastosowaniem systemu, np. kryteria wstępnej kwalifikacji do stosowania jako rezerwa operacyjna, są uwzględniane przy wyborze technologii.

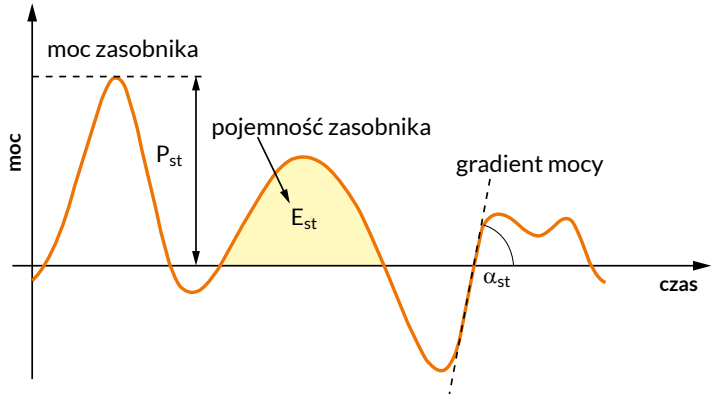
Następnie należy uwzględnić zewnętrzne kryteria stosowania systemu magazynowania energii, np. uwarunkowania sieciowe i/lub warunki klimatyczne, uzupełnione o czynniki ekonomiczne i techniczne oraz kryteria oceny istotne dla danego przypadku użycia (nakłady kapitałowe i przewidywany czas eksploatacji). W każdym przypadku użycia rezultatem procedury wymiarowania jest zoptymalizowana technologia magazynowania energii o predefiniowanych parametrach (moc, pojemność i gradient mocy). Jeżeli przedmiotem analizy jest np. przypadek użycia „Integracja pracującego w sposób nieciągły źródła energii odnawialnej, np. wiatrowej lub słonecznej, w systemie autonomicznym", to najpierw należy określić obciążenie rezydualne, a następnie niezbędną pojemność systemu magazynowania, zgodnie z procedurą przedstawioną na rys. 6. Optymalizację należy przeprowadzić w następujących po sobie krokach.

[32] P. Komarnicki, *Energy Storage Systems: Power Grid and Energy Market Use Cases*, "Archives of Electrical Engineering", DOI: https://doi.org/10.1515/aee-2016–0036 (5.04.2017).



Rys. 6. **Procedura wymiarowania systemu magazynowania energii**
Źródło: P. Komarnicki, *Energy Storage Systems*, *dz. cyt.*

Profil obciążenia rezydualnego (Pres) wynika z różnicy między generacją energii odnawialnej i zapotrzebowaniem. Zerowa wartość obciążenia rezydualnego (rys. 7) oznacza stan zbilansowania systemu (systemy magazynowania, OZE i obciążenie). Krzywa obciążenia rezydualnego o wartościach różnych od zera oznacza, że system nie jest zbilansowany; wartości dodatnie odpowiadają nadmiarowi generacji, wartości ujemne oznaczają zwiększone obciążenie. System magazynowania energii zaprojektowany do pracy z autonomiczną mikrosiecią musi dysponować możliwością pokrycia zarówno zapotrzebowania wynikającego z obciążenia odbiorami, jak i zapotrzebowania wynikającego z wytwarzania energii odnawialnej, p. równania (1) i (2), gdzie η jest całkowitą sprawnością procesu ładowania i rozładowania[33].



Rys. 7. **Wymiarowanie systemu magazynowania energii w celu zbilansowania obciążeń rezydualnych**
Źródło: P. Komarnicki, *Energy Storage Systems*, *dz. cyt.*

[33] Cigré, *WG C6.15 Electric Energy Storage Systems*, Paris 2011.

$$P_{st} = \max |P_{res}| \tag{1}$$

$$C_{st} = \max(E_{st}) = \max_{t=1}^{t,\max} \left(\int_{t_i + (P_{res} = 0)}^{t_i + 1(P_{res} = 0)} P_{res}\, dt \right) \tag{2}$$

$$\alpha_{st} = \max_{k=1}^{k,\max} \left(\frac{\Delta P_k}{\Delta t_k} \right) \tag{3}$$

Niektóre systemy magazynowania energii, takie jak akumulatory, mogą mieć większą pojemność magazynowania niż wyznaczona z równania (2). Wynika to z relacji między głębokością rozładowania (ang. *depth of discharge* – DoD) i okresem użytkowania. Niektóre akumulatory (np. z rodziny litowo-jonowych) szybko ulegają degradacji, jeżeli są ładowane do pełna, a następnie całkowicie rozładowywane. Aby zapewnić pełną pojemność w całym okresie eksploatacji akumulatora, należy także uwzględnić proces jego starzenia się.

Pojemność systemu magazynowania energii wyznaczona z równania (2) nie zawsze jest optymalna kosztowo. Powinna być ona wyznaczona na podstawie analizy kosztów i korzyści dla danego zastosowania systemu. Procedura wyznaczania optymalnej pojemności systemu wymaga oszacowania kosztów i korzyści dla analizowanej pojemości, zgodnie z równaniem (2). Jest to punkt początkowy procesu optymalizacji. Analiza wrażliwości sukcesywnie określa korelacje między kosztami i korzyściami dla różnych wartości pojemości systemu (przez jej zmniejszanie lub zwiększanie względem punktu początkowego). Wartość pojemności, która maksymalizuje korzyści (jeżeli istnieją) lub minimalizuje koszty, jest optymalną pojemnością systemu. W pewnych przypadkach najlepszą opcją z punktu widzenia ekonomicznego może być rezygnacja z zastosowania systemu magazynowania energii[34].

4. Scenariusze rozwoju technologii magazynowania energii do 2050[35]

Łączna pojemność systemów magazynowania energii zainstalowanych obecnie w świecie w systemach energetycznych jest szacowana na 140 GW[36]. Przeważającą część (99%) tej pojemności stanowi wielkoskalowe magazynowanie energii elektrycznej, jak elektrownie szczytowo-pompowe. Pozostały 1% stanowią różnego rodzaju akumulatory, CAES, wirujące zasobniki energii z kołem zamachowym i magazynowanie wodoru.

[34] Cigré, *WG C6.15*, *dz. cyt.*

[35] Na podstawie: International Energy Agency (IEA), *Technology Roadmap Energy Storage*, OECD/IEA, 2014, https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergystorage.pdf (5.04.2017).

[36] *Technology Roadmap Energy Storage*, International Energy Agency, OECD/IEA, 2014, https://www.iea.org/publications (5.04.2017).

Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) przedstawia perspektywy rozwoju energetyki (ETP) na nadchodzące lata. Opracowanie koncentruje się na Scenariuszu 2°C (2DS), który wyznacza kierunek wdrażania systemu energetycznego i trajektorię emisji, pozwalającej na co najmniej 50% ograniczenie globalnego wzrostu temperatury do 2°C. Scenariusz 2DS przewiduje redukcję emisji CO_2 (w tym emisji pochodzących ze spalania paliw oraz emisji z procesów i surowców w przemyśle) o blisko 60% do roku 2050 (w porównaniu z 2013 rokiem), przy prognozowanym spadku emisji dwutlenku węgla po roku 2050 aż do osiągnięcia neutralności wobec efektu cieplarnianego.

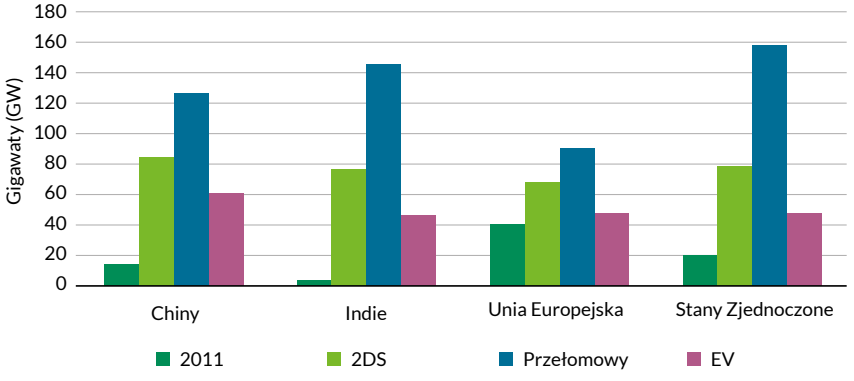
Przedstawione przez IEA perspektywy rozwoju energetyki ETP 2014 2DS przewidują, że w celu wspierania dekarbonizacji sektora elektroenergetycznego według scenariusza, w którym udział energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych sięga między 27% a 44% produkcji energii elektrycznej w roku 2050, zachodzi potrzeba przyłączenia do sieci 310 GW dodatkowej zdolności magazynowania energii elektrycznej w Stanach Zjednoczonych, Indiach i Chinach, co stanowi 85% zapotrzebowania na energię elektryczną w 2050 roku. Wizja ta ogranicza się do wykorzystania czterech kategorii przyłączonych do sieci systemów magazynowania energii elektrycznej, takich jak elektrownie szczytowo-pompowe, kompresyjne zasobniki energii, akumulatory przepływowe i uogólnione „inne" technologie akumulatorów. Istnieje także znaczny potencjał magazynowania energii cieplnej i potencjał niepołączonych z siecią zasobników energii elektrycznej.

Opracowane zostały trzy warianty scenariusza 2DS:

- scenariusz 2°C (2DS);
- scenariusz „przełomowy", przewidujący agresywne redukcje kosztów technologii magazynowania energii;
- scenariusz „pojazd elektryczny" (EV), przewidujący reakcję strony popytowej przy ładowaniu floty pojazdów elektrycznych, zwiększający elastyczność systemu.

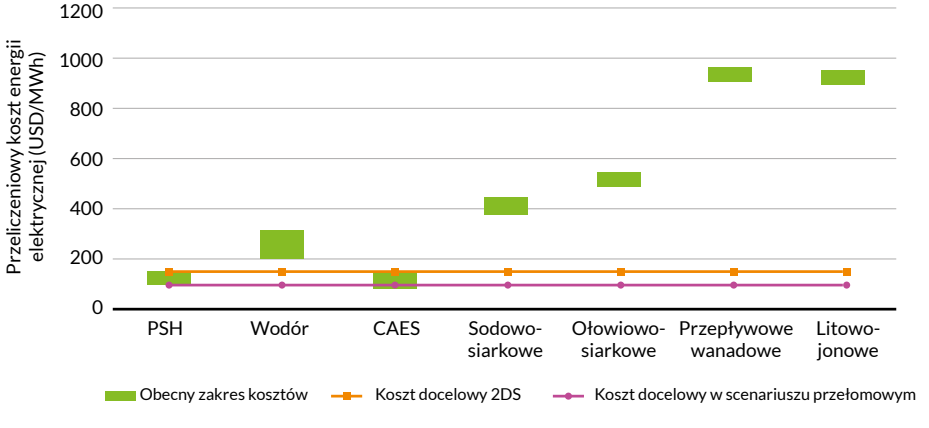
W obszarze tych usług technologie magazynowania energii konkurują, przy różnych założeniach, z energią elektryczną wytwarzaną w elektrowniach cieplnych i z reakcją strony popytowej. Scenariusz 2DS zakłada, że dzienny koszt magazynowania osiągnie poziom kosztu w technologii elektrowni szczytowo-pompowych, natomiast w wariancie „przełomowym" agresywne redukcje kosztów ułatwiają szersze wdrażanie systemów magazynowania energii.

Scenariusz 2DS służy jako przypadek odniesienia określający rozwój technologii wytwarzania energii elektrycznej od chwili obecnej do roku 2050 dla osiągnięcia celów niskiej emisyjności. Elastyczność powstałego systemu jest następnie badana przy użyciu liniowego modelu dyspozycji, gdzie koszt eksploatacji systemu elektroenergetycznego jest minimalizowany przez wyznaczanie dyspozycji wytwarzania i magazynowania w każdej godzinie danego dnia. Takie podejście pozwala na szczegółową ocenę potrzeby zasobników energii w odniesieniu do poziomu generacji ze scenariusza 2DS w zakresie warunków różnych technologii konkurujących w świadczeniu tych samych usług. Wynikające stąd pojemności magazynowania energii elektrycznej zestawiono na rys. 8.



Rys. 8. **Pojemność dobowego magazynowania energii elektrycznej dla magazynowania jednodniowego według regionów w latach 2011 i 2050 według scenariuszy ETP 2014**
Źródło: *Technology Roadmap Energy Storage, dz. cyt.*

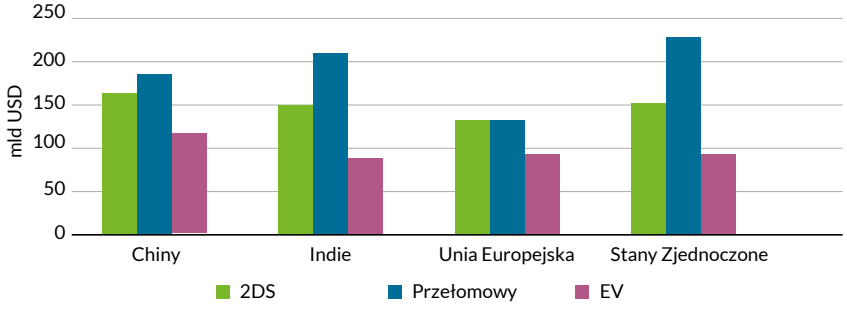
Scenariusz „przełomowy" jest opracowany jako estymacja najwyższej penetracji dobowego magazynowania energii elektrycznej w scenariuszu 2DS. Scenariusz ten zakłada agresywne redukcje kosztów w technologiach magazynowania energii elektrycznej dla zastosowań w trybie arbitrażu, w których technologie te staną się konkurencyjne wobec najmniej kosztownej opcji dostarczającej obecnie usługi arbitrażowe, jaką są turbiny gazowe w cyklu skojarzonym, eksploatowane przy współczynniku obciążenia 30% do 60%. Wynik ten przekłada się na przeliczeniowy koszt energii elektrycznej (LCOE) dobowego wielkoskalowego magazynowania w przybliżeniu 90 USD/MWh (rys. 9). Koszt przeliczeniowy LCOE obejmuje początkowy koszt inwestycyjny infrastruktury systemu magazynowania energii, eksploatacji i konserwacji oraz energii elektrycznej zużytej do ładowania zasobników energii. Redukcja kosztów technologii akumulatorów może być bardzo silna, a uwzględniając ich niski koszt jednostkowy energii (na kWh), koszty te mogłyby zostać obniżone więcej niż dziesięciokrotnie.



Rys. 9. **Przeliczeniowy koszt energii elektrycznej (LCOE) w scenariuszach na lata 2013 i 2050**
Źródło: *Technology Roadmap Energy Storage, dz. cyt.*

Wdrażanie na wielką skalę technologii reakcji strony popytowej może w wielu zastosowaniach konkurować z magazynowaniem energii elektrycznej. Scenariusz 2DS przewiduje znaczne rozpowszechnienie pojazdów elektrycznych. Scenariusz „EV" zakłada, że 25% dobowego zapotrzebowania energii elektrycznej przez pojazdy elektryczne jest obciążeniem kontrolowanym, dostępnym dla usług reakcji strony popytowej. Jest to przypadek skrajny: chociaż potencjał magazynowania energii w pojazdach elektrycznych może być wykorzystany do optymalizacji sieci, to aplikacje dom – pojazd lub pojazd – dom będą bardziej rozpowszechnione niż pojazd – sieć.

Poziom koniecznych inwestycji w technologie magazynowania energii jest różny w poszczególnych scenariuszach: od 380 mld USD, szacowanych dla czterech regionów modelowanych w scenariuszu EV, do 590 mld USD w scenariuszu 2DS i 750 mld USD w scenariuszu „przełomowym" (rys. 10). Koszty kapitałowe dla technologii magazynowania energii są zakładane na poziomie 1500 USD/kW i 50 USD/kWh w scenariuszach 2DS i EV, natomiast scenariusz „przełomowy" zakłada koszt 1200 USD/kW i 30 USD/kWh w roku 2050. Te potrzeby inwestycyjne są tylko ułamkiem 18 bln USD niezbędnych wg scenariusza 2DS w produkcji energii elektrycznej dla tych czterech regionów.



Rys. 10. **Potrzeby inwestycyjne w dziedzinie magazynowania energii, według różnych scenariuszy, na lata 2010 do 2050**

Źródło: *Technology Roadmap Energy Storage*, *dz. cyt.*

W celu dokonania pełniejszej oceny wdrażania magazynowania energii na poziomie krajowym należy przeprowadzić analizę potencjalnych możliwości wdrożenia uwzględniającą następujące charakterystyki regionalne:

- obecna i przyszła struktura profili zasilania i zapotrzebowania oraz dostępność zasobów,
- ramy regulacyjne i struktura rynku, w tym struktura kształtowania cen energii,
- status istniejących i planowanych inwestycji w infrastrukturę, w tym sieci przesyłowych i dystrybucyjnych,
- obecny poziom i przyszłe potrzeby w zakresie elastyczności systemu,
- inne opcje, konkurencyjne wobec elastyczności systemu.

Podsumowanie

Technologie magazynowania energii elektrycznej mogą świadczyć usługi w całym wachlarzu zastosowań w systemie energetycznym – od jakości energii po arbitraż energii lub magazynowanie sezonowe. Jednakże ocena wielkości przyszłych rynków dla każdego z tych zastosowań oraz poziom penetracji, jaki technologie te mogą osiągnąć na każdym z nich, całkowicie zależą od charakterystyk konkretnych systemów elektrycznych: dostępnych konkurencyjnych opcji, penetracji i lokalizacji zmiennych źródeł energii odnawialnej oraz poziomu rozwoju sieci elektroenergetycznych[37].

Obecnie dostępne są różne technologie systemów magazynowania energii, które znajdują się na różnych stadiach rozwoju. Z jednej strony istnieją wieloletnie doświadczenia z małymi zasobnikami energii, takimi jak akumulatory ołowiowo-kwasowe, ale także z dużymi systemami magazynowania energii, takimi jak elektrownie szczytowo-pompowe. Takie systemy nie zawsze są w stanie sprostać wymaganiom obecnego rozwoju sieci i rynku (okres użytkowania, gradienty mocy i efektywność). Z drugiej strony pojawiają się nowe, innowacyjne technologie, takie jak baterie przepływowe dla małych systemów magazynowania lub CAES dla dużych systemów. Bardzo często brakuje wciąż skalowalnych prototypów lub podstawowych doświadczeń z wykorzystaniem takich zasobników energii w terenie, tj. zastosowań pilotażowych.

Dlatego też niezbędne jest zdobywanie doświadczeń z działaniem systemów magazynowania energii w terenie (instalacja, utrzymanie i niezawodność), aby móc przekształcić systemy pilotażowe w niezawodne i konkurencyjne produkty. Badania wykazują, że istnieją praktyczne przypadki użycia, np. zmniejszenie obciążenia sprzętu lub zwiększenie wykorzystania potencjału odnawialnych źródeł energii, ale nie można ich jeszcze wykorzystać do celów komercyjnych z powodu braku dochodowości. Przedsiębiorstwa użytkowe rekompensują operatorom instalacji OZE ograniczenia generacji, a więc niewykorzystaną moc, i przenoszą te koszty dalej na konsumentów. Wykorzystanie systemu magazynowania, w sposób generujący przychody, może zmniejszyć koszty związane z „wąskim gardłem" sieci[38].

[37] *Technology Roadmap Energy Storage*, *dz. cyt.*; International Energy Agency (IEA), *Renewable Energy Medium-Term Market Report*, Market Analysis and Forecasts to 2020, Executive Summary, OECD/IEA 2014.

[38] P. Komarnicki, *Energy Storage Systems*, *dz. cyt.*

Bibliografia

ARUP, *Five Minutes Guide – Electricity Storage Technologies*, http://www.arup.com/ (8.12.2016).

Bridier L., David M., Lauret P., *Optimal design of a storage system coupled with intermittent renewables,* "Renewable Energy", 2014, No. 67.

Buchholz M., Styczynski Z., *Smart Grid Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*, Springer 2014.

Cigré, *WG C6.15 Electric Energy Storage Systems*, Paris 2011.

Deutsches ClenTech Institut DCTI, *Speichertechnologien 2013 – Technologien, Anwendungsbereiche, Anbieter*, 2013.

Electric Energy Storage, White Paper, IEC, Geneva 2011.

Energetyka, Automatyka przemysłowa, *Elektrotechnika, Tanie i mniejsze akumulatory przepływowe*, http://elektroonline.pl (23.03.2014).

Fuchs G., Lunz B., Leuthold M., Sauer D.U., *Technologischer* Überblick *zur Speicherung von Elektrizität*, Smart Energy for Europe Platform GmbH (SEFEP), 2012.

Global Energy Statistical Yearbook 2016, https://yearbook.enerdata.net (6.12 2016).

Handschin E., Styczynski Z. (eds), *Power System Applications of the Modern Battery Storage*, Magdeburg 2014.

International Energy Agency (IEA), *Renewable Energy Medium-Term Market Report*, Market Analysis and Forecasts to 2020, Executive Summary, OECD/IEA 2014.

IEC Market Strategy Board: Electrical Energy Storages, White Paper, December 2011.

Komarnicki P., *Energy Storage Systems: Power Grid and Energy Market Use Cases*, Archives of Electrical Engineering, DOI, https://doi.org/10.1515/aee-2016-0036 (20.04.2017).

Komarnicki P., Lombardi P., Styczynski Z., *Electric Energy Storage Systems, Flexibility Options for Smart Grids*, Springer 2017.

Kondziella H., Bruckner T., *Flexibility requirements of renewable energy based electricity systems – A review of research results and methodologies*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews", 2016, No. 53.

Lombardi P., Röhrig Ch., Rudion K., Marquardt M., Müller Mienack M., Estermann A.S., Styczynski Z., Voropai N., *An ACAES pilot installation in the distribution system: A technical study for RES integration*, "Energy Science&Engineering", Vol. 2, Issue 3, 2014.

Lombardi P., Styczynski Z.A., Sokolnikova T., Suslov K., *Use of energy storage in Isolated Micro Grids*, "Power Systems Computation Conference PSCC", 2014, Art. No. 7038361.

Mathiesen B.V., Lund H., Connolly D., Wenzel H., Ostergaard P.A., Möller B., Nielsen S., Ridjan I., Karnøe P., Sperling K., Hvelplund F.K., *Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions*, "Applied Energy", 2015, No. 145.

Mayer T., Sandurkov B., *Evaluierung der Weiterverwendung gebrauchter Lithium-Ionen-Zellen aus der Elektromobilität und Marktübersicht Hausbatterien*, EKF-Auftragsstudie SWD – 10.08.81-12.11.2013.

Netzentwicklungsplan 2014, *Factsheet, Inhalt, Konsultation, Sensitivitäten und weiteres Verfahren*, www.netentwicklungsplan.de (6.12 2016).

Pressemitteilung Younicos: Größter kommerzieller Batteriepark Europas / WEMAG und Younicos feiern Baubeginn / Fertigstellung im September 2014 (8.12.2016).

Pressemitteilung Younicos: Younicos und Vattenfall gleichen mit Großbatterie in Berlin kurzfristige Netzschwankungen aus / Erstmals kommerzieller Einsatz am Markt für Primärregelleistung (8.12.2016).

Quan D.M., Ogliari E., Grimaccia F., Leva S., Mussetta M., *Hybrid model for hourly forecast of photovoltaic and wind power*, "IEEE International Conference on Fuzzy Systems", 2013, art. No. 6622453.

Rehman S., Al-Hadhrami L.M., Alam M.M., *Pumped hydro energy storage system: A technological review*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews", 2015, No. 44.

Renewables 2016, Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, http://www.ren21.net (25.04.2017).

Stötzer M., Hauer I., Richter M., Styczynski Z.A., *Potential of demand side integration to maximize use of renewable energy sources in Germany*, "Applied Energy", 2015, No. 146.

Styczynski Z., Lombardi P., Seethapathy R., Piekutowski M., Ohler C., Roberts B., Verma SC., *Electric energy storage and its tasks in the integration of wide-scale renewable resources*, Integration of Wide-Scale Renewable Resources Into the Power Delivery System, CIGRE/IEEE PES Joint Symposium, 2009.

Styczynski Z.A., Stötzer M., Müller G., Komarnicki P., Belmans R., Driesen J., Hansen, A.B. Pecas Lopes, J. Hatziargyriou N., *Challenges and barriers of integrating e-cars into a grid with high amount of renewable generation*, 44th International Conference on Large High Voltage Electric Systems, 2012.

Subramanian M.A., Torardi C.C., Calabrese J.C., Gopalakrishnan J., Morrissey K.J., Askew T.R., Flippen R.B., Chowdhry U., Sleight A.W., *A New High-Temperature Superconductor: Bi2Sr3-x Cax Cu2O8+y.*, "Science" 1988, 26, Vol. 239, No. 4843.

Technologischer Überblick zur Speicherung von Elektrizität, Smart Energy for Europe Platform GmbH, RWTH Aachen, September 2012, http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/Ueberblick_Speichertechnologien_SEFEP_deutsch.pdf (5.04.2017).

Technology Roadmap Energy Storage, International Energy Agency, OECD/IEA, 2014, https://www.iea.org/publications (10.04.2017).

US Department of Energy, *Electric Energy Storage*, "Quadrennial Technology Review" 2015.

Streszczenie

Obecny rozwój sieci elektroenergetycznych i rynku, odznaczający się w ostatnich latach silnym wzrostem generacji rozproszonej, szczególnie w Europie, rozszerza obszar stosowania systemów magazynowania energii. Istniejące technologie magazynowania energii, np. elektrownie szczytowo-pompowe, powinny być unowocześniane i rozwijane przez nowe, ale jeszcze komercyjnie nieopłacalne technologie (np. akumulatory lub adiabatyczne magazynowanie energii sprężonego powietrza), spełniające oczekiwane wymagania. Optymalne wymiarowanie systemów magazynowania energii oraz optymalne strategie eksploatacji są głównymi wyzwaniami dla integracji tego rodzaju systemów z przyszłą inteligentną siecią (*smart grid*). W rozdziale dokonano przeglądu literatury na temat najnowszych zastosowań niszowych. Następnie przedstawione zostały najnowsze przykłady zastosowania i scenariusze działania w inteligentnych sieciach systemów magazynowania energii, które były badane w warunkach eksploatacyjnych. Dokonano analizy tych zastosowań pod względem technicznym i ekonomicznym.

SCENARIOS OF ENERGY STORAGE TECHNOLOGY DEVELOPMENT

SUMMARY

Current power grid and market development, characterized by large growth of distributed energy sources in recent years, especially in Europe, are according energy storage systems an increasingly larger field of implementation. Existing storage technologies, e.g. pumped-storage power plants, have to be upgraded and extended by new but not yet commercially viable technologies (e.g. batteries or adiabatic compressed air energy storage) that meet expected demands. Optimal sizing of storage systems and technically and economically optimal operating strategies are the major challenges to the integration of such systems in the future smart grid. This paper surveys firstly the literature on the latest niche applications. Then, potential new use case and operating scenarios for energy storage systems in smart grids, which have been field tested, are presented and discussed and subsequently assessed technically and economically.

Dr hab. inż. Krzysztof Polakowski

Ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej. Już w czasie studiów rozpoczął pracę jako asystent stażysta na Wydziale Elektrycznym PW, gdzie przygotował doktorat oraz uzyskał stopień doktora inżyniera habilitowanego. Jego zainteresowania naukowe związane są z szeroko pojętą elektrotechniką samochodową oraz z modelowaniem zbiorów punktów w przestrzeni 3D z wykorzystaniem metod CAD, a także zastosowań technik tomografii w praktyce inżynierskiej. Jest współzałożycielem specjalizacji Elektromechatronika Pojazdów na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Obecnie pełni funkcję kierownika Zakładu Konstrukcji Urządzeń Elektrycznych w Instytucie Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej.

Krzysztof Polakowski

Kierunki rozwoju rynku pojazdów elektrycznych

Wprowadzenie

Jeszcze pięć lat temu nie przewidywano, że przemiana na rynku pojazdów będzie odbywać się tak szybko. Dziś prognozy wskazują, że niezbyt odległa przyszłość może należeć do transportu elektrycznego. O szybkości zmian świadczy prognozowana sprzedaż samochodów elektrycznych (ang. *electric vehicle* – EV) oraz propozycje dostosowywania regulacji prawnych. Na przykład Francja wprowadza do prawa budowlanego wymaganie, zgodnie z którym po 2018 roku każdy nowy dom (jedno- i wielorodzinny) ma być wyposażony w terminal ładowania samochodu EV. Rządy Norwegii, Holandii i Indii przygotowują regulacje całkowitego wycofania samochodów z silnikami spalinowymi z rynku sprzedaży nowych samochodów po 2025 roku, a Austria z inicjatywy parlamentu analizuje możliwość takiego zakazu już po 2020 roku[1]. W przyjętej przez Radę Federalną Niemiec (Bundesrat) uchwale wzywa się Komisję Europejską, by najpóźniej od 2030 roku w całej Unii Europejskiej dopuszczać do ruchu jedynie bezemisyjne samochody osobowe – podaje Deutsche Welle[2].

Występująca w niektórych krajach duża dynamika rozwoju rynku sprzedaży samochodów EV nie słabnie mimo utrzymywania się niskiego poziomu cen ropy na giełdach światowych, a to oznacza, że potencjał postępu technologicznego i efektu wzrostu skali rynku dotyczącego elektromobilności jest wystarczający, aby wygrać na rynku tradycyjnych pojazdów w epoce niskich cen paliw węglowodorowych. Nabywcy pojazdów są już gotowi kupować i kupują zasilane wyłącznie z baterii samochody elektryczne (ang. *battery electric vehicle* – BEV), które będą dopiero wyprodukowane. Przykładem może być olbrzymi sukces amerykańskiej firmy Tesla Motors, która po oficjalnej prezentacji 31 marca 2016 roku samochodu EV Tesla Model 3 tylko w przeciągu 1,5 miesiąca pozyskała ponad 373 tys. chętnych. Wpłacili oni po 1000 USD, aby otrzymać promesę zakupu pojazdu, którego produkcja i sprzedaż rozpocznie się dopiero pod koniec 2017 roku. Tesla przewiduje rozpoczęcie pierwszych dostaw dla klientów w drugiej połowie 2017 roku. Klienci, którzy zamówili model 3 do maja

[1] J. Popczyk, *Przeobrażenia sektora transportu w świetle możliwości oferowanych przez technologie energetyki EP*, „Obserwator przebudowy energetyki (EP-NI-WEK)" 2016, nr 5, http://ilabepro.polsl.pl/bzep/issues/37/ (7.03.2017).

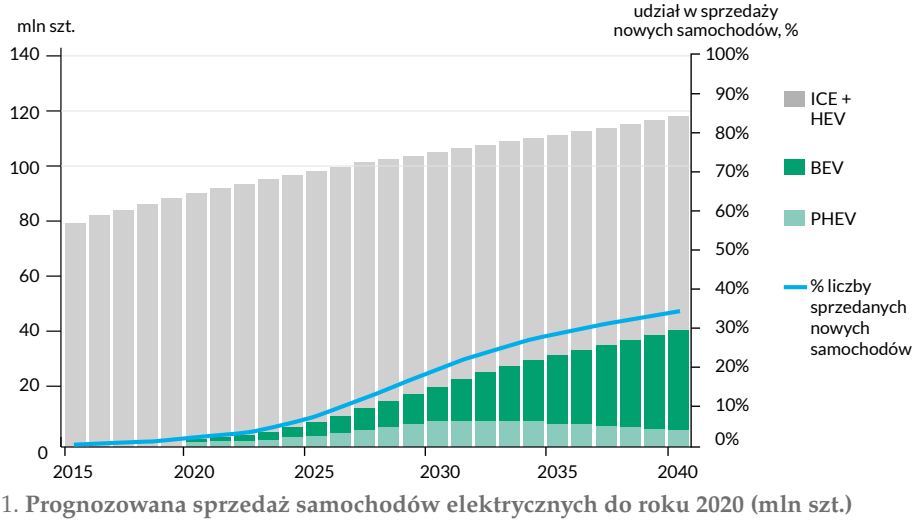
[2] A. Pawlak, *Chiny stawiają na samochody elektryczne. Niemcy pod presją*, „Deutsche Welle", 2016, http://www.dw.com/pl/chiny-stawiaj%C4%85-na-samochody-elektryczne-niemcy-pod-presj%C4%85/a-36215827 (22.04.2017).

2016 roku, otrzymają je do końca roku 2018. Przewidywana produkcja samochodów Tesla ma w tym czasie osiągnąć poziom 500 tys. samochodów rocznie[3]. Nabiera to szczególnego wydźwięku w sytuacji, kiedy rynek sprzedaży samochodów jest zalany ofertami „znakomitych" samochodów spalinowych[4].

W rozdziale omówione zostały prognozy oraz kierunki rozwoju rynku pojazdów elektrycznych w skali globalnej, ze szczególnym uwzględnieniem Polski.

1. Prognozy dotyczące rozwoju rynku pojazdów elektrycznych

Trudno dokładnie przewidzieć kalendarz zmian zachodzących na rynku BEV, jednak spadające ceny coraz pojemniejszych akumulatorów, rosnący zasięg samochodów elektrycznych i coraz większa synergia z niskoemisyjnymi technologiami produkcji energii elektrycznej[5], a także wsparcie ekonomiczno-polityczne ze strony władz publicznych i rosnące zainteresowanie konsumentów pozwalają przypuszczać, że są one kwestią najbliższej przyszłości. Specjaliści uważają, że w latach 2020–2025 nastąpi skokowe przełamanie trzech podstawowych barier hamujących rozwój rynku samochodów elektrycznych: mentalnej, technologicznej i infrastrukturalnej. W rezultacie po roku 2025 powinien przyśpieszyć wzrost sprzedaży samochodów elektrycznych BEV (rys. 1).



Rys. 1. **Prognozowana sprzedaż samochodów elektrycznych do roku 2020 (mln szt.)**
Źródło: J. MacDonald, *Electric vehicles to be 35% of global new car sales by 2040*, „Bloomberg New Energy Finance", 2016,
https://about.bnef.com/blog/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/.

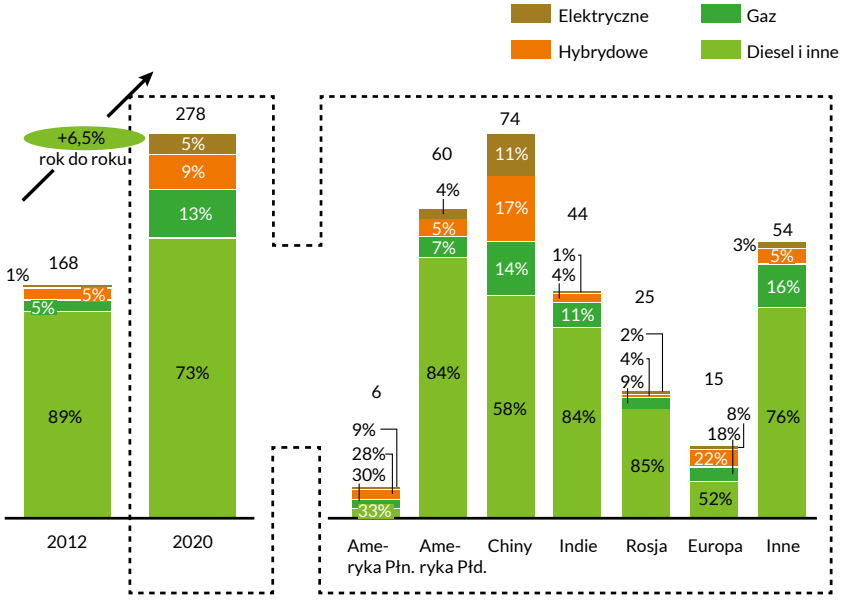
[3] F. Lambert, *Tesla sets July 1st 2017 as deadline for Model 3 parts with suppliers and internally*, "Electrek", 4.05.2016, https://electrek.co/2016/05/04/tesla-july-1st-2017-deadline-model-3-parts-suppliers/ (14.04.2017).

[4] J. Popczyk, *dz. cyt.*, s. 1.

[5] P. Barycki, *Tesla prezentuje Powerpack 2 i niesamowity dach solarny*, „SPIDER'SWEB", 2016, http://www.spidersweb.pl/2016/10/tesla-solar-roof.html (22.03.2017).

Przewiduje się, że w najbliższych latach najwięcej do przezwyciężenia problemów (wynikających z istniejących ograniczeń technologicznych oraz dużej złożoności zagadnienia), ale i najszybszy rozwój będzie w grupie osobowych samochodów BEV, a w dalszej perspektywie czasowej dotyczyć będzie autobusów, samochodów dostawczych i ciężarowych. Wolniejsze zmiany dotyczące elektromobilności w grupie bardziej masywnych pojazdów, wykorzystujących głównie sprawniejsze energetycznie wysokoprężne silniki spalinowe, spowodowane są faktem mniejszej ich liczebności w skali globalnej oraz koniecznością zastosowania w nich drogich akumulatorów o stosunkowo dużej masie, w odniesieniu do masy pojazdu i przewożonego ładunku.

W tej grupie w miarę szybko powinien rozwinąć się, wspierany finansowo przez państwowe władze centralne i samorządy miast, tańszy w eksploatacji bezemisyjny drogowy transport miejski oparty o autobusy elektryczne (rys. 2), ponieważ to w miastach należy jak najszybciej rozwiązać problemy ekologiczne wynikające ze zmasowanego transportu[6]. W tej dziedzinie mamy już firmy, które produkują takie pojazdy, i które z sukcesem wysyłają je za granicę, np. Solaris. Powstają klastry, a rząd stara się przekonywać samorządy do wymiany floty w ramach programu *E-bus*. Ma on doprowadzić do powstania taniego, efektywnego i nowoczesnego autobusu elektrycznego[7].

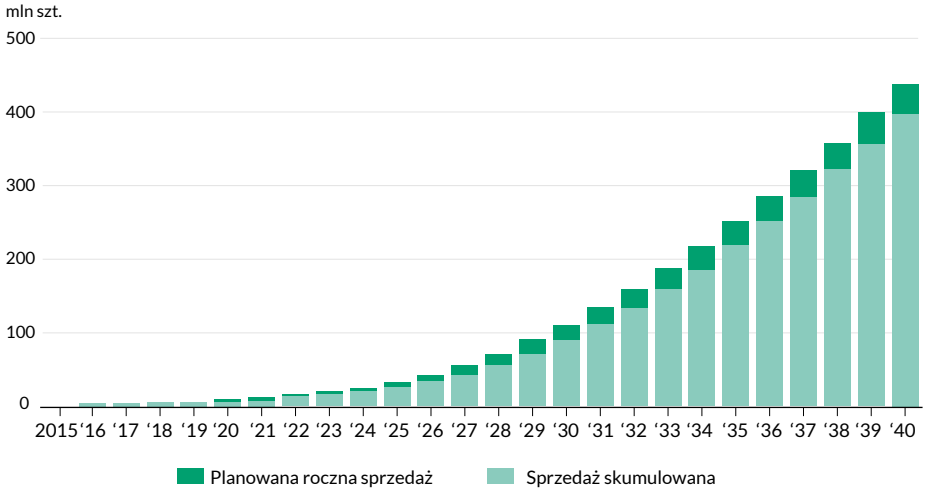


Rys. 2. **Prognozowana sprzedaż autobusów miejskich do roku 2020 (tys. szt.)**
Źródło: *Strategic Analysis of Global Hybrid and Electric HD Bus Market*, Frost & Sullivan, 2012.

[6] *A 10 Step Guide to Understanding, Calculating and Reducing Your Carbon Footprint*, „Shrink That Footprint" 2012, http://shrinkthatfootprint.com/shrink-your-travel-footprint (22.02.2017).

[7] P. Strawiński, *Z prądem po drogach i torach. Transport pasażerski w Polsce w 2050 roku*, „Forbes, Strategie", 2017, http://www.forbes.pl/trendy-w-transporcie-do-2050-roku,artykuly,211533,1,1.html (16.03.2017).

Potwierdzeniem tej prognozy jest dynamicznie rozwijający się nowy rynek związany z elektromobilnością. Według analiz po 2020 roku 35% nowo kupowanych pojazdów będą stanowiły samochody elektryczne, a w roku 2040 po drogach ma się przemieszczać ok. 440 mln EV[8] (rys. 3). Związane to będzie z gwałtownym wzrostem popytu na te pojazdy, których już obecnie sprzedaje się ok. 500 tys. sztuk rocznie. Dynamikę wzrostu sprzedaży samochodów elektrycznych ilustruje fakt, iż w samym 2015 roku ich globalna sprzedaż wzrosła o 80% w porównaniu z rokiem poprzednim. Za ten przyśpieszony wzrost odpowiada przede wszystkim olbrzymie (aż o 246%) zwiększenie sprzedaży w Chinach, a także – choć w mniejszym stopniu – w USA i niektórych krajach Europy Zachodniej, gdzie wzrost wyniósł około 80%[9].



Rys. 3. **Prognozowana sprzedaż samochodów EV (w ponad 95% BEV) na świecie w latach 2015–2040**

Źródło: Bloomberg New Energy Finance, cyt. za: T. Randall, *Here's How Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis A shift is under way that will lead to widespread adoption of EVs in the next decade*, „Bloomberg New Energy Finance", 2016, https://www.bloomberg.com/features/2016 ev-oil-crisis/ (17.03.2017).

Międzynarodowa Agencja Energii (IEA) wylicza, że zgodnie z celami klimatycznymi do 2050 roku pojazdów EV (w ponad 95% BEV) powinno być blisko miliard (wszystkich lekkich pojazdów ma być ponad dwa miliardy). W 2011 roku Komisja Europejska opublikowała białą księgę dotyczącą rozwoju transportu do 2050 roku, w której założono redukcję o 60% łącznej emisji dwutlenku węgla w transporcie. Dlatego też do roku 2050 zaleca się całkowicie wyprowadzić z miast auta o napędzie spalinowym.

[8] *Rekordowy wzrost sprzedaży samochodów elektrycznych, nawet 440 mln sztuk do 2040 r.*, „SOLSUM.pl, Akademia SOLSUM, Bloomberg New Energy Finance", 2016, https://solsum.pl/rekordowy-wzrost-sprzedazy-samochodow-elektrycznych/ (15.04.2017).

[9] J. MacDonald, *Electric vehicles to be 35% of global new car sales by 2040*, „Bloomberg New Energy Finance", 2016, https://about.bnef.com/blog/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/ (17.03.2017).

Historia pokazuje, że rynki, które znalazły się w podobnej sytuacji, nie rozwijają się ewolucyjnie w stabilnym tempie. W pewnym momencie następuje ich gwałtowny, niemożliwy do przewidzenia wzrost. W takich sytuacjach nowe technologie szybko wypierają z rynku rozwiązania dotychczas stosowane. Przykładem mogą być telewizory kolorowe w 1970 roku, a nawet samochody benzynowe na początku XX wieku. Przewidywanie tego typu zmian nie jest łatwe, bo gdy już się pojawiają – gwałtownie zmieniają cały świat. Jedna z takich rewolucji w dziedzinie transportu drogowego właśnie nabiera rozpędu, wskazując, że najbliższe dekady XXI wieku mogą należeć do pojazdów EV.

Jak prognozuje J. Popczyk, fakty te spowodują również zmianę cywilizacyjną polegającą na kształtowaniu się w obszarze energetyki społeczeństwa prosumenckiego, piątego nowożytnego ustroju społeczno-gospodarczego, po interwencjonizmie, korporacjonizmie, subsydiaryzmie i liberalizmie. Transformacja transportu w elektryczny jest częścią procesu rozwojowego energetyki prosumenckiej, bo samochód EV wpisuje się bardzo dobrze w model inteligentnego domu zeroenergetycznego (w pierwszej fazie *semi off grid*, z ukierunkowaniem na *off grid*). Najlepszym praktycznym dowodem jest biznesowo-prosumencki łańcuch wartości stworzony przez Elona Muska, prezesa firmy produkującej pojazdy BEV, Tesla Motors[10]:

> samochód Tesla; fabryka samochodów Tesla → zasobnik energii elektrycznej – akumulator litowo-jonowy; największa fabryka świata takich akumulatorów, (*Tesla Gigafactory*) → budynkowe źródło energii PV (ang. *photovoltaic*); firma *Solar City* → magazyny energii PV Tesli: domowy *Powerwall* i przemysłowy *Powerpack* → powiązanie energetyki prosumenckiej i elektromobilności z inteligentną infrastrukturą; platforma *Google* and *Solar City 2.0*.

2. Czynniki przyczyniające się do szybkich zmian w dziedzinie transportu

Czynniki, które wpływają na szybkie zmiany w obszarze transportu, to przede wszystkim:

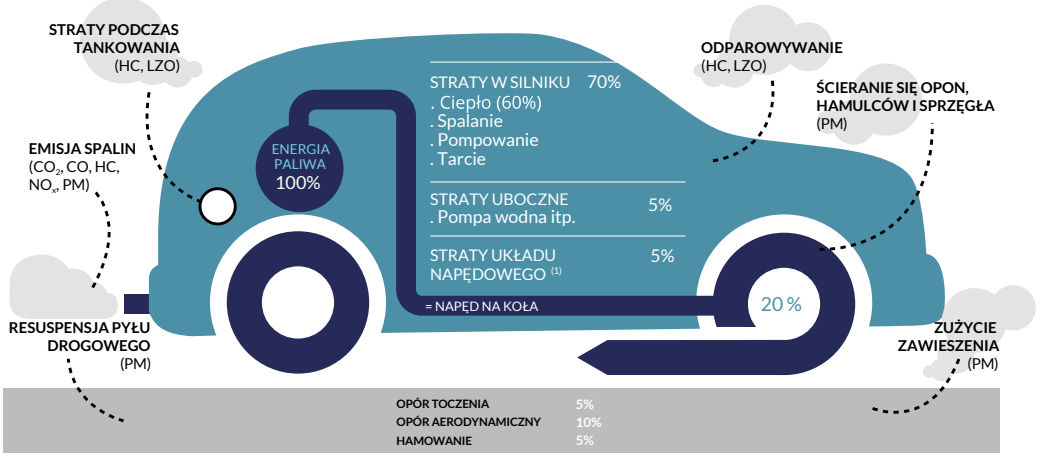
- wyczerpywanie się zasobów paliw kopalnych,
- uwarunkowania ekologiczne,
- niemożliwe do przezwyciężenia niedostatki konstrukcyjne silników spalinowych.

Światowe rezerwy ropy naftowej w 2013 roku szacowane były na 1 688 mld baryłek. Wydobycie ropy naftowej wynosiło około 86 mln baryłek dziennie. Z analizy publikowanych danych wynika, że przy takim wykorzystaniu w drugiej połowie XXI wieku mogą wyczerpać się opłacalne zasoby podstawowego źródła energii samochodów z silnikami spalinowymi[11]. Polska importuje aż 97% ropy i powinniśmy dążyć do ograniczenia zależności od importu tego surowca, żeby poprawić bezpieczeństwo energetyczne i transportowe kraju w najbliższej przyszłości.

[10] J. Popczyk, *dz. cyt.*, s. 1.

[11] *BP Statistical World Energy Review 2014*, BP, http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report (28.06.2014).

Wyjątkowo nieekologiczny i nisko efektywny silnik spalinowy emituje do atmosfery znaczące ilości szkodliwych produktów spalania (rys. 4). Zaliczyć do nich należy przede wszystkim: pyły (PM10 i PM2,5), tlenki azotu, siarki, węgla oraz metali ciężkich, np. kadmu, ołowiu i rtęci, a także niespalone węglowodory. Zawarte w spalinach prekursory chemiczne mogą wchodzić w reakcje w atmosferze, prowadząc do powstawania ozonu i smogu przyziemnego. W większych polskich (i nie tylko) miastach 60% zanieczyszczeń generowanych jest przez transport bazujący głównie na przestarzałych wysokoemisyjnych pojazdach spalinowych, co w efekcie w poważnym stopniu przyczynia się do przekraczania normatywnych dopuszczalnych wartości szkodliwych substancji we wdychanym powietrzu[12].



Rys. 4. **Straty energii i emitowane szkodliwe substancje przez samochód osobowy z silnikiem spalinowym**

Źródło: *Sygnały 2016 – W kierunku czystej i inteligentnej mobilności. Transport a środowisko w Europie*, Europejska Agencja Środowiska, 2016, s. 19, http://www.eea.europa.eu/pl/publications/sygnaly-2016-w-kierunku-czystej (28.02.2017).

W Polsce zaniedbania w tym obszarze są wyjątkowo duże i w Europie postrzegani jesteśmy jako jedni z największych trucicieli. Koszty społeczne tych zaniedbań są zatrważające, bo tak duża emisja szkodliwych produktów spalania zagraża nie tylko zdrowiu, lecz także życiu człowieka. Jak wynika z najnowszego raportu Europejskiej Agencji Środowiska (EEA), zanieczyszczenia powietrza ze wszystkich źródeł odpowiadają za ponad 400 tys. przypadków przedwczesnych zgonów. W Polsce z powodu zanieczyszczenia przedwcześnie umiera 47,3 tys. osób[13].

Istotny wpływ na zdrowie ma również hałas. Przewiduje się, że do 2020 roku około 80% Europejczyków będzie zamieszkiwać obszary miejskie, często w pobli-

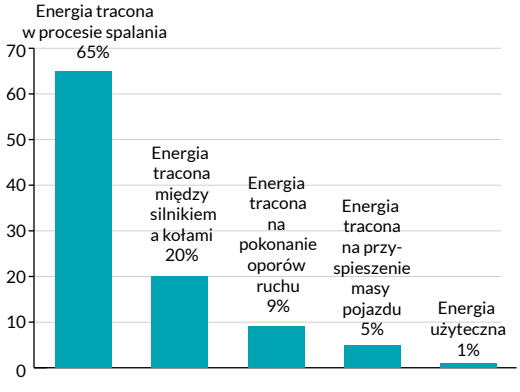
[12] *Air quality in Europe – 2015 report*, European Environment Agency, 2015, http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2015 (28.02.2017).

[13] *Sygnały 2016 – W kierunku czystej i inteligentnej mobilności. Transport a środowisko w Europie*, Europejska Agencja Środowiska, 2016, http://www.eea.europa.eu/pl/publications/sygnaly-2016-w-kierunku-czystej (28.02.2017).

żu uczęszczanych obiektów i węzłów infrastruktury transportowej, takich jak porty lotnicze i autostrady. Ocenia się, że na nadmierny hałas powodowany przez oparty na silnikach spalinowych ruch drogowy powyżej średniego rocznego poziomu (dla pory dziennej, wieczornej i nocnej, wynoszącego ponad 55 decybeli), narażonych jest 125 mln Europejczyków, co powoduje, że już obecnie w efekcie oddziaływania nadmiernego hałasu na organizm ludzki co najmniej 10 tys. osób przedwcześnie umiera[14].

Ograniczanie emisji spalin jest niezbędne w obszarze ochrony przed ich negatywnym oddziaływaniem na atmosferę i całe naturalne środowisko. Jest to jednak trudne zadanie do realizacji. Pomimo ponad 130-letniego udoskonalania silnik spalinowy jest nadal zaskakująco nieefektywny pod względem energetycznym. W efekcie musi spalać dużo paliwa i z tego powodu emitować duże ilości szkodliwych spalin.

Sprawność silników spalinowych na ogół nie przekracza 35% w procesie zamiany energii zawartej w paliwie na energię mechaniczną, z której wskutek strat nie więcej niż 15–21% (sprawność eksploatacyjna)[15] dostarczane jest do kół pędnych jako energia użyteczna. Z kolei tylko 6% pozostałej energii wytworzonej w silniku spalinowym jest wykorzystywane do przyśpieszania (bądź zatrzymywania) napędzanej masy. Przy założeniu, że około 95% tej masy stanowi sam pojazd, do przewiezienia kierowcy z pasażerem i niewielkim ładunkiem (w sumie około 140 kg) zużywane jest mniej niż 1% (rys. 5) energii zawartej w zatankowanym paliwie[16]. Jest to bardzo mała wartość, która obrazuje, dlaczego w tak nieekonomicznych pojazdach z silnikami spalinowymi trzeba spalać dużo paliwa, a w efekcie emitować olbrzymie ilości szkodliwych spalin.



Rys. 5. **Straty energii w samochodach z silnikiem spalinowym (%)**
Źródło: opracowanie własne.

Można zadać pytanie, czy nie podjęto starań, żeby zmienić tak niekorzystną sytuację. Odpowiedź jest twierdząca. W roku 1993 w USA powołano Konsorcjum na rzecz Pojazdów Nowej Generacji PNGV (*Partnership for a New Generation of Vehicles*), w skład którego weszły trzy największe wówczas amerykańskie koncerny samochodowe: Ford, General Motors i Chrysler oraz rząd USA (pokrywający w 50% koszty projektu). W ramach tego konsorcjum postanowiono skonstruować w ciągu 10 lat samochód zużywający tylko 3 litry paliwa na 100 km. Pojazd miał zachować taki sam poziom

[14] *W kierunku czystej i inteligentnej mobilności*, *dz. cyt.*, s. 27.

[15] *All-Electric Vehicles*, „US Department of Energy", 2013, https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml (10.03.2017).

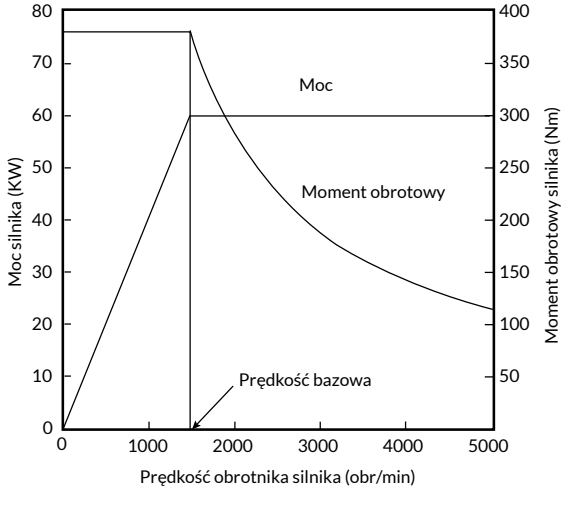
[16] J.B. Heywood, *Tabor na diecie*, „Świat Nauki", 2006, nr 182.

bezpieczeństwa, komfort jazdy, dynamikę jak pięciomiejscowy amerykański samochód osobowy średniej wielkości oraz mieć porównywalną z nim cenę. Po sześciu latach intensywnych poszukiwań i wydatkowaniu ponad 2 mld USD okazało się, że stworzenie tak oszczędnego paliwowo, a zatem i bardziej ekologicznego pojazdu, jest niemożliwe. Prawa fizyki w obszarze termodynamiki okazały się zbyt trudne do pokonania[17].

Realnym, skutecznym i (na obecną chwilę) praktycznie jedynym sposobem kompleksowego rozwiązania coraz gwałtowniej narastających problemów spowodowanych negatywnym oddziaływaniem na cały ekosystem transportu opartego na silnikach spalinowych byłoby szybkie przejście na transport samochodowy z napędem elektrycznym, umożliwiającym bezemisyjną zamianę w silniku energii elektrycznej na mechaniczną ze sprawnością rzędu 98% oraz przekazywanie 59–62% (sprawność eksploatacyjna) zakumulowanej w pojeździe energii użytecznej na koła pędne[18].

Od tzw. idealnego napędu środków transportu oczekuje się, aby wartość momentu napędowego na wale w chwili startu była maksymalna (co eliminuje konieczność stosowania przekładni) i aby jego moc była stała w szerokim zakresie zmian prędkości obrotowej (co zapewnia dobrą dynamikę pojazdu).

Wymogi te obecnie może spełnić tylko silnik elektryczny – widać to na rys. 6, ukazującym wykresy zmian momentu i mocy w funkcji prędkości obrotowej silnika elektrycznego o mocy 60 kW, który jest stosowany w pojazdach elektrycznych.



Rys. 6. **Charakterystyki zmian momentu obrotowego i mocy na wale silnika elektrycznego stosowanego do napędu pojazdów w funkcji prędkości obrotowej**

Źródło: E. Mehrdad, Y. Gao, A. Emadi, *Electric and Fuel Cell Vehicles*, „New York: CRC Press", 2010.

Silniki elektryczne stosowane w pojazdach mają wiele zalet:

- charakteryzują się dużym zakresem zmian prędkości obrotowej;

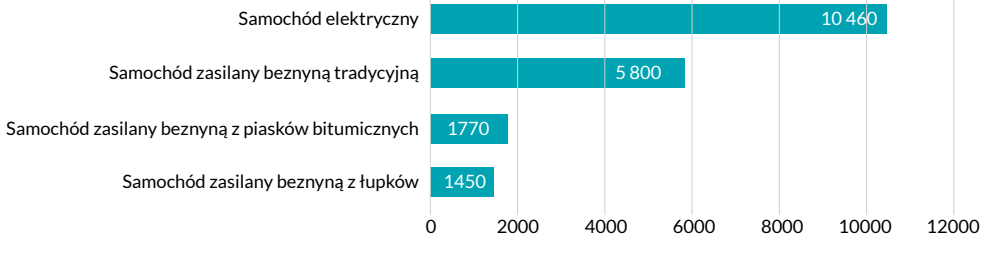
[17] G. Zorpette, *W oczekiwaniu na supersamochód*, „Świat Nauki", 1999, nr 94.

[18] E. Mehrdad, Y. Gao, A. Emadi, *Electric and Fuel Cell Vehicles*, „New York: CRC Press", 2010.

- pozwalają na szybkie przyśpieszanie i hamowanie pojazdów;
- charakteryzują się maksymalnym momentem obrotowym podczas ruszania, przy małych prędkościach i podczas jazdy pod górę nie wymagają użycia skomplikowanej konstrukcyjnie i powodującej dodatkowe straty przekładni, która (tak jak rozrusznik) w pojazdach EV staje się zbędna;
- mogą być bez problemu i większych strat energii często zatrzymywane i uruchamiane;
- posiadają odpowiednią i niezmienną w szerokim zakresie zmian prędkości moc zapewniającą dynamiczną i bezpieczną jazdę pojazdu;
- dzięki wykorzystaniu zjawiska rekuperacji umożliwiają w trybie pracy generatorowej sprawniejsze hamowanie z równoczesnym odzyskiwaniem w tym procesie energii, która w pojazdach z silnikami spalinowymi jest bezpowrotnie tracona;
- są ciche i bezemisyjne.

Podstawowe zalety konstrukcyjne silników elektrycznych o mocach wymaganych w pojazdach BEV to: prosta budowa, stosunkowo małe wymiary i niewielka masa oraz wysoka niezawodność, która umożliwia eliminację częstych, połączonych z niezbędnymi kosztami przeglądów eksploatacyjnych i napraw (filtry, oleje, płyny, świece, rozrządy, regulacje, usuwanie wycieków i naprawy silników, osprzętu, wymiany układów wydechowych itd.), a ich żywotność powinna zapewnić bezproblemowy przejazd 1,5 mln kilometrów[19].

Ze strony zwolenników silników spalinowych pada często zarzut, że przy obecnych rynkowych cenach źródeł energii napęd elektryczny nie jest ekonomiczny. Jeżeli rzetelnie przeliczyć koszty, uwzględniając stosunek energii włożonej do pozyskanej, to okazuje się, że najdalej (a więc i najtaniej) na jednym gigadżulu energii zainwestowanym w jej wytworzenie można w USA przejechać samochodem elektrycznym, bo aż 10 460 km, tradycyjnym benzynowym – 5 800 km, napędzanym benzyną z piasków bitumicznych – 1 770 km, a benzyną z łupków – 1 450 km (rys. 7).



Rys. 7. **Dystans, jaki pokona samochód na jednym gigadżulu energii zainwestowanym w jej wytworzenie w USA (km)**
Źródło: opracowanie własne.

[19] *Rekordowy wzrost sprzedaży samochodów elektrycznych, nawet 440 mln sztuk do 2040 r.*, „SOLSUM.pl, Akademia SOLSUM, Bloomberg New Energy Finance", 2016, https://solsum.pl/rekordowy-wzrost-sprzedazy-samochodow-elektrycznych/ (15.04.2017).

Przebytą odległość obliczono z uwzględnieniem energii wymaganej do wytworzenia każdego z paliw, a także gęstości energii zawartej w jej nośnikach, a dla pojazdów elektrycznych – kosztu transmisji energii elektrycznej[20]. Jeśli porównać całkowitą sprawność energetyczną oraz względy ekonomiczne wynikające z wytworzenia energii potrzebnej do napędzania pojazdów, wyraźną przewagę zyskują samochody z napędem elektrycznym.

3. Transport elektryczny w synergii z OZE optymalnym modelem rozwoju transportu drogowego

Transport elektryczny nie stanowi praktycznie żadnego zagrożenia dla środowiska naturalnego i jeżeli porównamy dane dla pojazdów z silnikami spalinowymi i elektrycznymi, to uzyskamy odpowiedź na pytanie, dlaczego BEV są pojazdami ekologicznymi. Silnik elektryczny jest praktycznie bezemisyjny, a pod względem sprawności (ponad 90%) w procesie zamiany energii elektrycznej na mechaniczną ponad trzykrotnie przewyższa sprawność energetyczną silników cieplnych. Samochód BEV nie pozostawia na parkingach i ulicach plam z oleju, które powstają z wycieków ze skrzyń biegów, mostów i silników spalinowych, a prawie bezszelestna praca silnika redukuje konieczność montowania ekranów wzdłuż tras szybkiego ruchu i w miastach, co da poważne oszczędności.

Oczywiście należy zgodzić się z faktem, że pojazdy BEV są na tyle ekologiczne, na ile ekologiczny jest sposób wytwarzania niezbędnej do jazdy energii elektrycznej gromadzonej w zasobnikach pojazdu. Amerykańscy naukowcy ze Stanford University[21] przez około 10 lat prowadzili badania w tym zakresie i na podstawie uzyskanych wyników twierdzą, że najbardziej korzystne i całkowicie realne zarówno od strony technicznej, jak i finansowej jest doprowadzenie do sytuacji, w której do 2030 roku cała energia elektryczna na świecie będzie produkowana w bezemisyjnym systemie WWS (ang. *Wind, Water, Sunlight*), wykorzystującym wyłącznie odnawialnie źródła energii (OZE) – wiatru, wody i słońca, pod warunkiem, że przystąpi się w skali globalnej do jak najszybszego wdrażania go w życie[22].

Dotychczas rynek motoryzacyjny i rynek energii elektrycznej były uznawane za oddzielnie i od siebie niezależnie, ponieważ nie istniały pomiędzy nimi żadne synergie ani korzystne powiązania dla klientów. Wynikało to głównie ze stosowania w obu sektorach odmiennych nośników energii (choć praktycznie w obu przypadkach opartych na nośnikach kopalnych). Tę sytuację powinny zmienić samochody elektryczne, które nie tylko stworzą ekologiczny i bardziej ekonomicznie opłacalny transport, lecz także korzystny dla energetyki sektor magazynowania energii elektrycznej. Energia może być akumulowana podczas tzw. energetycznej doliny nocnej w pojazdach i sta-

[20] M. Inman, *Prawdziwa cena paliw kopalnych*, „Świat Nauki", 2013, nr 261.

[21] M.Z. Jacobson, M.A. Delucchi, *Moc trzech żywiołów*, „Świat Nauki", 2009, nr 220.

[22] M.Z. Jacobson, *Roadmap to power the world as a whole for all purposes with wind, water, and sunlight (WWS)*, 2014, http://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/susenergy2030.html (10.03.2017).

cjach szybkiego ładowania wspartych zasobnikami energii, a oddawana do sieci energetycznej w czasie największego na nią zapotrzebowania[23].

Rozpowszechnienie się pojazdów elektrycznych zwiększy zapotrzebowanie na energię elektryczną. Zgodnie z prognozami w 2040 roku samochody elektryczne będą stanowić 25% pojazdów poruszających się po drogach, a do ich napędu w skali roku potrzebne będzie 2700 TWh energii elektrycznej, co stanowi 11% światowej produkcji z 2015 roku[24]. Możliwość zaspokojenia tego rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną ze źródeł niskoemisyjnych staje się bezproblemowa w państwach prowadzących aktywną politykę transformacji sektora energetycznego w kierunku rozwoju odnawialnych form energii, np. w Niemczech, gdzie zgodnie z założeniami Energiewende udział energii elektrycznej produkowanej z OZE ma osiągnąć nie mniej niż 65% w 2040 roku i nie mniej niż 80% w 2050 roku[25]. Dodatkową korzyścią z pokrycia zapotrzebowania pojazdów elektrycznych ze źródeł OZE jest zmniejszenie zużycia energii pierwotnej w sektorze transportu, co wynika z wysokiej sprawności silnika elektrycznego.

Współzależność zmian w sektorze transportu ze spowodowanymi innowacyjnymi technologiami przeobrażeniami sektora produkcji energii elektrycznej może z jednej strony dawać szanse na przyśpieszenie tempa transformacji całego sektora energetycznego w państwach stwarzających warunki do rozwoju energetyki prosumenckiej EP, ale z drugiej strony może powodować pogłębienie się opóźnienia technologicznego w państwach, które – tak jak Polska – widzą funkcjonowanie energetyki w paliwach kopalnych[26]. Z punktu widzenia ochrony środowiska to dodatkowe zapotrzebowanie na energię elektryczną powinno być zatem wygenerowane z wykorzystaniem OZE, w szczególności fotowoltaicznej PV i wiatrowej. Energia pozyskana ze słońca i wiatru poprzez coraz bardziej zaawansowane technologicznie i tańsze panele fotowoltaiczne oraz turbiny wiatrowe jest w stanie uniezależnić od problemów związanych z niedoborem energii większość użytkowników najbardziej zaludnionych obszarów Ziemi. Obecnie odbywać się to może w części, a w przyszłości – po dopracowaniu sposobów jej magazynowania – w stu procentach, przy dynamicznie rozwijającej się technologii i korzyściach wynikających ze wskaźnika skali.

Prace nad zmniejszeniem kosztów zasobników energii mogą zaowocować nie tylko powstaniem tańszych domowych magazynów energii stabilizujących prosumenckie

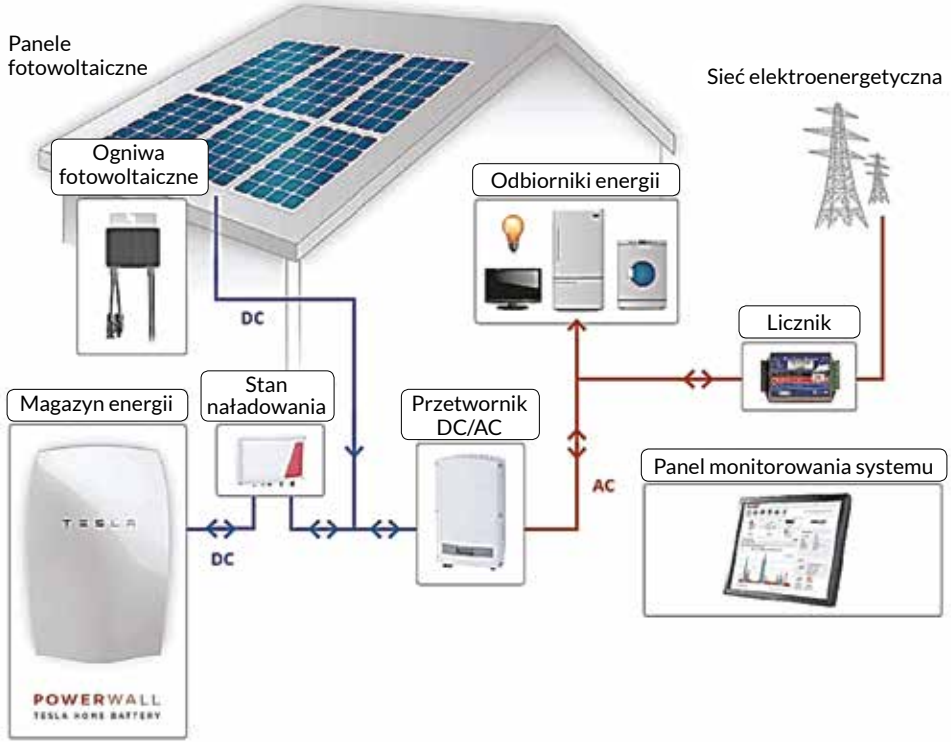
[23] J. Popczyk, M. Fice, *Autonomiczne rejony energetyczne*, w: *Prosumenckie społeczeństwo a energetyka prosumencka*, pod red. A. Bartoszek, M. Fice, E. Kurowska, E. Sierka, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katowice 2015.

[24] J. MacDonald, *Electric vehicles to be 35% of global new car sales by 2040*, „Bloomberg New Energy Finance", 2016, https://about.bnef.com/blog/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/ (17.03.2017).

[25] K. Appun, *Germany's greenhouse gas emissions and climate targets*, Clean Energy Wire, 2017, https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-greenhouse-gas-emissions-and-climate-targets (28.02.2017).

[26] R. Hwang, *Future of Electric Vehicles is Bright*, NRDC, 2016, https://www.nrdc.org/experts/roland-hwang/future-electric-vehicles-bright (28.02.2017).

instalacje OZE, lecz także ułatwić wyprodukowanie pojazdów elektrycznych konkurencyjnych cenowo z samochodami wyposażonymi w silnik spalinowy[27]. Niektórzy producenci samochodów elektrycznych już dzisiaj widzą konieczność jednoczesnej (z pojazdami BEV) produkcji większych niż w pojazdach magazynów energii, np. Tesla oferująca dla przedsiębiorstw zasobniki *Powerpack* (których pojemność ma sięgać 210 kWh, a moc – 50 kW), a dla gospodarstw domowych *Powerwall* (o nominalnej pojemności 14 kWh – realnie 13,5 kWh – i mocy 7 kW w szczycie, a 5 kW w trybie ciągłym; do jednej instalacji można podłączyć do 9 zasobników), co uwypukla związki między technologiami magazynowania energii w energetyce prosumenckiej EP (rys. 8) a transportem opartym na pojazdach EV wykorzystujących zmagazynowaną w nich energię.

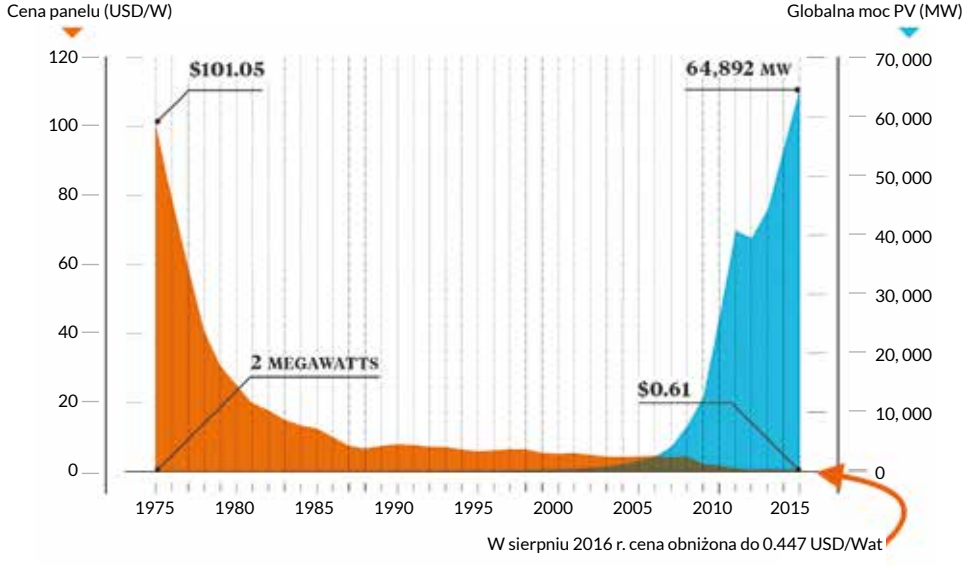


Rys. 8. **Projekt wykorzystania paneli fotowoltaicznych zainstalowanych w budownictwie indywidualnym z domowym magazynem energii elektrycznej w systemie energetyki prosumenckiej**

Źródło: *StorEdge Battery System*, Wind &Sun, 2015, http://www.windandsun.co.uk/products/Inverters/SolarEdge/StorEdge-Battery-System#.WMhOeqKmlaR (14.03.2017).

[27] R. Setlak, M. Fice, *Samochód jako podstawowe i awaryjne źródło energii dla prosumenckiej mikroinfrastruktury energetycznej (PME)*, w: *Prosumenckie społeczeństwo a energetyka prosumencka. Problemy wdrażania innowacyjnych ścieżek rozwoju OZE*, Uniwersytet Śląski, Katowice 2015.

Dynamiczne tempo zmian spowoduje, że fotowoltaika i energetyka wiatrowa w niezbyt odległej przyszłości produkować będą więcej energii elektrycznej niż będziemy jej potrzebować, pokrywając jednocześnie zwiększone zapotrzebowanie na energię potrzebną do poruszania się samochodów elektrycznych. Jeszcze kilka lat temu wizja takiego rozwoju rynku mogła uchodzić za przykład myślenia życzeniowego – głównie ze względu na wysokie koszty. Panele fotowoltaiczne notują średnio ok 50% wzrostu sprzedaży rocznie. Cena paneli PV w 1975 roku była około 226 razy wyższa niż w sierpniu 2016 roku (rys. 9). Korzystne relacje cenowe są zauważalne również w dziedzinie produkcji turbin wiatrowych.



Rys. 9. **Zmiany cen paneli fotowoltaicznych (USD/W) oraz globalnej mocy (MW) zainstalowanych paneli PV w latach 1975–2015**

Źródło: Z. Shahan, *10 Solar Energy Facts & Charts You (& Everyone) Should Know*, CleanTechnica, 2016, https://cleantechnica.com/2016/08/17/10-solar-energy-facts-charts-everyone-know/ (23.02.2017).

W perspektywie ostatnich dziesięcioleci świat podlega wielu pozytywnym zmianom (przede wszystkim dzięki badaniom naukowym i innowacyjności), które stwarzają szanse gruntownych zmian zachowań konsumentów przez zaoferowanie nowych korzystnych jakości w pozyskiwaniu energii i w transporcie elektrycznym.

Fotowoltaika i energetyka wiatrowa powinny stać się zdecydowanymi liderami na prosumenckim rynku OZE, głównie ze względu na łatwość ich zastosowań, możliwość nieskomplikowanego wkomponowania ogniw PV w budynki (np. poprzez zastosowanie paneli fotowoltaicznych w formie dachówek[28]) i prosty system tworzący z magazynami energii infrastrukturę ładowania samochodów elektrycznych.

[28] P. Barycki, *Tesla prezentuje Powerpack 2 i niesamowity dach solarny*, SPIDER'SWEB, 2016, http://www.spidersweb.pl/2016/10/tesla-solar-roof.html (22.03.2017).

4. *Shared mobility* w scenariuszach rozwoju rynku transportu elektrycznego

Motoryzacja osobowa w miastach oparta o samochody osobowe nie tylko zanieczyszcza powietrze, lecz także stwarza duże problemy w ruchu poprzez zakorkowane ulice czy brak miejsc do parkowania. Roczne koszty z tytułu kongestii tylko w 7 największych miastach Polski w 2015 roku oszacowano na około 3,8 mld zł, czyli 4 tys. zł na kierowcę[29]. Taka sytuacja wymusi w miastach ograniczenia ruchu pojazdów indywidualnych z jednoczesną popularyzacją form transportu współdzielonego (ang. *shared mobility*) opartego o pojazdy EV. Pomoże to zmniejszyć straty, a jednocześnie wygenerować nowy rynek o dochodach rzędu 25% wszystkich dochodów firm samochodowych w 2030 roku[30]. Jeżeli dodatkowo w tym obszarze uwzględni się niezbędne ograniczenia związane z nadmiernym hałasem i zanieczyszczeniem powietrza spalinami, to powstanie wymóg stworzenia dostosowań po stronie konstrukcji, wyposażenia i komputeryzacji pojazdów oraz infrastruktury. Spowoduje to przyśpieszenie rozwoju współdzielonego transportu elektrycznego, generującego w tym zakresie rynek oparty o nowe modele biznesowe.

Na podstawie prowadzonych badań dostrzega się (szczególnie wśród osób młodych) zmiany mentalne polegające na traktowaniu samochodu głównie jako środka transportu, a mniej jako odzwierciedlenia statusu społecznego. Zwiększa to zainteresowanie systemami umożliwiającymi korzystanie z jednego samochodu przez kilka osób (ang. *car-pooling*) lub opartymi na wypożyczalniach miejskich (ang. *car-sharing*). Spowoduje to, że w okresie przejściowym w transporcie miejskim naturalnym uzupełnieniem posiadanego samochodu spalinowego będzie korzystanie w tych systemach z tańszych w eksploatacji samochodów elektrycznych. Wygeneruje to (w oparciu o nowe modele) rynek biznesowy dodatkowych usług zaspokajających te potrzeby i wpływających przez to na zwiększone zainteresowanie elektromobilnością, co da nowe szanse funkcjonowania wielu firmom w tym obszarze. Znalezienie nowych korzystnych modeli biznesowych w procesie upowszechniania się pojazdów elektrycznych będzie bowiem istotnym czynnikiem, który może znacznie przyśpieszyć rozwój nowego rynku opartego o elektromobilność.

Samochody elektryczne nie mogą konkurować ceną z pojazdami tradycyjnymi między innymi z tego powodu, że obecnie stosunkowo wysoki koszt akumulatora ponosi w całości użytkownik pojazdu. Należy rozpatrzyć stworzenie modelu biznesowego umożliwiającego użytkownikowi dzielenie się tym kosztem z podmiotem odpowiedzialnym za stabilność pracy sieci elektroenergetycznej, co znacząco zwiększałoby atrakcyjność cenową pojazdów elektrycznych.

---

[29] *Rekordowy wzrost sprzedaży samochodów elektrycznych, nawet 440 mln sztuk do 2040 r.*, SOLSUM.pl, Akademia SOLSUM, Bloomberg New Energy Finance, 2016, https://solsum.pl/rekordowy-wzrost-sprzedazy-samochodow-elektrycznych/ (15.04.2017).

[30] *Automotive revolution – perspective towards 2030. How the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry*, Advanced Industries McKinsey&Company, 2016, https://www.acemobility.nl/wp-content/uploads/Auto-2030-report-Jan-2016.pdf (16.02.2017).

Według najnowszych analiz firmy badawczej Frost & Sullivan, w 2017 roku zostanie sprzedanych pół miliona samochodów napędzanych elektrycznie. Najszybciej rosnącymi rynkami zbytu są Europa i Chiny. W ciągu kolejnych pięciu lat po światowych drogach będzie jeździć ok. 10 mln takich pojazdów. Transport elektryczny może istotnie zmniejszyć koszty utrzymania m.in. flot firmowych. Konieczna jest jednak rozbudowa sieci ładowania, co będzie wpływać na powstawanie nowych modeli biznesowych w tym obszarze. Komisja Europejska uznała to za priorytet swoich działań w najbliższych latach. Szacuje się, że koszt budowy stacji ładowania powinien być niższy niż stacji paliwowych.

Przyjmuje się, że koszt przejechania jednego kilometra samochodem elektrycznym jest średnio ponad 6-krotnie mniejszy niż analogicznym pojazdem napędzanym silnikiem spalinowym. Do tego dochodzą niższe koszty ubezpieczenia oraz serwisowania, co niewątpliwie wygeneruje w tym obszarze nowe modele biznesowe. Dzięki nim, w przypadku rozbudowanych sieci ładowania i flot pojazdów, wydatki w transporcie mogą zmaleć nawet o kilkadziesiąt procent[31].

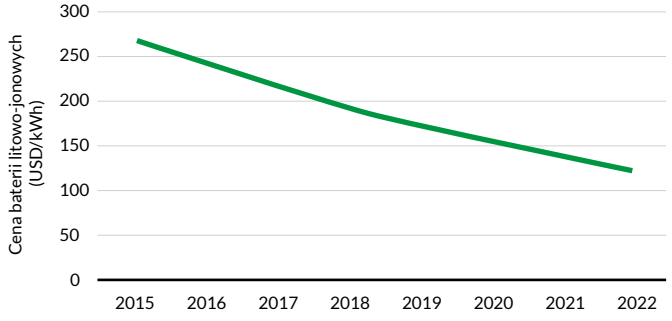
5. Rola prac naukowo-badawczych w scenariuszach warunkujących prawidłowy rozwój rynku pojazdów elektrycznych

Do osiągnięcia sukcesu w rozwoju rynku pojazdów elektrycznych poza powszechnymi zmianami o charakterze mentalnym potrzebny jest również wspomagany badaniami naukowymi rozwój w dziedzinie technologii i infrastruktury.

Poważną barierą upowszechnienia pojazdów BEV są niedoskonałości stosowanych elektrochemicznych akumulatorów, ale po wielu latach zaniedbań w zakresie badań i braku prac naukowo-badawczych w tym obszarze dostrzega się korzystną tendencję: dzięki nowym rozwiązaniom generowanym w obszarze nauki cena akumulatorów szybko spada, przy jednoczesnym wzroście pojemności (rys. 10).

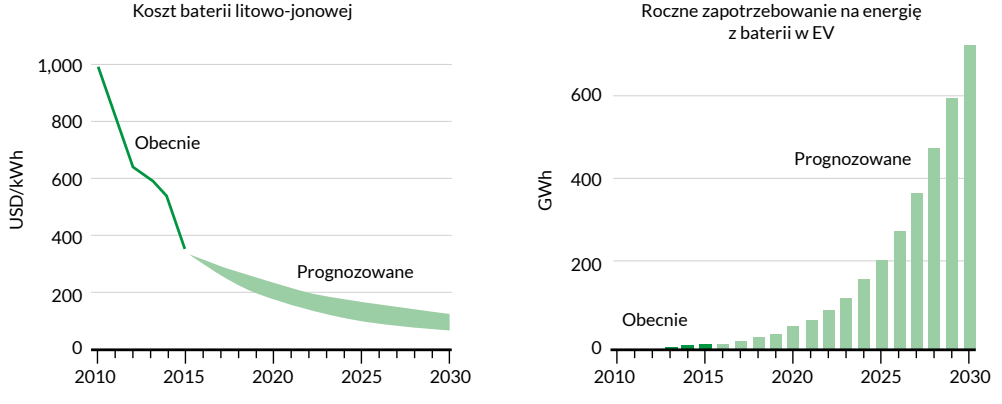
Amerykańska firma Tesla zapowiada osiągnięcie poziomu poniżej 100 USD za kWh do 2020 roku, a dane IEA wskazują na spadek ceny do 125 USD za kWh w 2022 roku. Ten korzystny, jak widać na rys. 11, trend będzie miał istotny wpływ na zmniejszenie różnicy w cenie pojazdu elektrycznego i pojazdu spalinowego, co z kolei może istotnie wpłynąć na rozwój rynku związanego z elektromobilnością. Należy jednak zintensyfikować dalsze prace naukowo-badawcze nad bardziej efektywnymi metodami magazynowania energii w pojazdach i stacjach szybkiego ładowania.

[31] *Rynek elektrycznych samochodów*, „Forbes", 2015, http://csr.forbes.pl/rynek-elektrycznych-samochodow,artykuly,190933,1,1.html (14.02.2017).



Rys. 10. **Prognozowana cena baterii litowo-jonowych w latach 2015–2022 (USD/kWh)**
Źródło: opracowanie Ministerstwa Energii na podstawie danych IEA na podstawie danych Międzynarodowej Agencji Energetycznej, *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce, 2016*, http://bip.me.gov.pl/node/26453 (23.02.2017).

W Polsce brakuje na razie rynku, który wspomógłby zgromadzenie niezbędnych nakładów finansowych na rozwój badań oraz przetestowanie przed wdrożeniem na szerszą skalę rozwiązań powstających w naukowych laboratoriach. Są to np. wyzwania wynikające z konieczności przebadania recyklingu zużytych akumulatorów oraz zweryfikowania możliwości ich dalszego wykorzystywania jako magazynów energii w tradycyjnej energetyce.



Rys. 11. **Cena baterii litowo-jonowych (USD/kWh) oraz rocznego zapotrzebowania przez EV na energię z baterii (GWh) w latach 2010–2030**
Źródło: T. Randall, *Here's How Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis A shift is under way that will lead to widespread adoption of EVs in the next decade*, „Bloomberg New Energy Finance", 2016, https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/ (17.03.2017).

Za pozytywny objaw w tworzeniu możliwości pozyskiwania środków publicznych i prywatnych na rozwój priorytetowych obszarów badawczych w obszarze elektromobilności należy uznać starania Ministerstwa Energii w jasnym sprecyzowaniu zadań w zakresie rozwoju przemysłu związanego z tą dziedziną. Dzięki temu środki publiczne i prywatne mogą odgrywać wobec siebie rolę komplementarną, a wyniki prac badaw-

czych mają większe szanse na komercjalizację. Prawidłowo przygotowany program rozwoju elektromobilności pozwoli ponadto uporządkować i skapitalizować wyniki dotychczasowych prac badawczych finansowanych ze środków publicznych, a dotyczących np. elektrycznych pojazdów i odzysku litu z hałd poboksytowych czy akumulacji energii[32].

Rozwój w obszarze nowych technologii cechuje duża innowacyjność. Spośród dziesięciu najbardziej innowacyjnych firm świata aż 6 angażuje się w rozwój elektromobilności, w tym liderzy tej grupy: firmy Apple, Google i Tesla. Wiąże się z tym fakt, że zdecydowanie większą aktywność naukowo-badawczą w segmencie samochodów elektrycznych od producentów z branży motoryzacyjnej przejawiają właśnie te firmy.

Jednak aby te ambitne cele osiągnąć, należy w scenariuszach rozwoju rynku pojazdów w Polsce uwzględnić konieczność szybkiego stworzenia kadry dobrze wykształconych fachowców. W dużej mierze dotyczyć to będzie inżynierów z kierunków studiowania obejmujących nową tematykę transportu elektrycznego w obszarze elektrotechniki i elektroniki samochodowej, automatyki oraz informatyki, ponieważ współczesne drogowe pojazdy z napędem elektrycznym tworzą rozbudowane systemy dynamicznego napędu, które nie będą mogły funkcjonować w czasie rzeczywistym bez ich kompleksowej automatyzacji wspomagającej kierowcę oraz bez informatycznej sieci pokładowej ściśle powiązanej z internetem. Odnosi się to również do dziedzin wiedzy dotyczących zasobników umożliwiających gromadzenie energii elektrycznej w pojeździe i magazynów energii sprzęgniętych z infrastrukturą umożliwiającą szybkie i sprawne jej uzupełnianie na trasie. Włączenie w tematykę transportu elektrycznego krajowych uczelni wyższych i instytutów naukowo-badawczych stworzy silny impuls nie tylko do dynamicznego rozwoju polskiej gospodarki, lecz także krajowej nauki, co stworzy szansę szybszego znalezienia się w grupie krajów innowacyjnych. Nowe programy nauczania związane z elektromobilnością dadzą duże pole do działania młodym adeptom wyższych uczelni, bo będą one głównie do nich skierowane, do ich umiejętności, pasji w pokonywaniu problemów, innowacyjności oraz całkiem nowatorskich pomysłów. Będą oni również głównymi beneficjentami korzystnych rozwiązań w tym obszarze. Powinno to zaowocować odwróceniem negatywnego trendu emigracji i zatrzymaniem w kraju dużej grupy najzdolniejszych absolwentów wyższych uczelni, niezbędnych do realizacji tych ambitnych celów.

6. Działania na rzecz rozwoju rynku pojazdów elektrycznych w Polsce

Instytut Spraw Obywatelskich (INSPRO) prognozuje, że rozwój rynku pojazdów elektrycznych stanowi nową niszę technologiczną. Wypełnienie jej byłoby korzystne dla gospodarski Polski, gdyż wiąże się z szansą na stworzenie własnych technologii (których potem nie trzeba będzie nabywać) i nowych miejsc pracy[33].

[32] *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce, dz. cyt.*

[33] *Transport niskowęglowy pozwoli zaoszczędzić 330 mld dol. rocznie*, Teraz środowisko, 2016, https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/Transport-niskoweglowy-pozwoli-zaoszczedzic-nawet-330-mld-dol-rocznie-2127.html (10.03.2017).

Proces stworzenia i rozwoju rynku pojazdów elektrycznych w Polsce zainicjowały Ministerstwo Energii i Ministerstwo Rozwoju podczas konferencji „W drodze do elektromobilności", zorganizowanej na Politechnice Warszawskiej 7 czerwca 2016 roku. Wicepremier Mateusz Morawiecki podkreślił wówczas, że: *przyszłość należy do aut elektrycznych, więc na nie zdecydowanie stawiamy*. W trakcie spotkania zaprezentowano założenia *Planu Rozwoju Elektromobilności w Polsce. Energia do przyszłości*[34] (dalej *Plan*). *Plan* został przyjęty przez Radę Ministrów 16 marca 2017 roku. Do jego głównych celów należą m.in.: redukcja zanieczyszczenia powietrza w dużych miastach, zwiększenie i optymalizacja popytu na energię elektryczną oraz zwiększenie możliwości jej magazynowania. *Plan* ma być oparty na polskich pracach naukowo-badawczych.

Za najważniejsze cele rozwoju elektromobilności w Polsce uznano w nim:

1. Stworzenie warunków dla rozwoju elektromobilności Polaków.
2. Rozwój przemysłu elektromobilności.
3. Stabilizację sieci elektroenergetycznej poprzez optymalizację popytu na energię elektryczną oraz zwiększenie możliwości jej magazynowania.

Scenariusze rozwoju rynku pojazdów elektrycznych w kontekście pierwszego punktu postawionych celów zakładają dążenie do osiągnięcia odpowiedniego poziomu nasycenia rynku samochodami elektrycznymi, tak aby w 2025 roku po polskich drogach jeździło milion samochodów BEV, co powinno stworzyć rzeczywistą synergię tych pojazdów z krajowym systemem elektroenergetycznym oraz pobudzić do rozwoju polski przemysł. Na obecnym etapie za istotną barierę rozwoju tego rynku uważa się negatywne nastawienie potencjalnych nabywców spowodowane stosunkowo niewielkim zasięgiem na jednym ładowaniu współczesnych samochodów elektrycznych, ich wysoką ceną oraz brakiem infrastruktury szybkiego ładowania, praktycznie uniemożliwiającej pokonywanie dłuższych tras.

Opracowany *Plan* proponuje scenariusze zakładające ulepszenie infrastruktury ładowania do poziomu, który da konsumentom pewność, że pojazd elektryczny będzie tak samo funkcjonalny jak pojazd spalinowy. Jeżeli chodzi o cenę, to zgodnie z optymistycznymi założeniami Tesli (cena 1 kWh poniżej 100 USD do 2020 roku), można oszacować, że średniej wielkości samochód elektryczny wykorzystujący akumulator o pojemności 20 kWh będzie w 2020 roku tańszy o ponad 3300 USD niż obecnie. Podobny spadek cen powinien wystąpić w wielu obszarach technologicznych, a efekty będą się kumulować[35]. Ponadto w procesie coraz większego upowszechnienia pojazdów BEV zacznie odgrywać rolę dodatni efekt skali, który spowoduje, że koszt opracowania i wdrożenia kolejnych rozwiązań będzie rozkładał się na coraz większą liczba konsumentów, a przez to pojazd będzie coraz tańszy. W początkowym przejściowym okresie czasu obniżenie kosztów nabycia i użytkowania pojazdu powinno wynikać z mechanizmów okresowego wsparcia finansowego, jak pokazano w tabeli 1.

[34] *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce*, Ministerstwo Energii, 2017, http://bip.me.gov.pl/files/upload/26453/Plan%20Rozwoju%20Elektromobilności%20w%20Polsce,%20przyjęty%20przez%20Radę%20Ministrów%20w%20dniu%2016%20marca%202017%20roku..pdf (20.03.2017).

[35] *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce*, *dz. cyt.*

Tab. 1. **Stosowane wsparcie finansowe przy zakupie pojazdów EV**

NORWEGIA	DANIA	HOLANDIA
Wielkość rynku w 2013 roku 7882 auta (5,5% rynku). Wsparcie rządowe: ▪ zwolnienie z podatku VAT od zakupu auta ▪ zwolnienie z innych podatków od zakupu i sprzedaży EV ▪ zwolnienie z opłat za parkowanie (szczególnie istotne w Oslo)	Budżet 6,6 mln dolarów. Wsparcie rządowe: ▪ zwolnienie z podatku VAT za zakup EV poniżej 2000 kg	Wsparcie rządowe: ▪ zwolnienie z podatku VAT od zakupu auta ▪ zwolnienie z rocznego podatku od posiadania auta
FRANCJA	**WIELKA BRYTANIA**	**CHINY**
Wsparcie rządowe: ▪ samochody emitujące poniżej 20 g CO_2/km otrzymują wsparcie 6 300 euro, z maksymalnym wsparciem 20% wartości samochodu brutto ▪ EV zwolnione są z podatku od samochodów	Plan: 800 000 EV do 2020 roku: Wsparcie rządowe: ▪ ulga w postaci 5 000 funtów od samochodów poniżej progu emisji 75 g CO_2/km ▪ zwolnienie z podatku od posiadania auta	Wielkość rynku 2020: 5 mln EV/PHEV przed 2020 rokiem Wsparcie rządowe: ▪ zwolnienie z 10% podatku na zakup EV
NIEMCY	**SZWECJA**	**USA**
Wielkość rynku w 2020: 1 mln EV/PHEV przed 2020 rokiem: Wsparcie rządowe: ▪ coroczne zwolnienie od podatku od posiadania auta przez 10 lat, licząc od daty zakupu EV ▪ 1 mld euro na badania i rozwój do 2013 roku	Wielkość rynku w 2020 roku: 600 000 EV Wsparcie rządowe: ▪ zwolnienie od podatku posiadania auta przez 5 lat, licząc od daty zakupu EV dla samochodów poniżej zużycia energii 37 kWh/100 km ▪ *spuer gerrn car premium:* wsparcie 40 000 SEK, dla pierwszych 5 tys. aut, poniżej emisji CO_2 na poziomie 50 g/km	Wielkość rynku w 2020 roku: 1 mln do 2015 roku: Wsparcie rządowe: ▪ do 7 500 USD na samochód dla pierwszych 200 tys. aut. ▪ ponad 2 mld dolarów subsydiów dla producentów baterii oraz komponentów EV/PHEV

Źródło: M. Chmieliński, *Ekologizacja transportu przez zastosowanie fotowoltaiki do zasilania samochodów elektrycznych (EV)*, „Ekonomia i Środowisko", 2015, nr 53, http://www.ekonomiaisrodowisko.pl/uploads/eis53.pdf (23.02.2017).

Aktywne włączenie się w upowszechnienie i rozwój polskiej elektromobilności pozwoli krajowym podmiotom zostać dostawcami technologii, a nie tylko ich biorcami, co z kolei przełoży się na wzrost PKB i powstanie nowych miejsc pracy.

Scenariusze rozwoju przemysłu elektromobilności w Polsce stawiają na zachęcenie potencjalnych inwestorów do poniesienia dodatkowych nakładów na wprowadzenie instrumentów stymulujących popyt na pojazdy elektryczne oraz budowę wymaganej do rozwoju infrastruktury. Należy podkreślić, że warunkiem sukcesu w tym obszarze będzie ścisła współpraca nauki i biznesu, przy czym należy pamiętać, że środki na ba-

dania powinny być skoncentrowane na wypracowywaniu rozwiązań, na które istnieje zapotrzebowanie po stronie przemysłu.

Szczegółowe scenariusze rozwoju przemysłu w obszarze elektromobilności w Polsce wskazują, że zapotrzebowanie Krajowej Sieci Energetycznej (KSE) na moc jest wartością zmienną. Nie jest to zbyt korzystne, ponieważ z powodu konieczności zapewnienia stabilności dostaw energii KSE musi utrzymywać w ruchu bloki energetyczne wykorzystywane tylko kilka godzin w ciągu dnia. Ta sytuacja wraz z tzw. doliną nocną, spowodowaną zmniejszonym zapotrzebowaniem na energię elektryczną w tym czasie, generuje dodatkowe zbędne koszty dla odbiorców energii elektrycznej. Włączenie zasobników energii pojazdów BVE i stacji szybkiego ładowania wspartych magazynami energii w bilansowanie systemu elektroenergetycznego może doprowadzić do przesunięcia obciążenia KSE w taki sposób, żeby można było obniżyć zapotrzebowanie na moc w szczytach, a zwiększyć w okresach pozaszczytowych. Należy jednak przy tym pamiętać, że ze względu na ochronę środowiska dodatkowe zapotrzebowanie na energię elektryczną powinno być wygenerowane głównie przez prosumencki rynek energii oparty o OZE.

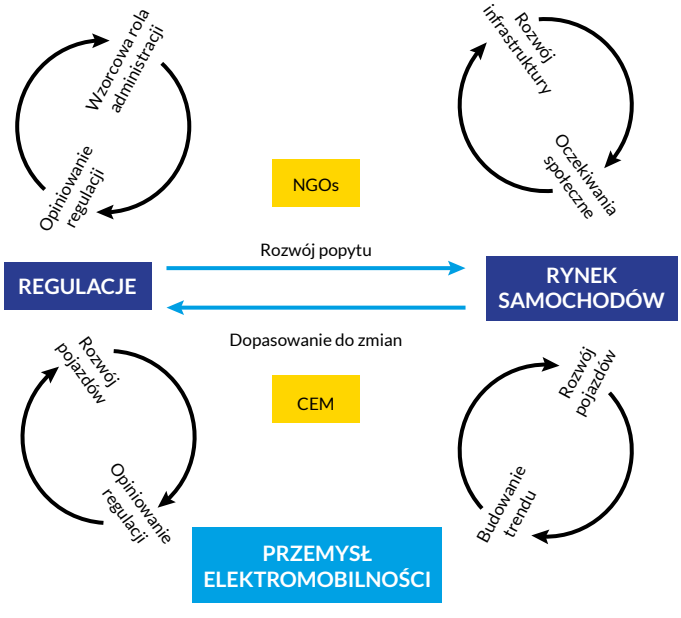
W celu sprawnego wdrożenia *Planu rozwoju elektromobilności w Polsce* prace podzielono na trzy etapy. Etap pierwszy obejmujący lata 2016–2018 ma charakter przygotowawczy. Etap drugi obejmujący lata 2018–2020 pozwoli stworzyć tzw. katalog dobrych praktyk na bazie uruchomionych w pierwszym etapie projektów pilotażowych. Na jego podstawie zostanie opracowany model zrównoważonego korzystania z ekologicznego transportu, który będzie propagowany w krajowym systemie edukacji szkolnej i przez środki masowego przekazu. W etapie trzecim, obejmującym lata 2020–2025, oczekuje się przełamania trzech podstawowych barier hamujących rozwój rynku samochodów elektrycznych: mentalnej, technologicznej i infrastrukturalnej. Samochody elektryczne nowej generacji staną się na tyle popularne, że będą traktowane jako pojazdy pierwszego wyboru, co poprzez szybko narastający popyt wykreuje modę na ekologiczny transport, czemu dodatkowo będzie sprzyjać prawidłowo rozwinięta infrastruktura ładowania. Sieć elektroenergetyczna, jeżeli zostanie wsparta OZE, będzie proekologiczna i w pełni przygotowana na dostarczenie niezbędnej ilości energii do ładowania 1 mln pojazdów elektrycznych oraz dostosowana do wykorzystania magazynów energii pojazdów i stacji ładowania wspartych magazynami energii jako stabilizatorów systemu elektroenergetycznego. Do *Planu* zostały przygotowane w formie pięciu załączników szczegółowe dokumenty precyzujące w poszczególnych etapach czasowych scenariusze działań w zakresie stworzenia warunków dla rozwoju elektromobilności w Polsce.

7. Koncepcja ekosystemu w procesie rozwoju rynku pojazdów elektrycznych w Polsce

W *Planie* zakłada się stworzenie i rozwój przemysłu elektromobilności, w oparciu o wykreowane dynamiczne środowisko w formie ekosystemu (rys. 12), który będą współtworzyć i w którym będą ze sobą współpracować oprócz administracji centralnej i samorządowej także przemysł, instytucje finansowe (publiczne i prywatne,

w tym fundusze typu *seed* i *venture capital*, aniołowie biznesu, akceleratory) oraz świat nauki i organizacje pozarządowe (ang. *non-govermental organisations*– NGOs)[36].

W celu skoordynowania w ekosystemie potencjału badawczego i przemysłowego proponuje się powołanie spółki celowej, której zadaniem będzie kreowanie nowych, inkluzywnych modeli biznesowych rozwoju elektromobilności, wykorzystywanych do minimalizacji ryzyka kapitałowego związanego z rozwijaniem nowych technologii, jak również do budowania kapitału społecznego. Dodatkowym narzędziem finansowym ekosystemu powinien być dedykowany fundusz *private equity*, otwarty na projekty związane z pojazdami elektrycznymi EV i infrastrukturą ładowania oraz na rozwiązania z zakresu *smart cities*. Wokół finansowania ekosystemu powinien dodatkowo rozwinąć się rynek instytucji podmiotów finansowych, które zainteresują się obszarem w momencie pojawienia się na rynku wartościowych projektów.



Rys. 12. **Koncepcja ekosystemu elektromobilności w Polsce**
Źródło: *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce, dz. cyt.*, s. 14.

Plan proponuje w tym obszarze podział zadań, które szczególnie zapewnią ciągłość finansowania dla innowacji w obszarze elektromobilności[37]. Rozwój przemysłu elektromobilności musi być skoordynowany z elektroenergetyką, posiadać algorytm optymalizujący w czasie i przestrzeni rozmieszczenie niezbędnej infrastruktury tak, aby nie zmniejszała ona funkcjonalności pojawiających się pojazdów elektrycznych EV, oraz spowodować rozwój rynku tych pojazdów w momencie, gdy gotowa będzie

[36] *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce, dz. cyt.*
[37] *Tamże*, s. 15.

istotna część infrastruktury, a system elektroenergetyczny będzie przygotowywany na większe zapotrzebowanie na energię.

Koordynować oraz generować impulsy do rozwoju i popularyzacji ekosystemu elektromobilności powinna poprzez CEM (*Centre for Evaluation and Monitoring*), administracja publiczna zarówno stopnia centralnego, jak i samorządowa (rys. 12). Sprawne pokonywanie głównych barier elektryfikacji transportu sygnalizowanych przez samorządy (np.: wyższe koszty zakupu pojazdów elektrycznych, brak dostępu do szybkiej infrastruktury ładującej oraz przewlekły proces inwestycyjny) nie może odbywać się bez zaangażowania administracji centralnej. Wykorzystując mechanizmy sprzężenia zwrotnego, administracja samorządowa powinna dostarczać informacji o faktycznym przebiegu wdrażania proponowanych centralnie działań, aktywnie współuczestniczyć przy budowie infrastruktury niezbędnej do rozwoju elektromobilności, a także dokonywać (szczególnie w pierwszym okresie zmian) zakupu pojazdów elektrycznych na potrzeby transportu środowiskowego i uzupełniać własny tabór oraz szybko reagować na oczekiwania społeczne, których zmiana jest niezbędnym warunkiem rozwoju elektromobilności.

Podsumowanie

Rozwijająca się infrastruktura zaopatrywania samochodów BEV w energię elektryczną, coraz niższe ceny zasobników energii w pojazdach EV, rosnący zasięg samochodów BEV, synergia z bezemisyjnymi, opartymi o OZE, technologiami produkcji energii elektrycznej, wsparcie ekonomiczno-polityczne i rosnące zainteresowanie konsumentów sprawiają, że trudno przewidzieć dokładne scenariusze zmian zachodzących na rynku pojazdów elektrycznych EV. Dynamika tych zmian, szczególnie w ostatnim czasie, pozwala wnioskować, że będą one bardzo szybkie. Prognozy wskazują, że w latach 2020–2025 nastąpi skokowe przełamanie trzech podstawowych barier hamujących dotychczasowy rozwój rynku samochodów elektrycznych: mentalnej, technologicznej i infrastrukturalnej. W rezultacie po roku 2025 powinny one stać się pojazdami pierwszego wyboru.

W najbliższych dwudziestu latach najwięcej do przezwyciężenia problemów (wynikających z ograniczeń technologicznych oraz dużej skali zagadnienia), ale i najszybszy rozwój będzie w grupie osobowych samochodów BEV, a w dalszej perspektywie czasowej autobusów, pojazdów dostawczych i ciężarowych. Wolniejsze zmiany w grupie bardziej masywnych pojazdów, wykorzystujących głównie sprawniejsze energetycznie wysokoprężne silniki spalinowe, spowodowane są faktem, że ze względu na mniejszą w skali globalnej liczbę tych pojazdów oraz stosunkowo dużą masę i koszt współczesnych ogniw mogących zapewnić wystarczającą dużą energię i moc nie skupiono się na ich przyśpieszonym rozwoju w kierunku elektromobilności.

Włączenie w tematykę elektromobilności krajowego sektora naukowo-badawczego jest niezbędne ze względu na konieczność rozwiązania wielu problemów uniemożliwiających prawidłowe i szybkie tempo zmian. Stworzy to silny impuls nie tylko do dynamicznego rozwoju polskiej gospodarki, lecz także krajowej nauki, co w efekcie da poważną szansę na szybsze znalezienie się w grupie krajów innowacyjnych.

W analizowanych kierunkach rozwoju rynku pojazdów elektrycznych za pozytywny objaw należy uznać starania Ministerstwa Energii przedstawione w *Planie Rozwoju Elektromobilności w Polsce*, w którym sprecyzowano scenariusze w zakresie rozwoju elektrycznego transportu w kraju. Dzięki proponowanym w nim koncepcjom rozwoju środki publiczne i prywatne będą odgrywać wobec siebie rolę komplementarną, a wyniki prac badawczych znajdą większe szanse na komercjalizację. Prawidłowo przygotowany scenariusz rozwoju rynku pojazdów EV pozwoli ponadto uporządkować i skapitalizować wyniki prac badawczych finansowanych ze środków publicznych (dotyczących stworzenia prototypów pojazdów elektrycznych oraz niezbędnej infrastruktury ładowania i obsługi pojazdów BEV, a także zasobników energii w pojazdach i w obszarze ładowania) oraz umożliwi prawidłowy rozwój elektroenergetyki.

W dyskusjach dotyczących scenariuszy rozwoju rynku pojazdów elektrycznych należy mieć na uwadze fakt, że współzależność zmian w sektorze transportu ze spowodowanymi innowacyjnymi technologiami przeobrażeniami sektora produkcji energii elektrycznej może z jednej strony dawać szanse na przyśpieszenie tempa transformacji w kierunku stworzenia w pełni ekologicznego sektora transportowego i energetycznego w państwach stwarzających warunki do rozwoju opartej o OZE energetyki prosumenckiej EP, ale drugiej strony, może powodować pogłębianie się opóźnienia technologicznego w państwach, które – tak jak Polska – widzą funkcjonowanie energetyki w paliwach kopalnych.

Bibliografia

Air quality in Europe – 2015 report, European Environment Agency, 2015, http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2015 (28.02.2017).

All-Electric Vehicles, U.S. Department of Energy, 2013, https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml (10.03.2017).

Appun K., *Germany's greenhouse gas emissions and climate targets*, Clean Energy Wire, 2017, https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-greenhouse-gas-emissions-and-climate-targets (28.02.2017).

Automotive revolution – perspective towards 2030. How the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry, Advanced Industries, McKinsey&Company, 2016, https://www.acemobility.nl/wp-content/uploads/Auto-2030-report-Jan-2016.pdf (16.02.2017).

A 10 Step Guide to Understanding, Calculating and Reducing Your Carbon Footprint, Shrink That Footprint, 2012, http://shrinkthatfootprint.com/shrink-your-travel-footprint (22.02.2017).

Barycki P., *Tesla prezentuje Powerpack 2 i niesamowity dach solarny*, SPIDER'SWEB, 2016, http://www.spidersweb.pl/2016/10/tesla-solar-roof.html (22.03.2017).

BP Statistical World Energy Review 2014, „BP", http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report (28.06.2014).

Chmieliński M., *Ekologizacja transportu przez zastosowanie fotowoltaiki do zasilania samochodów elektrycznych (EV)*, „Ekonomia i Środowisko", 2015, nr 2 (53), http://www.ekonomiaisrodowisko.pl/uploads/eis53.pdf (23.02.2017).

Etheridge D.M., Steele L.P., Langenfelds R.J., Francey R.L., Barnola J.-M., Morgan V.I., *Historical CO records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide*, *HadCRUT3 Global monthly surface air temperatures since 1850*, 2010, http://hadobs.metoffice.com/hadcrut3/index.html (28.02.2017).

Heywood J.B., *Tabor na diecie*, „ Świat Nauki", 2006, nr 182.

Hwang R., *Future of Electric Vehicles is Bright*, NRDC, 2016, https://www.nrdc.org/experts/roland-hwang/future-electric-vehicles-bright (28.02.2017).

Inman M., *Prawdziwa cena paliw kopalnych*, „Świat Nauki", 2013, nr 261.

Jacobson M.Z., *Roadmap to power the world as a whole for all purposes with wind, water, and sunlight (WWS)*, 2014, http://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/susenergy2030.html (10.03.2017).

Jacobson M.Z., Delucchi, M.A., *Moc trzech żywiołów*, „Świat Nauki", 2009, nr 220.

MacDonald J., *Electric vehicles to be 35% of global new car sales by 2040*, Bloomberg New Energy Finance, 2016, https://about.bnef.com/blog/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/ (17.03.2017).

Mehrdad E., Gao Y., Emadi A., *Electric and Fuel Cell Vehicles*, „New York: CRC Press", 2010.

Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce, Ministerstwo Energii, 2017, http://bip.me.gov.pl/files/upload/26453/Plan%20Rozwoju%20Elektromobilności%20w%20Polsce,%20przyjęty%20przez%20Radę%20Ministrów%20w%20dniu%2016%20marca%202017%20roku..pdf (20.03.2017).

Pawlak A., *Chiny stawiają na samochody elektryczne. Niemcy pod presją*, DW, 2016, http://www.dw.com/pl/chiny-stawiaj%C4%85-na-samochody-elektryczne-niemcy-pod-presj%C4%85/a-36215827 (22.04.2017).

Popczyk J., *Przeobrażenia sektora transportu w świetle możliwości oferowanych przez technologie energetyki EP*, „Obserwator przebudowy energetyki (EP-NI-WEK)", 2016, nr 5, http://ilabepro.polsl.pl/bzep/issues/37/ (7.03.2017).

Popczyk J., Fice M., *Autonomiczne rejony energetyczne*, w: *Prosumenckie społeczeństwo a energetyka prosumencka*, pod red. A. Bartoszek, M. Fice, E. Kurowska, E. Sierka, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katowice 2015.

Randall T., *Here's How Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis. A shift is under way that will lead to widespread adoption of EVs in the next decade*, „Bloomberg New Energy Finance", 2016, https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/ (17.03.2017).

RaveN, Wyniki sprzedaży aut elektrycznych w 2015 r. (kraje i modele), http://samochodyelektryczne.org/wyniki_sprzedazy_aut_elektrycznych_w_europie_w_2015r_kraje_i_modele.htm (16.03.2017).

Rekordowy wzrost sprzedaży samochodów elektrycznych, nawet 440 mln sztuk do 2040 r., „SOLSUM.pl, Akademia SOLSUM, Bloomberg New Energy Finance", 2016, https://solsum.pl/rekordowy-wzrost-sprzedazy-samochodow-elektrycznych/ (15.04.2017).

Rynek elektrycznych samochodów, „Forbes", 2015, http://csr.forbes.pl/rynek-elektrycznych-samochodow,artykuly,190933,1,1.html (14.02.2017).

Setlak R., Fice M., *Samochód jako podstawowe i awaryjne źródło energii dla prosumenckiej mikroinfrastruktury energetycznej (PME)*, w: *Prosumenckie społeczeństwo a energetyka prosumencka. Problemy wdrażania innowacyjnych ścieżek rozwoju OZE*, Uniwersytet Śląski, Katowice 2015.

Shahan Z., *10 Solar Energy Facts & Charts You (& Everyone) Should Know*, CleanTechnica, 2016, https://cleantechnica.com/2016/08/17/10-solar-energy-facts-charts--everyone-know/ (23.02.2017).

StorEdge Battery System, Wind & Sun, 2015, http://www.windandsun.co.uk/products/Inverters/SolarEdge/StorEdge-Battery-System#.WMhOeqKmlaR (14.03.2017).

Strategic Analysis of Global Hybrid and Electric HD Bus Market, Frost & Sullivan, 2012.

Strawiński P., *Z prądem po drogach i torach. Transport pasażerski w Polsce w 2050 roku*, „Forbes. Strategie", 2017, http://www.forbes.pl/trendy-w-transporcie-do-2050-roku-artykuly,211533,1,1.html (16.03.2017).

Sygnały 2016 – W kierunku czystej i inteligentnej mobilności. Transport a środowisko w Europie, Europejska Agencja Środowiska, 2016, http://www.eea.europa.eu/pl/publications/sygnaly-2016-w-kierunku-czystej (28.02.2017).

Transport niskowęglowy pozwoli zaoszczędzić 330 mld dol. rocznie, Teraz środowisko, 2016, https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/Transport-niskoweglowy-pozwoli-zaoszczedzic-nawet-330-mld-dol-rocznie-2127.html (10.03.2017).
Zorpette G., *W oczekiwaniu na supersamochód*, „Świat Nauki", 1999, nr 94.

Streszczenie

Opracowanie przedstawia rozważania dotyczące scenariuszy rozwoju rynku pojazdów elektrycznych BEV w wymiarze globalnym i krajowym. Rozwijająca się infrastruktura zaopatrywania samochodów w energię elektryczną, coraz niższe ceny zasobników energii elektrycznej, rosnący zasięg osobowych pojazdów BEV, synergia z bezemisyjnymi technologiami produkcji energii elektrycznej, wsparcie ekonomiczno-polityczne i rosnące zainteresowanie konsumentów sprawiają, że trudno przewidzieć dokładne scenariusze zmian zachodzących na rynku osobowych pojazdów elektrycznych BEV. Dynamika tych zmian, szczególnie w ostatnim okresie, wskazuje, że nastąpią one bardzo szybko. Prognozy przewidują, że w latach 2020–2025 nastąpi skokowe przełamanie trzech podstawowych barier hamujących dotychczasowy rozwój rynku samochodów BEV: mentalnej, technologicznej i infrastrukturalnej. W rezultacie po roku 2025 staną się one generalnie pojazdami pierwszego wyboru.

MARKET SCENARIOS FOR ELECTRIC VEHICLES

SUMMARY

The paper presents the considerations on the scenarios in global and domestic market development of electric vehicles BEV. Developing infrastructure supplying cars into electrical energy and lower prices of electrochemical batteries, the growing range of personal vehicles BEV, synergy with emission-free technologies of the production the electricity, economic – political support and growing consumer interest make it difficult to predict the exact scenarios of changes in the market of the personal electric vehicles BEV. The dynamics of these changes, particularly in the last period of time indicates that they will take place very quickly. The forecasts indicate that in the years 2020–2025 will be abrupt overcoming of three main barriers to the development the existing car market in this area: mental, technological and infrastructure. As a result, after 2025, the BEV vehicles will become generally the vehicles of the first choice selection.

Prof. dr hab. inż. Janina Molenda

Kierownik Katedry Energetyki Wodorowej na Wydziale Energetyki i Paliw AGH, zasiada we władzach Polskiego Stowarzyszenia Wodoru i Ogniw Paliwowych (www.hydrogen.edu.pl). Jest reprezentantem Polski w grupie przedstawicieli States Representative Group w Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking. Zasadniczym kierunkiem jej działań naukowych są badania właściwości strukturalnych, transportowych i elektrochemicznych niestechiometrycznych związków metali przejściowych w aspekcie ich zastosowania w technologii ogniw litowych, sodowych oraz wysokotemperaturowych ogniw paliwowych SOFC (ponad 150 publikacji z IF w tym obszarze). Prowadzone badania mają głęboki aspekt poznawczy, gdyż prowadzą do wyznaczenia relacji pomiędzy strukturą krystalograficzną, strukturą defektów jonowych i elektronowych związanych z niestechiometrią i domieszkami, strukturą elektronową a właściwościami transportowymi i reaktywnością ciał stałych. Ustalenie tej relacji jest niezmiernie ważne dla projektowania funkcjonalnych właściwości materiałów. Jej autorski elektronowy model procesu interkalacji pozwala przewidywać i projektować właściwości użytkowe interkalowanych materiałów elektrodowych dla odwracalnych ogniw litowych i sodowych. Rozwijana przez nią nowa dyscyplina naukowa – inżynieria stanów elektronowych – okazuje się skuteczną metodą w poszukiwaniu nowych materiałów dla ogniw Na-ion (Li-ion) i projektowaniu ich funkcjonalnych właściwości.

Dr. hab. inż. Konrad Świerczek

Profesor nadzwyczajny w Katedrze Energetyki Wodorowej oraz prodziekan ds. nauki na Wydziale Energetyki i Paliw AGH. W zakresie badań podstawowych zajmuje się korelacją pomiędzy właściwościami strukturalnymi a transportowymi w materiałach o mieszanym przewodnictwie jonowo-elektronowym. Badania koncentrują się nad nowymi materiałami katodowymi, anodowymi i elektrolitami dla wysokotemperaturowych stałotlenkowych ogniw paliwowych SOFC, materiałami do magazynowania tlenu oraz membranami ceramicznymi o mieszanym przewodnictwie elektrycznym.

Janina Molenda, Konrad Świerczek

Fundamentalne problemy rozwoju energetyki wodorowej

Wprowadzenie

Rozmieszczenie geograficzne światowych rezerw ropy i gazu jest bardzo nierównomierne, podczas gdy zapotrzebowanie na energię rośnie niemal wszędzie – dlatego coraz trudniej jest zapewnić stabilność i bezpieczeństwo energetyczne świata. Alternatywą dla niskoefektywnych technologii uzyskiwania energii ze spalania paliw kopalnych są zaawansowane technologie wytwarzania energii z wodoru, pozyskiwanego zarówno ze źródeł odnawialnych, jak i konwersji paliw kopalnych[1]. Tematyka energetycznego wykorzystania wodoru staje się w coraz większym stopniu kluczowa dla przyszłości energetycznej świata i jest obecnie przedmiotem intensywnych badań i wielkich nakładów finansowych w USA, Japonii i bogatych krajach Europy. Potencjalnie gospodarka wodorowa zapewnia dostępność dużych zasobów energii przy minimalnym skażeniu środowiska.

Zainteresowanie wodorem jako nośnikiem energii wynika z jego szczególnie korzystnych cech:

- reagując z tlenem, wodór uwalnia znaczną ilość energii – 143,1 MJ/kg, a jedynym produktem reakcji jest woda, co oznacza, iż do środowiska nie są uwalniane żadne zanieczyszczenia;
- wykazuje predyspozycje do bezpośredniego przetwarzania energii reakcji wodoru z tlenem na energię elektryczną w ogniwach paliwowych;
- wodór może być również stosowany jako paliwo w silnikach o spalaniu wewnętrznym i turbinach (odpowiednie technologie dostosowawcze są opracowane i już stosowane);
- możliwości magazynowania wodoru są potencjalnie większe w stosunku do elektryczności, która jest nośnikiem energii o priorytetowym znaczeniu (podkreślić należy komplementarność obu tych nośników); w praktyce takie możliwości powstaną w przyszłości, jeśli uda się skutecznie zapobiec ulatnianiu się wodoru z pojemników;
- istnieją potencjalne możliwości wytwarzania wodoru metodami bezemisyjnymi i niskoemisyjnymi.

Wodór praktycznie nie występuje w przyrodzie w postaci wolnej. Jest go jednak bardzo dużo w różnych związkach chemicznych, np. w wodzie czy w węglowodorach, co stwarza możliwości wytwarzania paliwa wodorowego ze źródeł lokalnych,

[1] J. Molenda, *Zarys stanu i perspektywy energetyki polskiej*, Biuletyn Polskiego Stowarzyszenia Wodoru i Ogniw Paliwowych, Wydawnictwa AGH, Kraków 2009, s. 7.

z wykorzystaniem metod najkorzystniejszych dla lokalnych warunków surowcowych i geograficznych, a więc w razie konieczności chociaż częściowego uniezależnienia od importu surowców energetycznych. Wodór może być wytwarzany z wykorzystaniem pierwotnych źródeł energii, takich jak: paliwa kopalne, biomasa, energia słoneczna, energia wiatru i wody (hydroenergia) lub energia reakcji jądrowych.

W rozdziale omówione zostały problemy rozwoju energetyki wodorowej, a także perspektywy jej rozwoju w Polsce.

1. Idea gospodarki wodorowej

Stworzenie gospodarki opartej na wodorze i elektryczności wymaga w zasadzie dopracowania odpowiednich technologii. Potrzeby badawcze szeroko pojętej gospodarki wodorowej można sklasyfikować w trzech obszarach:

- dywersyfikacja źródeł pozyskiwania wodoru, tak by koszt uzyskiwanego paliwa był porównywalny z kosztem paliw uzyskiwanych z kopalin (ropy naftowej, gazu ziemnego, węgla itp.);
- rozwój metod przechowywania wodoru w aspekcie zastosowania w transporcie oraz stworzenie bezpiecznej technologii przesyłania wodoru;
- energetyczne wykorzystanie wodoru w ogniwach paliwowych dla wysokoefektywnej generacji elektryczności.

Główną zaletą wodoru, która może zadecydować o sukcesie energetyki wodorowej, jest możliwość niemal bezpośredniego przetwarzania energii reakcji wodoru z tlenem na energię elektryczną w ogniwach paliwowych. Obserwowany od połowy XX wieku rozwój technologii ogniw paliwowych, związany z lotami kosmicznymi, przyczynił się do wzrostu zainteresowania energetyką wodorową. Analiza rynku energetycznego na przestrzeni ostatnich 200 lat wyraźnie wskazuje, iż nowe źródła energii i nośniki energii szybko się upowszechniały, gdy wprowadzane były na rynek razem z dedykowanymi im przetwornikami energii. W przypadku wodoru to właśnie ogniwa paliwowe różnych typów pełnią funkcję wysoko efektywnego przetwornika energii chemicznej w wygodną do przesyłania i transformacji energię elektryczną.

Technologie wodorowe są już dziś bardzo zaawansowane, ale nadal nie są konkurencyjne ekonomicznie wobec technologii wytwarzania energii z paliw kopalnych pod względem kosztów i niezawodności. Wciąż istnieje przepaść między obecnymi możliwościami technologicznymi produkcji, przechowywania i wykorzystania wodoru a prawdziwie konkurencyjną energetyką wodorową. Kluczem do sukcesu idei „energetyki wodorowej" jest rozwiązanie fundamentalnych zagadnień materiałowych. Konieczny jest jakościowy przełom w badaniach podstawowych, zrozumieniu zjawisk i mechanizmów oddziaływania wodoru z materią, aby doprowadzić do opracowania nowych funkcjonalnych materiałów dla technologii wodorowych, które zwiększą wydajność i obniżą koszty.

Jednocześnie ważnym zagadnieniem, które może zdecydować o powodzeniu gospodarki wodorowej, jest akceptacja społeczna powszechnego użytkowanie wodoru. Łatwopalność wodoru, wysoka lotność i przenikalność przez materiały to cechy bardzo niekorzystne, niesprzyjające bezpiecznemu użytkowaniu. Jest to jednak problem, z którym nauka zapewne sobie poradzi. Prowadzone są szeroko zakrojone badania

nad hydrodynamiką mieszanin wodór – powietrze, spalaniem w obecności innych gazów, kruchością materiałów po uwodornieniu itp. Niezbędne jest także opracowanie standardów zabezpieczeń oraz zasad użytkowania wodoru na co dzień. Niezmiernie ważnym zadaniem jest edukacja społeczeństwa w zakresie celowości wprowadzania i zalet technologii wodorowych, której prowadzenie na szerszą skalę nabierze na znaczeniu, kiedy dostępne będą dojrzałe rozwiązania technologiczne.

O popularności idei stosowania wodoru jako nośnika energii, szczególnie w krajach o najwyższym rozwoju gospodarczym, świadczy powstanie i ugruntowanie się nowych pojęć, takich jak „gospodarka wodorowa" (ang. *hydrogen economy*) oraz „społeczeństwo ery wodorowej" (ang. *hydrogen community*). Przyszłość gospodarki wodorowej zależeć będzie jednak głównie od jej konkurencyjności rynkowej w stosunku do innych rozwiązań energetycznych, przy czym istotny wpływ na ostateczne rozstrzygnięcie będą miały wzrastające ceny kopalnych surowców energetycznych, rozwój nowych technologii oraz możliwości adaptacji technologii tradycyjnych do nowych warunków. Ponieważ gospodarka wodorowa dopiero zaczęła się rozwijać i jest tzw. wschodzącą technologią (ang. *emerging technology*), rozstrzygającym czynnikiem będzie postęp naukowy w tej dziedzinie.

2. Metody otrzymywania wodoru

Obecnie na skalę przemysłową wodór wytwarzany jest głównie na potrzeby przemysłu chemicznego, do syntezy amoniaku i metanolu, a także w przemyśle petrochemicznym. Całkowita roczna produkcja światowa wodoru wynosi około 500 mld m_N^3. Odpowiada to około 2% całkowitego zużycia energii z surowców pierwotnych. Około połowa produkowanego wodoru wytwarzana jest z gazu ziemnego, jedna trzecia z płynnych paliw węglowodorowych, jedna piąta z węgla, a tylko 4% uzyskiwane jest na drodze elektrolizy wody[2].

Na skalę przemysłową wodór otrzymywany jest do tej pory głównie przez konwersję z parą wodną paliw węglowodorowych oraz poprzez ich częściowe utleniania[3]. Najczęściej stosowanym surowcem jest gaz ziemny, którego głównym składnikiem jest metan CH_4 (70–98%). Obecne w gazie ziemnym zanieczyszczenia (H_2S, CO_2, N_2) muszą być usunięte przed właściwym procesem technologicznym z uwagi na zatrucie stosowanych w tym procesie katalizatorów niklowych. Proces, o skomplikowanej sekwencji reakcji, w której główną rolę odgrywają tzw. reakcja reformingu parowego i reakcja gazu wodnego, jest źródłem gazu syntezowego:

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$$
$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$$

[2] K. Kordesch, G. Simader, *Fuel Cells and Their Applications*, VCH, Weinheim 1996; S. Srinivasan, *Fuel Cells. From Fundamentals to Applications*, Springer, New York 2006.

[3] J.R. Rostrum-Nielsen, K. Aasberg-Petersen, *Steam reforming, ATR, partial oxidation: catalysts and reaction engineering*, *Handbook of fuel cells*, Vol. 3, s. 162; S. Haji, K.A. Malinger, S.L. Suib, C. Erkey, *Fuels and Fuel Processing*, w: N. Sammes (ed.) *Fuel Cell Technology. Reaching Towards Commercialization*, Springer, London 2006, s. 184.

Proces prowadzony jest w wysokich temperaturach 750–900°C, a ponieważ jest on silnie endotermiczny, wymaga doprowadzenia ciepła z zewnątrz. Ciepło to uzyskuje się najczęściej na drodze spalenia dodatkowych ilości gazu ziemnego.

Kolejną metodą otrzymywania wodoru na skalę przemysłową, jednak o dużo mniejszym znaczeniu, jest zgazowanie węgla. Jest to również reakcja endotermiczna, w której atomy węgla reagują z parą wodną zgodnie z reakcją[4]:

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

Podobnie jak w przypadku reformingu parowego gazu ziemnego warunkiem zgazowania jest prowadzenie procesu w wysokiej temperaturze. W tym celu część dostarczonego paliwa węglowego jest spalana w strumieniu tlenu lub powietrza w tej samej części reaktora, w której następuje zgazowanie. W ten sposób można osiągnąć równowagę termiczną między reakcjami endotermicznymi i egzotermicznymi, a więc nie zachodzi potrzeba dostarczania lub odbierania strumienia cieplnego do/od reaktora. Równolegle do reakcji zgazowania węgla w reaktorze zachodzi szereg reakcji towarzyszących. Mechanizm procesu zgazowania zależy w znacznym stopniu od właściwości wsadu węglowego oraz typu reaktora zgazowującego. Bogaty w wodór gaz syntezowy otrzymuje się również w wyniku pirolizy węgla[5]. Przykładowo: surowy gaz koksowniczy, opuszczający komory koksownicze, zawiera 50–60% wodoru, 24–29% metanu i 5–7% tlenku węgla.

Surowcem do produkcji wodoru może być również biomasa[6]. Zakłada się, że uzyskane na tej drodze paliwo wodorowe wytwarzane jest bez emisji dwutlenku węgla do atmosfery, a wytworzony dwutlenek węgla jest pochłaniany w procesie fotosyntezy przez rośliny zielone – przyjmuje się więc, że jego bilans jest zerowy. Wodór można otrzymać albo na drodze reformingu biogazu wytworzonego w trakcie fermentacji metanowej, albo przez zgazowanie biomasy w procesach podobnych do omówionych wyżej procesów zgazowania węgla.

Aktualnie największym wyzwaniem jest opracowanie metod otrzymywania wodoru z naturalnych zasobów niebędących paliwami kopalnymi, a przy tym spełniających kryteria ekonomiczne. Pozyskiwanie wodoru z wody wydaje się najbardziej obiecującą metodą. Niezbędna do tego celu energia powinna pochodzić z innych źródeł niż spalanie paliw kopalnych. Może to być energia elektryczna wytwarzana w elektrowniach wodnych, wiatrowych lub ogniwach fotowoltaicznych, ciepło wytwarzane w reaktorze jądrowym lub kolektorze słonecznym, energia promieniowania słonecznego padającego na materiał półprzewodnikowy (fotoliza wody), a także metody biologiczne.

Podczas elektrolizy wody na katodzie wydziela się wodór, a na anodzie – tlen. Teoretyczne zużycie energii na wytworzenie 1 m^3 wodoru wynosi 2,96 kWh. Praktyczne zapotrzebowanie energii przy stosowanych napięciach 1,75–2,3V wynosi

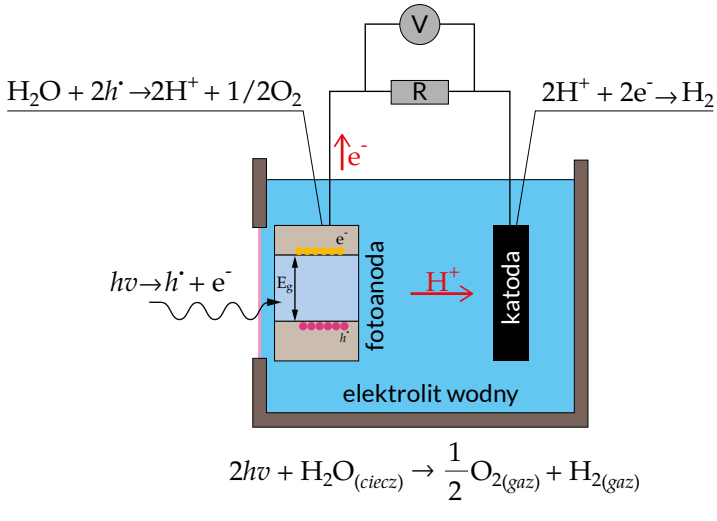
[4] M. Scieżko, H. Zieliński, *Termochemiczne przetwórstwo węgla i biomasy*, Wyd. Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zabrze–Kraków 2003.

[5] A. Karcz, *Problemy zagospodarowania gazu koksowniczego*, Polityka Energetyczna, t. 8, 2005, s. 91; P. Tomczyk, *Zasilanie ogniw paliwowych gazem koksowniczym*, Karbo t. 3, 2004, s. 135.

[6] J. Molenda, *dz. cyt.*; M. Pogoreutz, *Economical and technological comparison of small-scale CHP on the basis of biomass*, 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sewilla 2000.

4,3–5,7 kWh/m^3 wodoru. Postęp w zakresie technologii elektrolitycznego otrzymywania wodoru i podwyższenie sprawności energetycznej tego procesu mogą być osiągnięte przez opracowanie efektywniejszych elektrod i membran pozwalających na podwyższenie temperatury i ciśnienia prowadzenia procesu elektrolizy oraz gęstości prądu (w temperaturze 1000°C zużycie energii elektrycznej spada z 5 kWh/m^3 do 2,8 kWh/m^3 wodoru)[7]. Rozwinięcie na większą skalę produkcji wodoru metodą elektrolityczną nie jest obecnie ekonomicznie uzasadnione. Istniejące na świecie wytwórnie wodoru oparte na elektrolizie wody (np. w Kanadzie i Norwegii) zasilane są tanią energią elektryczną pochodzącą z elektrowni wodnych. Elektroliza wody może być znacząco wykorzystywana w przyszłości do produkcji wodoru w okresach zmniejszonego zapotrzebowania na energię elektryczną, w oparciu o energię jądrową oraz w wyniku zmian relacji cenowych, z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, w tym energii słonecznej. Elektroliza wody jest często stosowaną metodą do wytwarzania wodoru na niewielką skalę, zwłaszcza gdy ważna jest wysoka czystość wodoru.

Pozyskiwanie wodoru z wody może się dokonać przy wykorzystaniu energii słonecznej. Rys. 1 przedstawia zasadę działania ogniwa fotoelektrochemicznego, w którym absorpcja fotonu w materiale anodowym prowadzi do utworzenia pary elektron-dziura, która inicjuje dysocjację cząsteczki wody. Sprawność tego procesu fotochemicznego osiągnęła 8–12%[8] i dalsze możliwości jej zwiększenia tkwią w rozwoju technologii stosowanych materiałów w kierunku dostosowania struktury elektronowej materiału elektrodowego do widma słonecznego. Przed nauką stoi wyzwanie opracowania nowych materiałów, których zastosowanie umożliwiłoby bardziej wydajne użycie energii słonecznej do rozkładu wody.



Rys. 1. **Zasada działania ogniwa fotoelektrochemicznego, w którym pod wpływem energii słonecznej zachodzi rozkład wody na wodór i tlen**

Źródło: opracowanie własne.

[7] H. Wendt, G. Kreysa, *Electrochemical Engineering*, Springer, Berlin 1999.

[8] J. Molenda, *dz. cyt.*

W rozważanym procesie fotolizy wody można wyróżnić następujące procesy elementarne:

- absorpcja fotonu o energii hν w półprzewodnikowej anodzie kreuje parę: dziura ($h^{\bullet}$) – elektron (e^{-}):

$$h\nu \rightarrow e^{-} + h^{\bullet}$$

- rozkład cząsteczki H_2O na anodzie:

$$2h^{\bullet} + H_2O_{(ciecz)} \rightarrow \frac{1}{2}O_{2(gaz)} + 2H^{+}$$

- jony H^{+} przepływają od anody do katody przez elektrolit, równocześnie w obwodzie zewnętrznym przepływają elektrony od anody do katody,
- jony H^{+} ulegają redukcji na katodzie:

$$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_{2(gaz)}$$

Sumaryczna reakcja zachodząca w ogniwie fotoelektrochemicznym:

$$2h\nu + H_2O_{(ciecz)} \rightarrow \frac{1}{2}O_{2(gaz)} + H_{2(gaz)}$$

Wodę można również rozkładać za pomocą cyklicznych procesów termochemicznych, prowadzonych w wysokich temperaturach dla przyśpieszenia kinetyki reakcji. Możliwymi źródłami ciepła mogłyby być kolektory słoneczne pracujące w temperaturach do 3000°C lub reaktory jądrowe zaprojektowane do pracy w zakresie temperatur 500–900°C. Przykładowa reakcja cyklu typu metal-brom zachodząca w 730°C:

$$CaBr_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + 2HBr$$
$$2HBr + H_g = H_gBr_2 + H_2$$
$$H_gBr_2 + Ca(OH)_2 = CaBr_2 + H_gO + H_2O$$

Znanych jest około 200 typów cyklicznych reakcji termochemicznych[9] prowadzących do rozkładu wody. Zazwyczaj zachodzą one w wysokich temperaturach. Wzrost temperatury przyśpiesza reakcję, ale prowadzi do korozji chemicznej reaktora. Ważnym problemem są także membrany do rozdzielania gazów, np. membrany przepuszczające tylko wodór albo tylko tlen. Fundamentalny postęp w dziedzinie katalizy, nanokatalizy może doprowadzić do znacznego obniżenia temperatury reakcji cyklicznych.

Podpatrywanie przyrody i analiza procesów zachodzących w organizmach żywych rzuca nowe światło na możliwości otrzymywania wodoru. Organizmy jednokomórkowe, np. algi i mikroby produkują wodór w temperaturze środowiska naturalnego z dużą wydajnością z udziałem skomplikowanych struktur białkowych. Wykorzystują one naturalny katalizator zbudowany z klasterów manganowo-tlenowych do wydajnego rozkładu wody z uwolnieniem protonów i elektronów[4]. Dzięki osiągnięciom w dziedzinie krystalografii i spektroskopii naukowcy zaczynają rozumieć te mechanizmy i próbują imitować takie struktury w laboratorium. Tym samym

[9] K. Kordesch, G. Simader, *dz. cyt.*; S. Srinivasan, *dz. cyt.*

przybliża się możliwość stworzenia syntetycznej wersji tych naturalnych katalizatorów do rozkładu wody.

3. Metody magazynowania wodoru

Obecnie stosowane metody magazynowania wodoru to[10]:

- zbiorniki ciśnieniowe,
- zbiorniki kriogeniczne (wodór ciekły).

Rozważa się również możliwość magazynowania wodoru w podziemnych tworach geologicznych spełniających określone wymagania:

- kawerny w złożach skał porowatych przykryte warstwą nieprzepuszczalną,
- nieeksploatowane szyby naftowe,
- komory w pokładach solnych,
- sztuczne zbiorniki.

Magazynowanie wodoru dla zastosowań w transporcie samochodowym, w przeciwieństwie do jego stacjonarnych zastosowań, wymaga zmaksymalizowania gęstości wodoru zarówno na jednostkę masy, jak i objętości. Intensywnie prowadzone są badania nad magazynowaniem wodoru w strukturach krystalicznych ciał stałych. Dodatkowym argumentem za taką metodą magazynowania wodoru jest fakt, że materiał magazynujący w swojej strukturze wodór jest materiałem bezpiecznym. Opracowanie materiałów efektywnie magazynujących wodór jest czynnikiem, który zadecyduje o sukcesie ekonomicznym zastosowania wodoru do napędu samochodów.

Materiały magazynujące wodór muszą spełniać wiele kryteriów:

- wymagania termodynamiczne – odpowiednie wartości entalpii absorpcji i desorpcji wodoru,
- duża szybkość procesów absorpcji i desorpcji wodoru,
- wysoka pojemność grawimetryczna i wolumetryczna magazynowanego wodoru,
- duża liczba cykli absorpcja/desorpcja wodoru,
- bezpieczeństwo.

Zastosowanie znajdą jedynie te materiały, które mają zdolność magazynowania i uwalniania wodoru w zakresie temperatur od 0 do 100°C i ciśnień od 1 do 10 atm. w czasie zbliżonym do typowego czasu tankowania samochodu, tj. około 5 min.

[10] R. Funck, *High pressure storage*, w: W. Vielstich, A. Lamm, H. Gasteiger (eds), *Handbook of fuel cells*, Vol. 3, 2003, s. 83; C. Rasche, R. Funck, *Composite High-Pressure Vessels for Hydrogen Storage in Mobile Applications*, HYFORUM 2000 – The International Hydrogen Energy Forum 2000; D. Browning, P. Jones, K. Parker, *An investigations of hydrogen storage methods for fuel cell operation with non-portable equipment*, *Journal of power sources*, Vol. 65, 1997, s. 187; C. Timmerhaus, T.M. Flynn, *Cryogenic Engineering*, Plenum Press, New York 1989; J. Wolf, *Liquid hydrogen technology for vehicles*, w: W. Vielstich, A. Lamm, H. Gasteiger (eds), *Handbook of fuel cells*, Vol. 3, 2003, s. 89; S. Suda, *Aqueous borohydride solutions*, w: W. Vielstich, A. Lamm, H. Gasteiger (eds), *Handbook of fuel cells*, Vol. 3, 2003, s. 115–245.

Rys. 2. **Wielkość zbiornika magazynującego 4 kg wodoru w różnych technologach magazynowania (wodór sprężony, wodór ciekły oraz związany w strukturach ciał stałych), pozwalającego na przejazd ok. 400 km**

Źródło: opracowanie własne na podstawie: https://www.nat.vu.nl/en/research/condensed-matter-physics/switchable-mirrors-metal-hydrides/index.aspx (3.04.2017).

Uważa się, iż wodorki metali mogą być odpowiednimi układami do magazynowania wodoru. Znanych jest kilkaset układów z grupy metali, związków międzymetalicznych i stopów tworzących z wodorem wodorki. Materiały te magazynują wodór w ilości od 1,4 do 3,6% at. wodoru (TiFe, $ZrMn_2$, $LaNi_5$, Mg_2Ni). Ich zdolność magazynowania wodoru jest ciągle trzy razy za niska w stosunku do opłacalności technicznej.

Obiecujące właściwości wykazują związki międzymetaliczne, np. $LaNi_5$. Wykazuje on szybką i odwracalną absorpcję wodoru z małą histerezą, w temperaturze pokojowej ciśnieniowe plateau występuje przy kilku atmosferach, ponadto wykazuje długą żywotność cykli absorpcji/desorpcji gwarantując bezpieczeństwo magazynowania. Jednakże lantan i nikiel to ciężkie metale i udział wodoru w $LaNi_5H_{6,5}$ stanowi około 2% masy. Jest to wystarczająca pojemność dla odwracalnych baterii wodorkowych typu AB_5 o pojemności 330 $mAhg^{-1}$, jednak ciągle za mało dla zastosowań wodoru w transporcie samochodowym, gdzie wymagana jest pojemność rzędu 4–5% wag. (wymagania US Department of Energy to pojemność 6,5% wag. wodoru oraz 62 kg H_2 m^{-3}). Zbyt mała pojemność grawimetryczna to zasadnicza wada wszystkich wodorków metalicznych pracujących w pobliżu temperatury pokojowej. Znane są międzymetaliczne związki i stopy tworzące wodorki do zawartości wodoru aż 9%, np. $Li_3Be_2H_7$, $BaReH_9$, jednak proces magazynowania wodoru w wymaganym zakresie temperatur i ciśnień nie jest odwracalny.

Badania wskazują, iż szybkość procesu absorpcji/desorpcji wodoru jest zasadniczym parametrem ograniczającym zastosowanie wodorków. Stosuje się różne zabiegi technologiczne mające na celu podniesienie szybkości reakcji magazynowania i uwalniania wodoru, np. mielenie, które redukuje rozmiar ziaren, skraca drogę dyfuzji wodoru i zwiększa koncentrację defektów, co podnosi reaktywność. Stosuje się różne metody uaktywniania powierzchni poprzez wprowadzanie aktywnych centrów katalitycznych. Rozważa się również tworzenie kompozytów dwóch materiałów magazynujących wodór, z których jeden wykazuje szybką kinetykę reakcji, drugi zaś wysoką pojemność, co poprawia właściwości aplikacyjne materiałów.

Lekkie pierwiastki, takie jak: lit, bor, sód, glin, tworzą stabilne jonowe związki z wodorem. Zawartość wodoru np. w $LiBH_4$ osiąga aż 18% wag., jednakże desorpcja wodoru w tej grupie związków zachodzi w wysokich temperaturach, między 80 a 600°C, również odwracalność reakcji nie jest do końca zbadana. Ostatnie osiągnięcia wskazują, iż kataliza może odegrać kluczową rolę w poprawie kinetyki procesu absorpcji/desorpcji wodoru, jak również w obniżeniu energii aktywacji rozkładu termicznego wodorków.

Uwagę zwracają nanomateriały ($1< d <100$ nm), w tym nanomateriały węglowe, takie jak: nanostrukturalny grafit, nanorurki i fullereny, które adsorbują wodór. Nanometryczne rozmiary ziaren zwiększają szybkość dyfuzji wodoru i skracają drogę dyfuzji. W systemach „nano" zmienia się silnie termodynamika i kinetyka adsorpcji i desorpcji wodoru. Uzyskiwane bardzo zróżnicowane wyniki pojemności nanorurek (10–60%) wynikają z problemów związanych ze standaryzacją warunków wytwarzania nanorurek, co jest ważnym zadaniem do rozwiązania.

4. Ogniwa paliwowe

Ponieważ ostatecznym celem systemu energetyki wodorowej jest przede wszystkim wytwarzanie energii elektrycznej, bardzo istotnym aspektem technologii wodorowych jest użycie wodoru jako paliwa dla ogniw paliwowych. Z jednostki masy paliwa można w ogniwie paliwowym potencjalnie uzyskać przeszło dwukrotnie więcej użytecznej energii, niż to ma miejsce w silniku cieplnym. Rozwój technologii ogniw paliwowych zadecyduje w największym stopniu o powodzeniu całego „programu wodorowego".

Ogniwa paliwowe uznawane są w świecie za obiecujące generatory energii elektrycznej zarówno dla systemów rozproszonych, jak i dla napędu pojazdów mechanicznych[11].

Wysoka sprawność ogniwa paliwowego, pracującego cicho, bo pozbawionego ruchomych części mechanicznych i produkującego minimalne ilości zanieczyszczeń, faworyzuje zastosowanie tej technologii w przyszłościowych rozwiązaniach energetycznych. Szybkość ładowania takiego generatora (napełnienie paliwem) oraz potencjalna odwracalność tego procesu (magazynowanie chwilowego nadmiaru energii elektrycznej w postaci energii chemicznej) to dodatkowe atuty.

Ponadto ogniwa paliwowe wykazują następujące korzystne właściwości:

- wydajności energetyczne ogniw paliwowych nie zależą od ich wielkości i obciążenia;
- szkodliwość dla środowiska w wyniku emisji gazów, kwasów i pyłów jest o kilka rzędów wielkości niższa niż w przypadku klasycznych siłowni cieplnych i silników spalinowych;

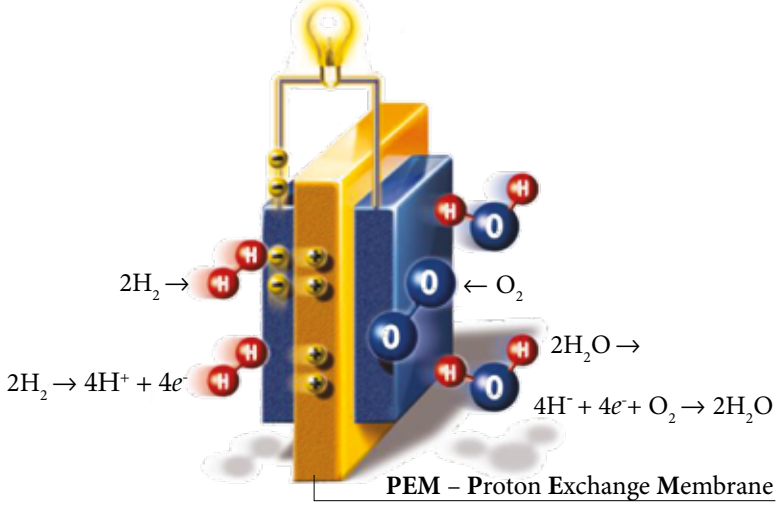
[11] K. Kordesch, G. Simader, *dz. cyt.*; S. Srinivasan, *dz. cyt.*; N. Sammes (ed.), *Fuel Cell Technology. Reaching Towards Commercialization*, Springer-Verlag, London 2006; S.C Singhal, K. Kendall (eds), *High Temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals, Design and Applications*, Elsevier, 2003; N.P. Brandon, D. Thompsett (eds), *Fuel Cells Compendium*, Elsevier, Amsterdam 2005; J. Larminie, A.Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, John Wiley & Sons, Chichester 2000; G. Hoogers (ed.), *Fuel Cell Technology Handbook*, CRC Press, Boca Raton 2003.

- pozwalają na rozlokowanie sieci stosunkowo małych generatorów ogniw paliwowych w dużej bliskości odbiorców, co istotnie zmniejsza koszty przesyłania energii oraz wpływa na poprawę jakości dostarczanej energii;
- usytuowanie niewielkich generatorów ogniw paliwowych w pobliżu odbiorców energii umożliwia również wykorzystywanie przez nich ciepła zrzutowego do ogrzewania pomieszczeń, ogrzewania wody i do chłodzenia absorpcyjnego – może to podwyższyć efektywność wykorzystania paliw naturalnych nawet do 80%;
- sterowanie pracą generatorów ogniw paliwowych może być łatwo zautomatyzowane;
- obecnie wytwarzane jednostki są konstrukcji modułowej; pozwala to na łatwą rozbudowę zespołów prądotwórczych w zależności od bieżących potrzeb.

Spośród istniejących pięciu podstawowych typów ogniw paliwowych, według opinii specjalistów, w przyszłości rolę wiodącą będą odgrywać:

- niskotemperaturowe ogniwa paliwowe PEMFC (ang. *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*) przeznaczone dla środków transportu i przenośnej elektroniki oraz jako domowe generatory energii elektrycznej i ciepła;
- wysokotemperaturowe ogniwa paliwowe SOFC (ang. *Solid Oxide Fuel Cell*) z ceramicznym tlenkowym elektrolitem, jako stacjonarne generatory elektryczności i ciepła oraz pomocnicze źródła prądu.

Zasadniczym paliwem dla niskotemperaturowych ogniw paliwowych PEMFC, przeznaczonych do napędu samochodów i przenośnej elektroniki, jest wodór wysokiej czystości (CO < 5 ppm), co wynika z możliwości zatrucia katalizatora platynowego. Wyzwania technologiczne dla tej kategorii ogniw to opracowanie funkcjonalnego elektrolitu protonowego oraz efektywnych katalizatorów redukcji tlenu i utleniania wodoru bez platyny lub z jej minimalną ilością (rys. 3).

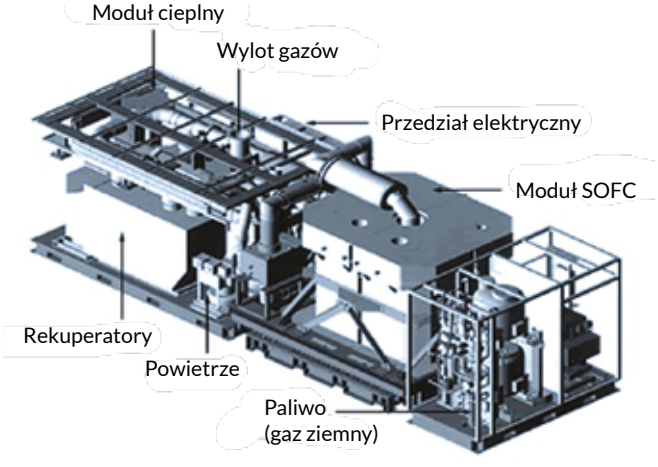


Rys. 3. **Zasada działania ogniwa paliwowego typu PEMFC**

Źródło: opracowanie własne na podstawie: http://www.uniterm.pl/ogniwa_paliwowe/ (3.04.2017).

W wysokotemperaturowych ogniwach paliwowych, przeznaczonych dla energetyki stacjonarnej, możliwe jest użycie paliw pochodzących ze źródeł naturalnych, takich jak: gaz ziemny, gaz syntezowy, koksowniczy lub pochodzący ze zgazowania węgla, biogazu i lekkich frakcji ropy naftowej. Wymaga to uprzedniej konwersji paliwa poza ogniwem paliwowym (konwersja zewnętrzna – ang. *external reforming*) lub wewnątrz samych generatorów (konwersja wewnętrzna – ang. *internal reforming*). Z dostępnych dwóch rozwiązań wysokotemperaturowych ogniw paliwowych, tj. MCFC (ang. *molten carbonate fuel cell*) oraz SOFC, stałotlenkowe ogniwa SOFC ze względu na większą integralność konstrukcji wzbudzają większe zainteresowanie czołowych firm światowych.

Wysokotemperaturowe tlenkowe ogniwo paliwowe (SOFC) zbudowane jest z elektrolitu stałego, który jest przewodnikiem jonów tlenu o wymaganym przewodnictwie rzędu 10^{-2} Scm^{-1} w temperaturze pracy ogniwa oraz z dwóch elektrod (katody i anody), będących przewodnikami jonowo-elektronowymi (tlenki metali przejściowych). Katoda, na której zachodzi redukcja tlenu, pracuje w atmosferze tlenowej, a anoda (utlenianie paliwa) – w redukującej atmosferze paliwa. Taka konstrukcja ogniwa pozwala na transport przez elektrolit stały jonów tlenowych, które po dojściu do anody wchodzą w reakcję chemiczną z wodorem. Produktem tej reakcji jest woda i elektrony, które płynąc w obwodzie zewnętrznym, dają użytkowy prąd elektryczny.



Rys. 4. **Wysokotemperaturowe ogniwo paliwowe typu SOFC z zewnętrzną konwersją paliwa (gazu ziemnego)**
Źródło: opracowanie własne na podstawie: http://www.fuelcell.no/fuel_cell_types_sofc_eng.htm (3.04.2017).

5. Kierunki badań naukowych dla rozwoju gospodarki wodorowej

Szerokiej komercjalizacji ogniw paliwowych typu SOFC przeszkadza wiele czynników związanych z właściwościami stosowanych materiałów elektrodowych i elektrolitu, a także warunkami pracy ogniwa w wysokiej temperaturze. Obecnie stosowany elektrolit YSZ (ditlenek cyrkonu stabilizowany itrem) ma niskie przewodnictwo

jonów tlenu i efektywnie pracuje dopiero w temperaturze ~1000°C. Tak wysoka temperatura prowadzi do skrócenia czasu życia ogniw, związanego z termiczną degradacją materiałów i ich korozją. Obniżenie temperatury pracy ogniwa do 600–700°C uważane jest za strategiczny cel rozwoju technologii tlenkowych ogniw paliwowych, gdyż niesie ze sobą istotne korzyści związane z możliwością użycia znacznie tańszych i mniej uciążliwych dla środowiska materiałów, w szczególności wykorzystanie stali nierdzewnej jako interkonektorów i elementów konstrukcyjnych ogniwa. Wymaga to jednakże opracowania nowych materiałów elektrolitowych i elektrodowych, pracujących efektywnie w temperaturach 600–700°C[12].

Można wskazać obszary badawcze, których rozwój jest niezbędny dla osiągnięcia postępu w dziedzinie ogniw paliwowych SOFC:

- procesy katalityczne redukcji tlenu oraz utleniania wodoru i węglowodorów,
- zjawiska transportu jonowo-elektronowego w tworzywach ceramicznych,
- zjawiska na granicach faz elektrolit/materiał elektrodowy oraz interkonektor/materiał elektrodowy,
- nanomateriały oraz nanotechnologie,
- jednokomorowe ogniwo paliwowe.

Z przedstawionych rozważań wynika, że postęp w dziedzinie ogniw paliwowych może się dokonać tylko w oparciu o kompleksowe, interdyscyplinarne prace badawcze, ukierunkowane na poznanie i sterowanie mechanizmami fizykochemicznymi, zachodzącymi w ogniwach.

Światowe niepowodzenia w szerokim upowszechnieniu ogniw paliwowych związane są z usilnym wdrażaniem technologii opartych na materiałach technologicznie niedopracowanych. Zostało to dobrze uchwycone w danych opublikowanych przez Departament Energii USA, gdzie wskazano na potrzebę przełomu w opracowaniu materiałów dla technologii wodorowych. Istnieje przepaść pomiędzy obecnymi możliwościami technologii ogniw paliwowych a potrzebami praktycznej energetyki wodorowej, która byłaby konkurencyjna w stosunku do obecnej, opartej o węgiel i ropę naftową. Celem nie jest doskonalenie obecnych technologii a przełom naukowy i technologiczny w rozumieniu i sterowaniu chemicznymi i fizycznymi reakcjami wodoru z materią. Należy wskazać na specyfikę tak postawionego zadania, w którym konieczne jest współdziałanie wielu specjalistów różnych dziedzin, gdyż problemy techniczne przekraczają klasyczne bariery pomiędzy fizyką, chemią czy inżynierią materiałową. Jest tu szczególnie miejsce dla technologii nanomateriałów, których właściwości są niezwykle obiecujące w tej dziedzinie (np. nanoelektrolity pozwolą obniżyć temperaturę pracy ogniw SOFC do 600°C z obecnych 1000°C, co jest kluczem do komercjalizacji tej technologii; nanokatalizatory pozwolą także znacznie podnieść efektywność reakcji elektrodowych itd.). Zrozumienie na poziomie atomowym podstawowych procesów związanych z katalizą w każdej z tych dziedzin, jak również wykorzystanie nanokatalitycznych cząstek i struktur wywoła skorelowany postęp we wszystkich kierunkach. Technologia nanomateriałów dla technologii wodorowych

[12] J. Molenda, K. Świerczek, W. Zając, *Functional materials for the IT-SOFC*, *Journal of power sources*, Vol. 173, 2007, s. 657–670.

może odnieść spektakularny sukces. W Europie dopiero pojawiły się pierwsze sygnały (w 7. Programach Ramowych) konieczności powrotu do podstawowych badań materiałowych. Niezbędny jest długoterminowy, silnie stymulowany program badań podstawowych skorelowany z istniejącymi programami badawczymi w tej dziedzinie. Na świecie, głównie w USA, Japonii i krajach Europy Zachodniej, powstały centralne, priorytetowe i wysoko finansowane programy badawcze (np. tzw. Projekt Busha w USA) dla uzyskania znaczącego i przełomowego postępu w tej dziedzinie.

6. Wodór jako potencjalne paliwo w motoryzacji

Można przewidywać, że w nieodległej przyszłości wodór w końcu dołączy do energii elektrycznej jako główny nośnik energii. Oprócz zastosowania wodoru w wielkoskalowych i rozproszonych systemach produkcji energii elektrycznej, układach kogeneracyjnych zapewniających ciepło i prąd elektryczny w budynkach mieszkalnych i przemysłowych oraz użycia w różnych procesach technologicznych, wodór ma bardzo duży potencjał wykorzystania w transporcie kołowym jako paliwo do zasilania pojazdów elektrycznych wyposażonych w ogniwa paliwowe[13]. Pojazdy elektryczne z ogniwem paliwowym – FCEV (ang. *Fuel Cell Electric Vehicle*), określane też jako FCV (ang. *Fuel Cell Vehicle*), mają potencjał do zrewolucjonizowania obecnego systemu transportowego. Podobnie jak samochody elektryczne wykorzystujące np. baterie litowe do magazynowania energii elektrycznej, pojazdy FCEV w sensie wykorzystania energii potencjalnie mogą się stać dużo bardziej efektywne niż konwencjonalne samochody z silnikiem spalinowym. Nie wytwarzają szkodliwych spalin z układu wydechowego – emitują jedynie parę wodną i ciepło – oraz potencjalnie mogą być bardziej ekonomiczne w codziennym użytkowaniu. W obecnych rozwiązaniach FCEV gazowy wodór przechowywany jest bezpośrednio w pojeździe w odpowiednich zbiornikach wysokociśnieniowych, których tankowanie do pełna odbywa się w czasie porównywalnym (poniżej 10 min, typowo 3–5 min) z tym, jaki jest wymagany dla zatankowania samochodu z silnikiem spalinowym. Jest to jedna z głównych zalet pojazdów FCEV, dająca przewagę nad rozwiązaniem wykorzystującym pakiet ogniw litowych, których ładowanie nawet przy użyciu najnowszej generacji szybkich ładowarek zajmuje znacznie dłużej czasu (przykładowo, rzędu 30 min dla osiągnięcia zasięgu 270 km dla samochodów marki Tesla). Dodatkowo, według stanu na początek roku 2017 dostępne w sprzedaży lub leasingu samochody FCEV miały zasięg zbliżony do pojazdów konwencjonalnych, znacznie przekraczający 400 km (np. około 590 km dla Hondy Clarity wersja 2017[14]). Inną z zalet pojazdów FCEV jest bardzo dobra skalowalność, obejmująca praktycznie cały segment samochodów osobowych, ale też autobusy, pojazdy ciężarowe, sprzęt rolniczy itp. Z drugiej strony, zaawansowana i dość droga technologia ogniw paliwowych z elektrolitem polimerowym – PEMFC (ang. *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*), których żywotność jest nadal stosunkowo niska, oraz brak odpowiedniej infrastruktury wodorowej stanowią najważniejsze ograniczenia w wykorzystaniu wodoru w moto-

[13] Departament Energii USA, www.hydrogen.energy.gov (28.03.2017).

[14] Dane producenta.

ryzacji. Niektórzy producenci oferują już w sprzedaży samochody FCEV. Z racji ich dostępności można stwierdzić, że obecnie pojazdy wykorzystujące ogniwa paliwowe są nadal w fazie przygotowania do masowej produkcji, a infrastruktura potrzebna do ich tankowania jest bardzo ograniczona. Wśród krajów przodujących należy wymienić Japonię, Niemcy oraz amerykański stan Kalifornia.

7. Status technologii samochodów FCEV

Według stanu z początku roku 2017 pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi oraz infrastruktura związana z dystrybucją wodoru do ich napędzania znajdują się na wczesnym etapie wdrażania. Wśród dostępnych obecnie w sprzedaży lub w leasingu modeli pojazdów FCEV warto wymienić Toyotę Mirai, Hondę Clarity oraz Hyundaia ix35 FCEV. Podstawowe parametry techniczne, opracowane w oparciu o dane producentów, zawarto w tabeli 1.

Tab. 1. **Zestawienie parametrów technicznych wybranych samochodów FCEV**

	Toyota Mirai	Honda Clarity	Hyundai ix35 FCEV
Rocznik modelowy	2016–2017	2017	2012
Typ pojazdu	Sedan	Sedan	Hatchback
Spalanie (l H_2/100 km)			
Cykl miejski	3,56	3,46	4,9
Cykl pozamiejski	3,56	3,56	4,7
Cykl mieszany	3,56	3,51	4,8
Zasięg (km)	502	589	594
Napęd			
Typ ogniw	PEMFC	PEMFC	PEMFC
Moc (kW/KM)	114/153	100/134	100/134
Wolumetryczna gęstość energii (kW/l)	3,1	3,1	1,65
Silnik			
Typ	AC	AC	AC
Moc (kW/KM)	113/152	100/134	100/134
Moment obrotowy (Nm)	335	256	300
Zbiorniki paliwa			
Liczba	2	2	2
Pojemność całkowita (l)	122,4	171	144
Pojemność wodorowa (kg)	5,7	5,46	5,64
Ciśnienie (bar)	700	700	700
Baterie			
Typ	NiMH	litowo-jonowe	litowo-polimerowe
Napięcie (V)	245	288	250

Osiągi			
0–100 km/h (s)	9,6	9,2	9,5
Prędkość maksymalna (km/h)	179	161	150
Minimalna temperatura startu (°C)	–30	Poniżej –20	–30

Źródło: Honda News, http://hondanews.com/channels/fuel-cell-vehicles-press-kit/releases/honda-fcx-clarity-core-technology (3.04.2017); Honda Worldwide, http://world.honda.com/FCXClarity/specifications/ (3.04.2017); Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Hyundai_ix35_FCEV (3.04.2017); http://blog.toyota.co.uk/toyota-mirai-technical-specifications-vs-fchv-adv (3.04.2017); Departament Energii USA, https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/htac_may2012_hyundai.pdf (3.04.2017); Hundai, http://www.hyundai.pl/Samochody/Ekologiczne/ix35_Fuel_Cell/ (3.04.2017); Toyota Mirai Product Information.

Wielu pozostałych producentów deklaruje chęć rozwoju technologii samochodów zasilanych ogniwami paliwowymi. W 2016 roku na targach motoryzacyjnych w Detroit firma Audi zaprezentowała model h-tron quattro będący koncepcyjnym samochodem typu SUV napędzanym ogniwami paliwowymi. Audi zadeklarowało wtedy bardzo dobre osiągi pojazdu: przyśpieszenie 0–100 km/h w 7,1 s oraz zasięg na poziomie około 600 km. BMW pracuje nad własnym samochodem napędzanym wodorem już od 2005 roku, kiedy to zaprezentowano zmodyfikowaną serię 7 z silnikiem spalania wewnętrznego V12 napędzanym wodorem. Projekt ten jednak zawieszono ze względu na pojawienie się technologii niewymagających spalania wodoru, a więc ogniw PEMFC. Niedawno firma podjęła współpracę z Toyotą w celu stworzenia własnego samochodu napędzanego wodorem, który chce wprowadzić na rynek w 2020 roku. Już teraz BMW deklaruje możliwość skonstruowania samochodu o zasięgu przekraczającym 500 km z czasem uzupełniania paliwa poniżej 5 min. Mercedes-Benz zapowiada nadejście modelu GLC F-Cell, hybrydy typu plug-in, w której zamiast standardowego połączenia silnika spalinowego z elektrycznym użyty zostanie układ z ogniwami paliwowymi. Deklarowany zasięg samochodu z takim układem to 500 km. W 2016 roku na targach motoryzacyjnych w Genewie studio projektowe Pininfarina zaprezentowało model H2 Speed, będący wizją sportowego samochodu napędzanego wodorem. Samochód wyposażono w układ generujący 503 KM, który pozwalał przyśpieszać do 100 km/h w 3,4 s i osiągać prędkość 300 km/h. Również General Motors we współpracy z armią USA pracuje nad projektem terenowego pojazdu wojskowego zasilanego ogniwami paliwowymi. Producent deklaruje, że ich koncepcyjne samochody zasilane wodorem podczas testów przejechały już łącznie ponad 3 mln mil, a w 2017 roku tego typu pojazdy wojskowe mają być testowane w trudnych warunkach terenowych.

Wszystkie te projekty pokazują, jak szerokie zastosowanie w motoryzacji mogą mieć napędy oparte o ogniwa paliwowe. Czołowi producenci prezentują samochody w każdym rozmiarze, od SUV-ów po hatchbacki, od marek popularnych po klasę premium. Ponadto, FCEV można wyposażyć w inne zaawansowane technologie w celu zwiększenia ich sprawności, m.in. systemy hamulcowe z odzyskiem energii, która następnie magazynowana jest w akumulatorach.

W modelach dostępnych w 2017 roku producenci wykorzystują w swoich pojazdach wysokociśnieniowe zbiorniki wodoru. Te montowane w Toyocie Mirai mają trójwarstwową konstrukcję kompozytową. Wewnętrzna warstwa wykonana jest z tworzywa sztucznego zapobiegającego przeciekom wodoru. Środkowa warstwa zbudowana jest z kompozytu włókien węglowych wzmacnianych i tworzywa sztucznego. Stanowi ona podstawowy element konstrukcyjny zbiornika, zapewniając mu sztywność i wytrzymałość. Warstwa zewnętrzna składa się z kompozytu na bazie włókien szklanych. Jej rolą jest ochrona zbiornika przed uszkodzeniem oraz czynnikami zewnętrznymi. Warto podkreślić, że stosowane zbiorniki pomimo ekstremalnie wysokiego cieśnienia magazynowania wodoru, rzędu 700 atmosfer, spełniają rygorystyczne normy bezpieczeństwa, również w zakresie testów zderzeniowych.

Warto wspomnieć, że równocześnie intensywnie pracuje się w wielu krajach świata, w tym, w szczególności w USA, nad autobusami miejskimi zasilanymi ogniwami paliwowymi FCEB (*ang. Fuel Cell Electric Bus*). Przeprowadza się pokazy demonstracyjne oraz testy mające na celu usprawnienie pojazdów zarówno pod kątem niezawodności, jak i ergonomii użytkowania. W 2016 roku w całym kraju funkcjonowało 21 demonstracyjnych autobusów zasilanych wodorem. Jednocześnie Ministerstwo Energii USA oraz jednostka Federal Transit Administration FTA opracowały zestawienie szeregu wymagań, które takie pojazdy muszą spełniać w celu zastosowania komercyjnego (tab. 2).

Tab. 2. **Wybrane parametry autobusów elektrycznych FECB (stan obecny oraz docelowy)**

Parametr	Stan na 2015/2016*	Docelowo
Trwałość autobusu (lata/kilometry)	0,8-6/36500–250000	12/805000
Trwałość układu napędowego (h)	2300–23000	25000
Dostępność pojazdu (%)	32–93	90
Uzupełnienia paliwa	1	1 (< 10 min)
Koszt (USD)	1,8–2,5 M	0,6 M
Awaryjność pojazdu/układu napędowego (km pomiędzy awariami)	4000–12000/13000–230000	6500/32000
Czas działania (h na dobę/dni w tygodniu)	7–21/5–7	20/7
Planowane oraz nieplanowane koszty utrzymania (USD/km)	0,3–1,28	0,25
Spalanie (l równoważnika paliwa Diesla/100 km)	33,18–47,91	29,4

* Dane uzyskane z testów pojazdów demonstracyjnych w okresie od sierpnia 2015 do lipca 2016 roku.

Źródło: https://energy.gov/sites/prod/files/2016/11/f34/fcto_2016_fuel_cell_bus_report_0.pdf (3.04.2017).

Narodowe Laboratorium ds. Energii Odnawialnej USA (National Renewable Energy Laboratory) poinformowało w raporcie, że w lipcu 2016 roku jeden z ukła-

dów ogniw paliwowych był w stanie przepracować 23 000 h, zbliżając się znacząco do stawianego przez rząd minimum 25 000 h, inny przepracował 18293 h, przekraczając założenia na rok 2016 (18000 h). W przypadku dostępności pojazdu, większość problemów wynikała z przyczyn mechanicznych (awarie hamulców, zawieszenia itp.), a nie napędowych, co przyczyniło się do średniej dostępności autobusów na poziomie 77%. W przypadku awarii układów hybrydowych problematycznymi okazały się m.in. układy chłodzenia czy falowniki, a niedostępność części w danej chwili wydłużała przerwę w użytkowaniu pojazdu. Według FTA obecne zużycie paliwa przez hybrydowe autobusy zasilane ogniwami paliwowymi jest zbliżone (w jednostkach równoważnika paliwa diesla) do zużycia dla autobusów konwencjonalnych, a postępujące z roku na rok zmniejszanie się tego zapotrzebowania wskazuje na silny rozwój technologii hybrydowej i prawdopodobne osiągnięcie wymaganego przez ministerstwo USA poziomu w niedługim czasie. Według raportu niektóre z testowanych autobusów osiągały zużycie paliwa mniejsze nawet o 20% w porównaniu do tych napędzanych paliwem diesla i aż o 50% mniejsze niż napędzanych gazem ziemnym. Wprawdzie osiągi i wydajność autobusów hybrydowych napędzanych ogniwami paliwowymi rosną, jednak jest wiele warunków, które należy spełnić, aby ich komercjalizacja stała się praktycznie i ekonomicznie uzasadniona. Wśród głównych problemów należy wymienić m.in: dostępność części, zasięg autobusów, koszty utrzymania, wyszkolenie/dostępność wykwalifikowanej kadry, koszty samych pojazdów[15].

Jak wspomniano, w wielu krajach na świecie prowadzone są badania oraz próby wdrażania autobusów na ogniwa paliwowe. W latach 2001–2006 oraz 2006–2009 funkcjonowały projekty CUTE (*ang. Clean Urban Transport for Europe*) oraz HyFLEET, zrzeszające 31 organizacji rządowych, pozarządowych oraz uczelni, jak również jedne z największych firm transportowych (np. Niemiecki BVG czy Holenderski GVB) i energetycznych (np. BP). Organizacje zostały powołane w celu wprowadzenia w Europie transportu opartego na ogniwach paliwowych i były finansowane m.in. przez Unię Europejską. Projekty zaowocowały powstaniem 47 autobusów zasilanych wodorem, które funkcjonowały w 10 miastach na całym świecie (w tym m.in. w Pekinie, Amsterdamie, Berlinie czy Perth).

Kolejnym dużym projektem zajmującym się wprowadzaniem do użyteczności publicznej środków transportu zasilanych wodorem jest CHIC (ang. *Clean Hydrogen in European Cities*). Celem projektu jest rozpowszechnianie transportu zbiorowego opartego o czystą technologię ogniw paliwowych w miastach oraz działanie na rzecz większego dostępu do stacji tankowania wodoru. W projekcie uczestniczy 23 partnerów z różnych gałęzi przemysłu transportowego i energetycznego, m.in. włoskie STA, brytyjskie Transport of London czy brytyjsko-holenderski Shell. Jak dotąd (raport z czerwca 2016 roku) wprowadzono do użytku 56 autobusów zasilanych ogniwami paliwowymi (w latach 2010–2016) wraz z modernizacją oraz dostosowywaniem do nich infrastruktury.

[15] https://www.global-hydrogen-bus-platform.com/Home.html; http://hfcarchive.org/fuelcells/uploads/fcbuses-world1.pdf (3.04.2017).

Obecnie hybrydowe autobusy na wodór testowane są w wielu europejskich krajach, takich jak Niemcy, Wielka Brytania czy Włochy. Jednocześnie zostało otworzonych 8 stacji ładowania wodoru dostosowanych do potrzeb autobusów magazynujących po 300 (5) oraz 650 (3) ton wodoru pod ciśnieniem 350 barów (marzec 2016). Autobusy pracowały 12–20 h na dobę, przejeżdżając 170–400 km dziennie, co stanowi znaczący postęp w stosunku do autobusów poprzedniej generacji, których zasięg nie przekraczał 200 km. Zużycie paliwa testowanych autobusów wynosiło ok. 8 kg H_2/100 km, co jest równoważne ok. 27 l paliwa diesla; pod względem efektywności przetwarzania paliwa autobusy hybrydowe okazały się o 30% sprawniejsze od konwencjonalnych zasilanych olejem napędowym. Jednocześnie zużycie paliwa zostało zmniejszone o 50% w stosunku do pojazdów wcześniejszej generacji, co wskazuje na skalę postępów badań oraz rozwoju technologii ogniw paliwowych i pojazdów z napędem na nich opartych. Czas napełniania paliwem nie przekraczał 10 min, jednakże problematyczna okazała się dokładność odmierzania paliwa (w porównaniu do paliw konwencjonalnych) ze względu na brak dokładnych mierników przepływu wodoru, co jest jednym z przedmiotów badań. Jako główne zadania na przyszłość organizacja wymienia do rozwiązania problemy tego samego typu, co w przypadku pojazdów amerykańskich[16,17].

Nie sposób też nie wspomnieć o interesującej koncepcji Nissana, który 5 sierpnia 2016 roku w Yokohamie zaprezentował pierwszy na świecie prototyp samochodu zasilanego ogniwami paliwowymi typu SOFC (*ang. Solid Oxide Fuel Cell*), wytwarzającymi energię elektryczną oraz cieplną z bioetanolu. Pojazd jest przewidziany głównie na rynek brazylijski i może być zasilany czystym bioetanolem lub jego roztworem wodnym (55:45). Wykorzystanie bioetanolu jako paliwa ma wiele zalet, m.in. możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury (w krajach, które obecnie wykorzystują bioetanol jako paliwo), niskie koszty eksploatacji (porównywalne do samochodów elektrycznych), dostępność paliwa (rynek obu Ameryk, Azji) oraz duży zasięg (nawet do 600 km). Prototyp zakłada wykorzystanie tego typu pojazdów jako samochodów dostawczych przejeżdżających wiele kilometrów dziennie. Zasada działania oparta jest o układ ogniw SOFC, do których dostarczany jest wodór pochodzący ze zreformowanego paliwa. Podczas reformingu bioetanolu powstaje wodór, dwutlenek węgla oraz ciepło, jednak ponieważ paliwo jest pochodzenia organicznego/roślinnego, bilans dwutlenku węgla się nie zmienia. Wytworzona energia elektryczna zasila silnik elektryczny napędzający pojazd, a nadmiarowa jest magazynowana w bateriach pokładowych (pojemność 24 kWh). Jednocześnie powstające ciepło jest wykorzystywane podczas reformingu paliwa, dzięki czemu układ jest niezwykle efektywny. Dzięki zastosowaniu takiej technologii Nissan proponuje samochód o zasięgu i komforcie użytkowania takim, jak w przypadku pojazdów spalinowych, jednocześnie oferując redukcję kosztów użytkowania oraz emisji spalin na poziomie samochodów elektrycznych[18].

[16] https://www.global-hydrogen-bus-platform.com/ (30.03.2017).

[17] http://chic-project.eu/wp-content/uploads/2015/06/CHIC-Emerging-Conclusions__short_June2016.pdf (30.03.2017).

[18] http://reports.nissan-global.com/EN/?p=17768 (3.04.2017).

8. Perspektywy rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce

Gospodarka wodorowa z założenia otwiera nowe możliwości wykorzystania lokalnych źródeł i surowców na potrzeby energetyczne społeczności przy zachowaniu rygorystycznych kryteriów ochrony środowiska. Uwarunkowania geologiczne Polski wskazują, iż przyszłościową technologią wytwarzania paliwa wodorowego powinno być zgazowanie węgla, którego zasoby mogłyby zapewnić samowystarczalność energetyczną Polski na kilkadziesiąt lat. Bogate zasoby krajowe węgla kamiennego i brunatnego mogłyby zapewnić samowystarczalność energetyczną opartą na gospodarce wodorowej co najmniej na okres najbliższego stulecia. Odmienną kwestią są zagadnienia ekonomiczne i technologiczne takiego przedsięwzięcia; jego powodzenie zależeć będzie w zasadniczy sposób od postępu w zakresie wszystkich trzech etapów funkcjonalnych gospodarki wodorowej, a także od relacji cen surowców i tempa rozwoju klasycznych technologii energetycznych. Z drugiej strony należy zdawać sobie sprawę z już stosowanych w energetyce rozwiązań dotyczących technologii wodorowych. Przykładem takiego rozwiązania jest sprzężony układ turbin parowo-gazowych ze zgazowaniem węgla, tzw. obieg IGCC (ang. *integrated gasification combined cycle*). Niestety wysoka cena obecnie wytwarzanych generatorów z ogniwami paliwowymi (od jednego do kilku mln euro za jednostkę o mocy elektrycznej 250 kW) oraz krótki czas eksploatacji (około 40 000 godzin) powodują, że ich zastosowanie do kogeneracji energii elektrycznej i cieplnej w oparciu o wykorzystanie krajowych zasobów surowców energetycznych jest na razie nieuzasadnione ekonomicznie. Niskie koszty posadowienia instalacji i korzyści wynikające z kogeneracji nie rekompensują wydatków inwestycyjnych. Sytuacja może ulec zmianie przy produkcji ogniw paliwowych na szeroką skalę skutkującą obniżeniem ich ceny jednostkowej.

Technologia ogniw paliwowych typu SOFC otwiera perspektywiczne możliwości wykorzystania lokalnych zasobów energetycznych. Są to na przykład:

- złoża gazu ziemnego o relatywnie niewielkich wydajnościach, które występują w wielu lokalizacjach na terenie kraju;
- gaz syntezowy pochodzący ze zgazowania biomasy, a także gaz fermentacyjny lub wysypiskowy;
- gaz koksowniczy, produkt odpadowy bardzo prężnie działającego i rozwijającego się w Polsce przemysłu koksowniczego.

Wykorzystanie zróżnicowanych lokalnych źródeł nośników energii dla celów społeczności lokalnej jest zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju energetycznego prowadzącymi do obniżenia cen energii i zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego. Dążeniem państwa powinno być zapewnienie jak największego udziału lokalnych zasobów energetycznych wykorzystywanych w oparciu o najnowsze technologie. Głównym surowcem energetycznym gospodarki wodorowej w kraju będzie jednak węgiel, którego zasoby gwarantują jej stabilny rozwój bez względu na uwarunkowania polityczne.

W Polsce, gdzie prace badawczo-rozwojowe w zakresie ogniw paliwowych nie zostały podjęte w dostatecznej skali, sytuację ocenić należy jako bardzo niekorzystną, bo prowadzącą w przyszłości do koniecznych zakupów gotowych, bardzo drogich urzą-

dzeń z ogniwami paliwowymi różnych kategorii. Jest tak mimo to, że w Polsce istnieje znaczący potencjał naukowo-badawczy w dziedzinie technologii wodorowych i ogniw paliwowych zintegrowany przez Polskie Stowarzyszenie Wodoru i Ogniw Paliwowych[19]. Istniejące zaplecze i tradycje naukowo-badawcze dla wyrafinowanych technologii materiałów ceramicznych. Posiadamy spore osiągnięcia w zakresie projektowania materiałów funkcjonalnych dla wysokotemperaturowych i niskotemperaturowych ogniw paliwowych oraz magazynowania wodoru. Mamy specjalistów w zakresie wszystkich zagadnień dotyczących konstrukcji ogniw paliwowych – począwszy od opracowania materiałów elektrodowych, elektrolitu i interkonektorów oraz technologii otrzymywania cienkowarstwowych tworzyw ceramicznych, modelowania przepływów masy i energii poprzez konstrukcję i uszczelnienie stosu, aż do zagadnień związanych z testowaniem efektywności i czasów życia ogniw. Tematyka ta, tak gwałtownie rozwijająca się w świecie, w Polsce jest zupełnie niedoceniana przez władze państwowe. Brak jest polskiego programu w zakresie technologii wodorowych i ogniw paliwowych. Nasze ośrodki indywidualnie współpracują z ośrodkami zagranicznymi, przyczyniając się do rozwoju tych technologii w innych krajach. Podejmowane są próby budowy polskiego ogniwa paliwowego typu SOFC oraz PEMFC, praktycznie bez wsparcia finansowego. Pomimo usilnych starań środowiska naukowego nie został uruchomiony narodowy program w dziedzinie ogniw paliwowych, jak również nie uruchomiono ani jednego grantu zamawianego. W takiej sytuacji ambicje polskich badaczy realizują się w ramach współpracy europejskiej, co odbędzie się jednak ze szkodą dla rozwoju naszej własnej technologii. Stworzenie kompleksowego polskiego programu badawczego, którego finalnym celem jest opracowanie technologii i konstrukcja ogniw paliwowych, pozwoli na bezpośredni efekt gospodarczy oraz uczyni z nas liczącego się partnera w Europie.

Polska jako kraj o ogromnych aspiracjach cywilizacyjnych i znaczący producent energii elektrycznej nie może dłużej zaniedbywać problematyki energetyki wodorowej zarówno w zakresie badań, jak i przedsięwzięć o charakterze utylitarnym. Konieczne jest wsparcie grup badawczych aktywnie działających w tematyce wodorowej, a także zainteresowanie najlepszych uniwersyteckich ośrodków badawczych, PAN oraz produkcyjnych tematyką dotyczącą technologii wodorowych. W warstwie organizacyjnej wymaga to stworzenia narodowego programu badawczego w zakresie technologii wodorowych i ogniw paliwowych. Należy włączyć Polskę do strategicznego europejskiego programu „Wspólna Inicjatywa Technologiczna na rzecz Ogniw Paliwowych i Technologii Wodorowych", utworzonego na mocy decyzji Rady Europy z października 2007 roku. Uczestnictwo w tym strategicznym Programie pozwoli Polsce na partnerski udział w rozwoju i korzystaniu z nowoczesnych technologii energetycznych. Program energetyczny Polski do roku 2030 powinien uwzględniać technologie wodorowe dla wytwarzania energii, gdyż to właśnie wodór jest uważany za nośnik energii przyszłości.

[19] www.hydrogen.edu.pl.

Podsumowanie

Warto podkreślić aktywność podmiotów gospodarczych w Polsce w zakresie pojazdów zasilanych wodorem. 29 marca 2017 roku firma Ursus zaprezentowała w Lublinie autobus elektryczno-wodorowy City Smile Fuel Cell Electric Bus. Wcześniej miał on premierę podczas targów pojazdów użytkowych IAA 2016 w Hanowerze. Autobus jest konstrukcją własną spółki Ursus Bus stworzoną we współpracy z podmiotami zagranicznymi. Pojazd produkowany będzie w Lublinie, pierwsza seria zostanie skierowana do produkcji niezwłocznie po pierwszych zamówieniach. City Smile Fuel Cell Electric Bus magazynuje wodór w 8 butlach umieszczonych na dachu pojazdu, ich łączna pojemność to 35 kg. Pojazd spala ok. 7 kg paliwa na 100 km, na jednym tankowaniu może przejechać ok. 450 km, co jest zasięgiem nie tylko wystarczającym, lecz także porównywalnym z najlepszymi wynikami na świecie. Autobus pomieści minimum 75 pasażerów, z czego 28 na miejscach siedzących. Układ siedzeń może być przebudowany w zależności od zapotrzebowania odbiorcy. Pojazd napędzany jest zamontowanymi w piastach tylnych kół elektrycznymi silnikami trakcyjnymi niemieckiej firmy Ziehl-Abegg. Zamontowane w nim wodorowe ogniwa paliwowe dostarczyła holenderska HyMove. Cena pojazdu to ok. 800 tys. EUR[20].

16 marca 2017 roku Rada Ministrów przyjęła *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce*[21]. Zakłada on, że do roku 2025 na polskich drogach jeździć będzie nawet milion pojazdów elektrycznych, a ich integracja z istniejącym systemem elektroenergetycznym zostanie w niejaki sposób wymuszona. Założenia *Planu* stanowią część z odpowiedzi polskiej energetyki na zaostrzające się wymagania środowiskowe Unii Europejskiej. W zamierzeniu, realizacja założeń *Planu* stanie się równocześnie stymulatorem rozwoju polskiego przemysłu oraz innowacyjnych technologii. Utworzona na potrzeby programu siatka magazynów energii ułatwi optymalizację Krajowego Systemu Energetycznego (KSE), poprzez dynamiczną reakcję magazynów na zmiany zapotrzebowania na energię elektryczną (oddawanie energii w momentach szczytowego zapotrzebowania oraz magazynowanie jej w okresie zmniejszonego poboru).

Uważa się obecnie[22], że istotną barierą rozwoju elektrycznej motoryzacji w Polsce jest słabo rozwinięta infrastruktura, która nie jest w stanie zapewnić konsumentom odpowiedniej liczby stacji ładowania, co przy stosunkowo niewielkim zasięgu obecnych samochodów elektrycznych znacząco limituje ich podaż na rynku. Kluczowym dla wdrożeniu *Planu* będzie obniżenie ceny (poprzez mechanizmy wsparcia ze strony instytucji publicznych) zarówno samych pojazdów, jak i kosztów stacji ładowania, przy jednoczesnym podniesieniu ich sprawności. Z gospodarczego punktu widzenia dla skutecznej realizacji założeń *Planu* niezbędna będzie synergia trzech obszarów:

[20] http://ursus.com.pl/Aktualnosci/Ursus-zaprezentowal-autobus-elektryczno-wodorowy; https://pl.wikipedia.org/wiki/Ursus_City_Smile (3.04.2017).

[21] Ministerstwo Energii, *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce „Energia do przyszłości"*, www.me.gov.pl/files/upload/27052/Plan%20Rozwoju%20Elektromobilno%C5%9Bc%20RM.pdf (3.04.2017).

[22] http://chic-project.eu/wp-content/uploads/2015/06/CHIC-Emerging-Conclusions__short_June2016.pdf (30.03.2017).

energetyki, telekomunikacji oraz transportu. Z kolei zaplanowane wsparcie finansowe ze środków publicznych na realizację badań z obszaru szeroko pojętego magazynowania energii pozwoli polskim podmiotom stać się dostawcami technologii, co przełoży się na wzrost PKB oraz powstanie nowych miejsc pracy.

Do tej pory nie ma jednak jasno sformułowanych planów ewentualnego włączenia się Polski do rozpoczętego oraz coraz szybciej rozwijającego się w wielu krajach na świecie programu rozwoju sieci stacji tankowania wodoru oraz rozwoju pojazdów zasilanych wodorem. W perspektywie działań krajów Europy Zachodniej może to znacząco ograniczyć szansę skutecznego wprowadzenia wodoru jako przyszłościowego nośnika energii w nadchodzących latach.

Bibliografia

Brandon N.P., Thompset D., *Fuel Cells Compendium*, Elsevier, Amsterdam 2005.

Browning D., Jones P., Parker K., *An investigations of hydrogen storage methods for fuel cell operation with non-portable equipment*, *Journal of Power Sources,* Vol. 65, 1997.

Departament Energii USA, https://www.hydrogen.energy.gov/ (3.04.2017).

Departament Energii USA, https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/htac_may2012_hyundai.pdf (3.04.2017).

Departament Energii USA, https://energy.gov/sites/prod/files/2016/11/f34/fcto_2016_fuel_cell_bus_report_0.pdf (3.04.2017).

Funck R., *High pressure storage*, w: *Handbook of fuel cells,* Vol. 3, 2003.

Haji S., Malinger K.A., Suib S.L., Erkey C., *Fuels and Fuel Processing*, w: Sammes N. (ed.) *Fuel Cell Technology. Reaching Towards Commercialization*, Springer, London 2006.

Hoogers G., *Fuel Cell Technology Handbook*, CRC Press, Boca Raton 2003.

Honda News, http://hondanews.com (3.04.2017).

Honda Worldwide, http://world.honda.com/FCXClarity/specifications/ (3.04.2017).

http://chicproject.eu/wpcontent/uploads/2015/06/CHICEmergingConclusions__short_June216.pdf (3.04.2017).

http://reports.nissan-global.com/EN/?p=17768.

https://www.global-hydrogen-bus-platform.com/

https://pl.wikipedia.org/wiki/Ursus_City_Smile.

Hundai, http://www.hyundai.pl/Samochody/Ekologiczne/ix35_Fuel_Cell/ (3.04.2017).

Karcz A., *Problemy zagospodarowania gazu koksowniczego*, „Polityka Energetyczna" 2005.

Kordesch K., Simader G., *Fuel Cells and Their Applications*, VCH, Weinheim 1996.

Larminie J., Dicks A., *Fuel Cell Systems Explained*, John Wiley&Sons, Chichester 2000.

MacDonald J., *Electric vehicles to be 35% of global new car sales by 2040*, www.bnef.com (22.07.2016).

Ministerstwo Energii, *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce „Energia do przyszłości"*.

http://ursus.com.pl/Aktualnosci/Ursus-zaprezentowal-autobus-elektryczno-wodorowy (3.04.2017).

Molenda J., *Zarys stanu i perspektywy energetyki polskiej,* Biuletyn Polskiego Stowarzyszenia Wodoru i Ogniw Paliwowych, Wydawnictwa AGH, Kraków 2009.

Molenda J., Świerczek K., Zając W., *Functional materials for the IT-SOFC, Journal of power sources,* Vol. 173, 2007.
Pogoreutz M., *Economical and technological comparison of small-scale CHP on the basis of biomass*, 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sewilla 2000.
Rasche C., Funck R., *Composite High-Pressure Vessels for Hydrogen Storage in Mobile Applications*, HYFORUM 2000 – The International Hydrogen Energy Forum 2000.
Rostrum-Nielsen J.R., Aasberg-Petersen K., *Steam reforming, ATR, partial oxidation: catalysts and reaction engineering, Handbook of fuel cells,* Vol. 3, 2003.
Sammes N., *Fuel Cell Technology. Reaching Towards Commercialization*, Springer-Verlag, London 2006.
Singhal S.C, Kendall K., High *Temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals, Design and Applications*, Elsevier, 2003.
Srinivasan S., *Fuel Cells. From Fundamentals to Applications*, Springer, NY 2006.
Suda S., *Aqueous borohydride solutions*, w: *Handbook of Fuel Cells* Vol 3, John Wiley & Sons, NY 2003.
Ścieżko M., Zieliński H., *Termochemiczne przetwórstwo węgla i biomasy*, Wyd. Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zabrze–Kraków 2003.
Timmerhaus C., Flynn T.M., *Cryogenic Engineering*, Plenum Press, New York 1989.
Tomczyk P., *Zasilanie ogniw paliwowych gazem koksowniczym*, „Karbo" t. 3, 2004.
Wendt H., Kreysa G., *Electrochemical Engineering*, Springer, Berlin 1999.
Wolf J., *Liquid hydrogen technology for vehicles*, w: *Handbook of Fuel Cells* Vol. 3, John Wiley & Sons, NY 2003.
Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Hyundai_ix35_FCEV (3.04.2017).
Toyota Mirai Product Information http://blog.toyota.co.uk/toyota-mirai-technical-specifications-vs-fchv-adv (3.04.2017).

Streszczenie

W rozdziale omówiono podstawowe problemy rozwoju energetyki wodorowej w trzech aspektach: otrzymywania wodoru, jego magazynowania i przetwarzania w ogniwach paliwowych. Wskazano, że kluczem do sukcesu gospodarki wodorowej we wszystkich tych aspektach jest rozwiązanie fundamentalnych problemów materiałowych. Konieczny jest jakościowy przełom w badaniach podstawowych, zrozumieniu zjawisk i mechanizmów oddziaływania wodoru z materią, który doprowadzi do opracowania nowych funkcjonalnych materiałów dla technologii wodorowych. Pozwoli to na zwiększenie wydajności i obniżenie kosztów. Przedstawiono także zagadnienia związane z potencjalnym wykorzystaniem wodoru w motoryzacji oraz omówiono obecny status technologii samochodów FCEV. Wskazano również na spory potencjał naukowo-badawczy w obszarze technologii wodorowych, który powinien być wykorzystany dla stworzenia kompleksowego, polskiego programu badawczego w tym ważnym dla bezpieczeństwa energetycznego kraju obszarze.

FUNDAMENTAL PROBLEMS OF HYDROGEN ENERGY DEVELOPMENT

SUMMARY

In this chapter, basic issues connected with development of hydrogen energy are discussed in three aspects: hydrogen production, its storage, and processing in fuel cells. It has been pointed out that the key to the success of the hydrogen economy in all of these aspects is to solve fundamental problems related to the materials. A qualitative breakthrough in basic research and understanding of the phenomena and mechanisms of hydrogen interaction with matter is needed, and will lead to a development of new functional materials for the hydrogen technology. This will allow to increase efficiency and reduce costs. Also in the chapter, issues related to the potential use of hydrogen in the automotive industry and the current status of FCEV technology are discussed. Furthermore, a considerable research and development potential in the field of hydrogen technology is shown, which should be used to create a comprehensive Polish research program in this important area of energy security in the country.

Dr Michał Wolański

Adiunkt w Katedrze Transportu Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie (SGH). Przebywał na stypendiach i stażach w University of Leeds, University of Sydney, Fachhochschule Gelsenkirchen oraz na Uniwersytecie Gdańskim. Stopień naukowy doktora nauk ekonomicznych uzyskał w 2010 roku na podstawie pracy pt. *Efektywność ekonomiczna demonopolizacji komunikacji miejskiej* poświęconej kształtowaniu współpracy między podmiotami występującymi w roli zamawiającego publiczne usługi a operatorami komunikacji miejskiej – została ona nagrodzona przez Ministra Infrastruktury jako najlepsza praca doktorska z zakresu transportu w 2010 roku. Uczestnik międzynarodowych projektów naukowych współfinansowanych przez Unię Europejską. Ma doświadczenie w realizacji projektów doradczych na zlecenie takich podmiotów, jak Bank Światowy, Europejski Bank Inwestycyjny, Biuro Analiz Sejmowych, Komisja Europejska, przewoźnicy, samorządy różnego szczebla. Współpracuje również ze Związkiem Powiatów Polskich, Związkiem Miast Polskich i Izbą Gospodarczą Komunikacji Miejskiej.

Mgr Mateusz Pieróg

Absolwent psychologii, w tym również studiów podyplomowych dotyczących psychologii transportu. Specjalista w zakresie transportu autobusowego – regionalnego i miejskiego – oraz funduszy unijnych. Prowadził projekt dotyczący powołania związku metropolitalnego w województwie pomorskim (w ramach współpracy z firmą Deloitte), jest współautorem *Planu zrównoważonej mobilności dla Warszawskiego Obszaru Funkcjonalnego* oraz *Diagnozy do aktualizacji Strategii Rozwoju Transportu Polski,* koordynator przygotowania *Raportu o stanie komunikacji miejskiej* oraz przewodnika *Optymalna organizacja transportu publicznego i szkolnego na obszarach nieurbanizowanych.*

Michał Wolański, Mateusz Pieróg

Ocena potencjału rozwoju car-sharingu w Polsce

Wprowadzenie

Car-sharing jest definiowany jako system wspólnego użytkowania samochodów osobowych, udostępnianych użytkownikom przez operatorów za opłatą[1]. Obecność rynkowa takiej usługi ma wpływ na zmianę zachowań komunikacyjnych mieszkańców miast, sposób funkcjonowania całego systemu transportowego oraz strukturę rynków z nim powiązanych. Możliwość zaspokojenia wybranych potrzeb transportowych (np. duże zakupy) przy użyciu wypożyczonego samochodu zmniejsza bowiem presję na posiadanie własnego pojazdu. Przy współdzieleniu użytkowania pojedynczy samochód wykonuje znacznie większe przebiegi roczne, co sprzyja szybszej wymianie floty samochodów (na nowocześniejsze i przyjaźniejsze środowisku), zmniejsza systemową sumę kosztów zależnych od upływu czasu, a przede wszystkim – obniża zajętość miejsc parkingowych. Jednocześnie jednak car-sharing napotyka na wiele barier rozwoju, związanych z wąską grupą docelową oraz otoczeniem konkurencyjnym. Należą do nich z jednej strony chęć posiadania własnego samochodu oraz jego opłacalność przy dużych przebiegach, zaś z drugiej – niskie ceny oraz niewątpliwe przewagi usług taksówkowych oraz pochodnych (w szczególności Ubera), zwłaszcza w realiach polskich.

Wspieranie i promowanie car-sharingu znajduje już miejsce w obowiązujących w Polsce miejskich dokumentach strategicznych, np. w *Strategii Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy do 2015 roku i na lata kolejne*[2]. Obecnie niektóre polskie miasta podejmują przygotowania do oferowania usług car-sharingu[3]. Bez wątpienia dopiero odpowiednio przeprowadzone pilotaże wraz z odpowiednimi badaniami ewaluacyjnymi dadzą pełną odpowiedź na pytanie, czy takie rozwiązanie jest odpowiednie dla kształtowania zrównoważonej polityki mobilności miejskiej w warunkach lokalnych. Jednakże już teraz możliwa – i konieczna – jest wstępna ocena potencjału takiego rozwiązania w oparciu o przegląd badań zagranicznych oraz ana-

[1] *Słownik pojęć Strategii rozwoju transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku)*, Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, Warszawa 2015.

[2] *Strategia Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy do 2015 roku i na lata kolejne, Zrównoważony Plan Rozwoju Transportu Publicznego Warszawy*, Warszawa 2009.

[3] J. Dybalski, *Wrocław. Firma Enigma zbuduje car-sharing. Niedługo umowa*, Transport Publiczny, http://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/wroclaw-firma-enigma-zbuduje-carsharing-niedlugo-umowa-54162.html (11.04.2017); J. Dybalski, *Warszawa uruchomi car-sharing w połowie 2017 r.*, Transport Publiczny, http://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/warszawa-uruchomi-carsharing-w-polowie-2017-r-52770.html (11.04.2017).

liza otoczenia konkurencyjnego – porównanie kosztów car-sharingu i podstawowych rozwiązań substytucyjnych. Taka ocena jest głównym celem niniejszego rozdziału.

W pierwszej części rozdziału przedstawiona została geneza car-sharingu oraz usystematyzowane zostały podstawowe pojęcia. W kolejnych dwóch częściach przedstawiono rezultaty światowych badań dotyczących tej tematyki. Następnie przeprowadzono analizę potencjału rynkowego w Polsce w oparciu o dane dotyczące przebiegów samochodów osobowych, porównanie kosztów różnych środków transportu w miastach, a także porównanie kosztów eksploatacji samochodów o różnych rodzajach napędu – w kontekście aktualnych krajowych dokumentów strategicznych akcentujących rozwiązania przyjazne dla środowiska.

1. Historia car-sharingu

Za protoplastę współczesnego car-sharingu uznaje się system Sefage, uruchomiony w Zurychu już w 1948 roku i funkcjonujący aż do 1998 roku. Początkowo motywacja do wspólnego korzystania z samochodów była czysto ekonomiczna – oferta była skierowana do mieszkańców, których nie było stać na zakup własnego samochodu. Wraz z rozwojem motoryzacji indywidualnej i zwiększającą się dostępnością pojazdów, car-sharing stał się obiecującym narzędziem do zrównoważenia mobilności miejskiej. Na większą skalę systemy car-sharingowe ruszyły w Europie (Szwajcaria, Niemcy, Francja, Wielka Brytania), w Stanach Zjednoczonych i w Japonii w latach 80. XX wieku. W niektórych przypadkach zaczynano od przygotowywanych we współpracy z lokalnymi uniwersytetami projektów eksperymentalnych, umożliwiających rozwinięcie rynku usług tego typu, a także technologii wspierających jego rozwój (np. systemów rezerwacji, pobierania opłat). Wkrótce system car-sharingu rozprzestrzenił się także jako projekt komercyjny uzupełniający ofertę tradycyjnych wypożyczalni samochodowych (Hertz, Avis) czy producentów samochodów (np. BMW, Volkswagen).

Na rynku wykształciły się trzy modele car-sharingu:

- stacjonarny, z określonymi stacjami odbioru i zwrotu samochodów,
- niestacjonarny, z odbiorem i zwrotem w dowolnych miejscach,
- prywatny, z czasowym udostępnianiem własnych samochodów przez mieszkańców miast.

Należy zachować rozróżnienie pojęcia car-sharingu od pojęć odnoszących się do innych form zorganizowanego korzystania z samochodów osobowych, w tym usług świadczonych przez tradycyjne wypożyczalnie samochodów, car-poolingu i ride-sharingu, opierających się na współdzieleniu przestrzeni w samochodach, czy też przewozów osób wykonywanych przez niezawodowych kierowców zamawianych przez pasażerów za pośrednictwem aplikacji mobilnych (np. Uber). W ostatnich latach znacząco zwiększyło się zainteresowanie car-sharingiem, bowiem władze miast dostrzegły w nim sposób na rozwiązanie problemu zwiększającego się zatłoczenia miast.

W przeciwieństwie do tradycyjnych wypożyczalni samochodów, dostęp do usługi car-sharingu jest zautomatyzowany (nie wymaga kontaktu z pracownikami biura, dzięki czemu jest szybszy i całodobowy). W opłatę za korzystanie z samochodu są już wliczone koszty tankowania (najczęściej samochody są tankowane przez użytkow-

ników na wskazanych stacjach paliw, z płatnością specjalnymi kartami flotowymi), ubezpieczenia i miejskich opłat parkingowych. Pracownicy operatora odpowiadają zaś za bieżące serwisowanie, gruntowne sprzątanie i równomierne rozlokowywanie pojazdów, co zapobiega nadmiernemu ich grupowaniu w określonych lokalizacjach (np. dworce, lotniska) przy braku pojazdów w pozostałych lokalizacjach.

Pochodną zastosowanego modelu car-sharingu są formy korzystania z usługi:

- *round-trip* – przejazdy „tam i z powrotem", z wypożyczeniem i zwrotem samochodu u źródła podróży, wywodzące się z tradycyjnych wypożyczalni samochodów;
- *one-way* – podróże jednokierunkowe, z wypożyczeniem samochodu w jednym miejscu (źródło podróży) i zwrotem w docelowym miejscu.

Przejazdy w obie strony sprawdzają się w modelu stacjonarnym z ograniczoną liczbą stacji, umożliwiającym nieco dłuższe podróże, np. wynajęcie samochodu na większe zakupy lub wycieczkę za miasto. Podróże jednokierunkowe cieszą się popularnością w modelu niestacjonarnym lub stacjonarnym o gęstej sieci stacji i obejmują np. dojazdy na lotnisko czy dworzec kolejowy.

Pierwsze systemy car-sharingowe działają od niedawna także w Polsce. W październiku 2016 roku ruszył komercyjny niestacjonarny system car-sharingu w Krakowie, obejmujący 100 samochodów. Po zarejestrowaniu na stronie internetowej operatora (firmy Traficar) można korzystać z usługi, dokonując opłaty będącej kombinacją opłaty za dystans i czas przejazdu, bez ponoszenia opłat za parkowanie i tankowanie. Komercyjny car-sharing stacjonarny uruchomiono także w dwóch dużych miastach w Polsce. Od lipca 2015 roku we Wrocławiu działa GoGet[4], a od listopada 2016 roku 4Mobility w Warszawie[5]. Ponadto rozwiązania nawiązujące do car-sharingu wprowadzają tradycyjne wypożyczalnie samochodów, np. od grudnia 2012 roku EasyMotion w Poznaniu. Równocześnie trwają prace nad uruchomieniem pierwszych publicznych systemów car-sharingowych – we Wrocławiu[6] (samochody elektryczne), w Warszawie (samochody hybrydowe i spalinowe Euro 6) i Poznaniu (samochody elektryczne). Miasta zainteresowały się takim rozwiązaniem po dużym sukcesie uruchomionych systemów wypożyczalni rowerów miejskich.

Zainteresowanie systemami zwiększyło się wraz z rozwojem nowoczesnych technologii, które umożliwiają obecnie za pośrednictwem smartfona szybkie zlokalizowanie najbliższego pojazdu, zarezerwowanie go czy dokonanie bezgotówkowej płatności. Widoczne jest także publiczne wsparcie tego typu inicjatyw. Na wzrost popularności car-sharingu wskazuje raport Centrum Badawczego Zrównoważonego Transportu Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley[7]. W październiku 2014 roku z car-sharingu globalnie korzystało niemal 5 mln użytkowników, którym udostępnio-

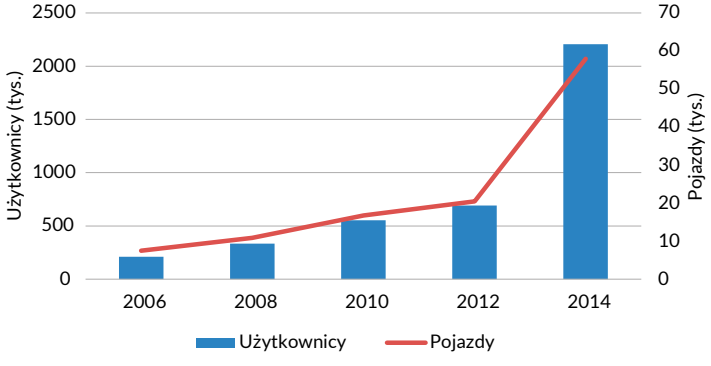
[4] Wrocławska baza start-upów, http://www.wroclaw.pl/startupy/katalog/8,gogetpl (3.04.2017).

[5] System przewiduje możliwość aktywacji jazd biznesowych (otrzymywanie faktur VAT), http://4mobility.pl.

[6] J. Dybalski, *Wrocław. Firma Enigma zbuduje car-sharing*, *dz. cyt.*

[7] S. Shaheen, A. Cohen, *Innovative Mobility Carsharing Outlook*, Transportation Sustainability Research Center, University of California, Berkeley 2016.

no ponad 100 tys. samochodów w 1,5 tys. miastach (dane obejmują car-sharing zorganizowany w oparciu o działalność operatorów, nie uwzględniają car-sharingu prywatnego). Liderem car-sharingu jest Europa (rys. 1), na której terenie z usług korzysta 46% światowych użytkowników (2,2 mln osób), dzielących 56% światowej floty pojazdów (niemal 58 tys. samochodów). Oznacza to w skali całego świata aż 10-krotny wzrost liczby użytkowników i niemal 8-krotny wzrost liczby samochodów w porównaniu z 2006 rokiem. Choć popularność systemu we wskazanym przedziale czasowym stale rosła, największy przyrost liczby użytkowników i pojazdów nastąpił w latach 2012–2014.



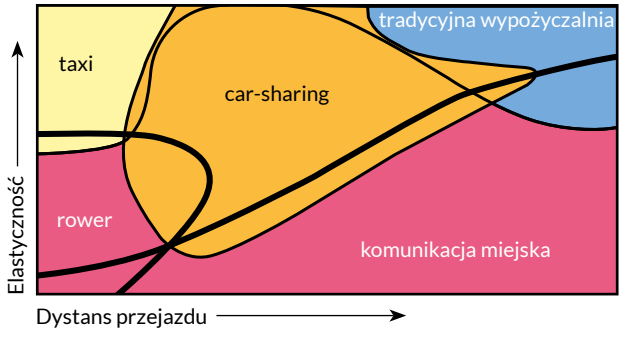
Rys. 1. **Liczba użytkowników i pojazdów w systemie car-sharingu w Europie**
Źródło: S. Shaheen, A. Cohen, *Innovative Mobility Carsharing Outlook*, Transportation Sustainability Research Center, University of California, Berkeley 2016.

2. Użytkownicy car-sharingu

Systemy car-sharingowe są jednym z wielu elementów lokalnych systemów transportowych, dlatego badania dostarczają zróżnicowanych odpowiedzi na pytania o to, kto i w jaki sposób korzysta z usługi. Dostępne wyniki badań z reguły bazują na doborze celowym – dotyczą aktualnych użytkowników car-sharingu. W badaniach przeprowadzonych w 2004 roku w USA i Kanadzie[8] najliczniejszą grupą użytkowników car-sharingu byli mężczyźni w średnim wieku (35–45 lat), z wyższym wykształceniem, ponadprzeciętnymi zarobkami (klasa średnia-wyższa), zamieszkujący gospodarstwa domowe mniejsze niż przeciętnie (jedno- lub dwuosobowe). Podobnych wyników dostarczały inne cytowane w tym samym opracowaniu badania z tego okresu, także z Europy. Przeprowadzone w 2013 roku badania wśród klientów Zipcar, największego operatora car-sharingowego na świecie, skupiają się na tzw. millenialsach, czyli pokoleniu urodzonym w latach 1980–2000 (30% respondentów). Do korzystania z car-sharingu skłaniają ich głównie wysokie koszty posiadania samochodu oraz kwestie związane z ochroną środowiska, a nowoczesne technologie są dla nich znacznie ważniejsze niż samochody – jako jedyni z badanych grup wiekowych wskazali, że brak telefonu komórkowego

[8] A. Millard-Ball i in., *Car-Sharing: Where and How It Succeeds*, National Academy of Sciences, Washington 2005.

dotknąłby ich bardziej niż brak samochodu. W millenialsach z tych samych powodów szansę rozwoju rynku car-sharingu widzą też eksperci rynku motoryzacyjnego biorący udział w badaniu przeprowadzonym przez Nottingham Trent University[9]. O znacznie mniejszym przywiązaniu milienialsów do własności piszą także badacze trendów biznesowych[10], nie jest jednak jasne, czy millenialsi stanowią wyraźnie odrębną grupę docelową, czy jest to raczej efekt marketingowy, do którego nawiązuje m.in. Zipcar sloganem: *posiadaj podróż, nie samochód* (ang. *own the trip, not the car*). W tym kontekście millenialsów należy postrzegać nie jako osoby urodzone w określonym czasie, ale raczej jako osoby młode i niezależne, dopóki w ich życiu nie zajdą zmiany wpływające na ich zwyczaje, np. do czasu założenia rodziny. Według badań francuskich z car-sharingu najczęściej korzystają osoby z wyższym wykształceniem (72% respondentów przy średniej wynoszącej 23% dla mieszkańców Paryża), kierowniczym stanowiskiem (64%) i zarobkami powyżej średniej w regionie[11]. Podobne wyniki osiągnięto w badaniu niemieckim, w którym najliczniejsza grupa określona mianem „liberalnych intelektualistów" stanowiła 66% badanych użytkowników car-sharingu, przy czym w odniesieniu do wszystkich mieszkańców badanych miast grupa ta stanowiła 10%[12]. Przy takim profilu przeciętnego użytkownika car-sharing zdaje się formą transportu raczej uzupełniającą system transportu zbiorowego, niż konkurującą z nim – skłaniającą użytkowników własnych samochodów niezainteresowanych transportem zbiorowym do zmiany przyzwyczajeń (rys. 2).



Rys. 2. **Mobilność miejska z uwzględnieniem pokonywanego dystansu i elastyczności środka transportu (poza samochodem osobowym)**

Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. Schwartz, cyt. za: A. Millard-Ball i in., *Car-Sharing: Where and How It Succeeds*, National Academy of Sciences, Washington 2005.

[9] A. Rodrigues, T. Cooper, M. Watkins, *User-intensive Cars: Design Contributions for More Sustainable Approaches to Personal Transportation*, Nottingham Trent University, 2015.

[10] P. Gao, R. Hensley, A. Zielke, *A road map to the future for the auto industry*, McKinsey Quarterly, 2014, http://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/a-road-map-to-the-future-for-the-auto-industry (31.03.2017).

[11] N. Louvet (ed.), *One-way carsharing: which alternative to private cars? The case study of Autolib' in Paris*, 6t-Bureau de Recherche, Paris 2016.

[12] R. Follmer, D. Gruschwitz, J. Hölscher, *Carsharing aus Sicht der Nutzer. Angebotswahrnehmung und -nutzung*, 2016, https://www.infas.de/fileadmin/user_upload/PDF/infas_multimo%20Pr%C3%A4sentation%20Carsharing_Vertiefung_20160202.pdf (31.03.2017).

Według niektórych badań (np. w Kopenhadze[13]) transport zbiorowy jest beneficjentem rozwoju car-sharingu, jest bowiem wykorzystywany do dotarcia do miejsca odbioru wypożyczanego samochodu. Warto jednak zauważyć, że najwięksi gracze rynkowi nastawieni są na dalszą ekspansję i interesujące jest dla nich przejęcie części pasażerów transportu zbiorowego (studentów, seniorów lub mieszkańców terenów niezurbanizowanych), co jest szczególnie prawdopodobne przy popularyzacji modelu niestacjonarnego nastawionego na podróże jednokierunkowe. Badanie przeprowadzone w 2015 roku wspólnie przez europejskich liderów car-sharingu, firmy DriveNow i Car@Go[14], wykazało, że respondenci korzystali z car-sharingu m.in. wtedy, gdy nie zadowalała ich jakość transportu zbiorowego – gdy częstotliwość kursowania była zbyt niska lub podróż zajmowała zbyt wiele czasu w porównaniu z przejazdem samochodem (59% respondentów), konieczne były kilkukrotne przesiadki (53%), układ linii komunikacyjnych wymagał nadmiernie okrężnej podróży (53%). Jednocześnie przeprowadzone w Niemczech badanie McKinsey[15], jedno z nielicznych badań na próbie reprezentatywnej, a nie dobranej spośród klientów car-sharingu, wskazuje na brak zmian w postrzeganiu znaczenia własności samochodu – aż 73% respondentów w wieku 18–39 lat zamierza mieć własny samochód w najbliższych 10 latach, 78% wszystkich respondentów twierdzi, że posiadanie drogiego samochodu bardziej świadczy o wysokim statusie materialnym niż jakiekolwiek inne dobra materialne. Jest to jeden z pierwszych sygnałów ostrzegających przed nadmierną popularyzacją car-sharingu, który przy niekontrolowanej ekspansji może osłabić pozycję transportu zbiorowego, nie mając większego wpływu na transport indywidualny.

Istnieją rozbieżności w danych dotyczących średniego czasu przejazdu przy użyciu car-sharingu, ponadto operatorzy niechętnie dzielą się informacjami w tym zakresie, postrzegając je jako istotne dla kreowania polityki biznesowej. Niektóre badania określają średni czas przejazdu na poziomie od 30 do 70 minut[16]. W badaniach francuskich w przypadku podróży „tam i powrotem" średni czas wypożyczenia wynosił 5 godzin, a pokonany dystans – 40 km, w przejazdach jednokierunkowych natomiast – odpowiednio 40 minut i 9 km[17]. Wiele zależy od przyjętej grupy docelowej, systemu taryfowego, rozległości obszaru objętego systemem, gęstości stacji czy występujących kongestii. Podkreśla się, że car-sharing służy do podróży fakultatywnych, nieregularnych – np. w jednym z badań[18] (z możliwością wyboru więcej niż jednej odpowiedzi) 55% respondentów używało car-sharingu do celów rekreacyjnych i towarzyskich, ok. 50% do zakupów, 44% do celów własnych (np. wizyta u lekarza), 21% do celów

[13] A. Radzimski, *Transport zbiorowy oraz car-sharing jako elementy systemu zrównoważonego transportu miejskiego w Kopenhadze*, „Transport Miejski i Regionalny", 2011, nr 11.

[14] D. Brook, *How does Flexible Carsharing Change Mobility & Car Ownership?*, http://carsharingus.blogspot.com/2015/03/how-does-flexible-carsharing-change.html (31.03.2017).

[15] A. Cornet i in., *Mobility of the future. Opportunities for automotive OEMs*, McKinsey, Munich 2012.

[16] M. Smolnicki, J. Sołtys, *Car-sharing: the impact on metropolitan spatial structures*, CBU International Conference on Innovations in Science and Education, Praha 2016.

[17] N. Louvet (ed.), *dz. cyt.*

[18] A. Millard-Ball i in., *dz. cyt.*

związanych z pracą, ale nieregularnych (np. spotkanie z klientem), a tylko 5,5% do dojazdów do pracy. Potwierdzają to także dane dotyczące użycia pojazdów w ciągu doby – np. w badaniach przeprowadzonych w Austin (USA)[19] najwięcej podróży wykonywano w godzinach 12–14, podczas gdy jako godziny szczytu w dojazdach do pracy wskazano godz. 7–9 oraz 16–18.

3. Wpływ car-sharingu na mobilność miejską

Wyniki badań wskazują, że upowszechnianie car-sharingu wpływa pozytywnie na kwestie społeczne oraz związane z ochroną środowiska – ogólnie duża część użytkowników rezygnuje z posiadania własnego samochodu, obniżeniu ulega emisja dwutlenku węgla w przeliczeniu na użytkownika, zmniejsza się liczba przejechanych samochodem kilometrów. Należy jednak mieć na uwadze, że podawane wartości rozmaitych wskaźników znacząco się różnią w zależności od przyjętej metodologii i sposobu zbierania danych, dlatego trzeba do nich podchodzić z ostrożnością.

Według przeglądu badań dokonanego przez Shaheen i Cohena[20], zamieniając własny samochód na usługę car-sharingu, użytkownik redukuje emisję dwutlenku węgla o kilkadziesiąt procent – w badaniach europejskich od 39 do 54%, w amerykańskich ok. 27%. Jest to głównie efektem zmniejszenia dystansów pokonywanych rocznie przez kierowcę – o 28 do 45% w Europie i o 7,6% do aż 80% w Ameryce Północnej. Dzieje się tak na ogół dlatego, że kierowcy korzystający z usługi car-sharingu każdorazowo szacują czas i dystans przejazdu, żeby mieć kontrolę nad wydatkami, zaś posiadacze własnego pojazdu nie praktykują tego przy krótszych przejazdach. Wpływ na pokonywane dystanse może mieć też model car-sharingu oraz dostępność samochodów w okolicy – wypożyczonym samochodem wcale nie trzeba wracać zawsze w to samo miejsce, z którego się wyruszyło. Trzeba jednak być ostrożnym w interpretacji tych danych – niektóre systemy car-sharingu poprzez wprowadzenie stałych abonamentowych opłat za korzystanie mogą ostatecznie skutkować zwiększeniem wykorzystania samochodu w codziennych podróżach na zasadzie podobnej do korzystania z biletów długookresowych w transporcie zbiorowym. Dla emisji zanieczyszczeń nie bez znaczenia jest także wiek i technologia napędowa użytkowanych pojazdów. Z uwagi na komercyjny cel działalności operatorom zależy na intensywnej i taniej eksploatacji, czego warunkiem jest m.in. niskie zużycie paliwa i wysoka niezawodność. Przykładowo: operator car-sharingowy StattAuto Berlin szacuje średni roczny przebieg pojazdu swojej floty na ok. 35 tys. km (średni roczny przebieg samochodu osobowego w Niemczech wynosi ok. 14,5 tys. km)[21]. Przy takiej intensywności eksploatacji, a także przy konieczności zapewnienia klientowi atrakcyjnej oferty i wy-

[19] K. Kortum, *Driving Smart: Carsharing Mode Splits and Trip Frequencies*, Transportation Research Board, Washington 2014.

[20] S. Shaheen, A. Cohen, *Carsharing and Personal Vehicle Services: Worldwide Market Developments and Emerging Trends*, Transportation Sustainability Research Center, University of California, Berkeley 2012.

[21] S. Shaheen, D. Sperling, C. Wagner, *Carsharing in Europe and North America: Past, Present, and Future*, "Transportation Quarterly", 1998, No. 3.

sokiego poziomu niezawodności racjonalne staje się utrzymywanie niskiej średniej wieku pojazdów, a także poszerzanie floty o pojazdy hybrydowe i elektryczne. Tym samym rzadko podróżujący samochodem kierowca, decydując się na car-sharing, na ogół zamienia kilkunastoletni własny pojazd niespełniający współczesnych norm emisji spalin na ekologiczny nowy samochód.

Stosunkowo często wymienianą korzyścią jest rezygnacja z posiadania własnego samochodu, mająca wpływ na zwiększenie liczby dostępnych miejsc do parkowania. Cytowane już wyniki badań w tym zakresie opierają się na deklaracjach użytkowników, wedle których na rzecz car-sharingu z posiadania samochodu zrezygnowało od 15,6 do 34% respondentów europejskich, 25% amerykańskich i ok. 21% australijskich. Warto zauważyć, że w niektórych badaniach „rezygnacja z samochodu" oznacza sprzedaż jednego z kilku posiadanych samochodów, nie zawsze wiąże się to zatem z zupełną rezygnacją z własnych pojazdów. W badaniach w Niemczech[22] zwrócono uwagę na perspektywę czasową – aż ok. 60% użytkowników pozbyło się własnego samochodu w ciągu roku przed przystąpieniem do car-sharingu, a kolejnych 18% już podczas korzystania z car-sharingu. Pokazuje to, że dobrze rozwinięty system car-sharingowy, rozpoznawalny wśród mieszkańców i cechujący się trwałą i przewidywalną ofertą, może być realną alternatywą dla posiadania samochodu.

Wskaźnikiem chętnie wykorzystywanym do promocji car-sharingu jest liczba samochodów zastępowanych przez samochód w usłudze car-sharingu, obliczana w odniesieniu do liczby użytkowników i ich deklaracji o sprzedaży własnych pojazdów. Ostrożne szacunki Shaheen i Cohena pokazują, że jeden wypożyczany samochód z powodzeniem może zastąpić od 4 do 10 samochodów w Europie i od 9 do 13 w Ameryce Północnej. W cytowanych badaniach niemieckich mowa o nawet 20 samochodach, co sugestywnie zilustrowano na zdjęciach zestawiających ulice zastawione samochodami z tymi samymi ulicami przemienionymi w miejsca udostępnione pieszym. Badacze przestrzegają jednak włodarzy miejskich przed nadmiernym entuzjazmem – sam car-sharing nie rozwiąże wszystkich problemów z parkowaniem w centrum miasta w ciągu wielu najbliższych lat.

Wśród korzyści z wdrożenia systemu car-sharingu wskazuje się także możliwość fakultatywnego korzystania z samochodu osób mniej majętnych, co znacząco przyczyniłoby się do zwiększenia mobilność tej grupy społecznej. Według badań amerykańskich car-sharing jest opłacalny dla użytkownika przy rocznie pokonywanym dystansie nieprzekraczającym 8 tys. km, czyli ok. 20 km codziennie[23]. Wartość ta wymaga zweryfikowania w europejskich warunkach, odmiennych zarówno pod względem dystansów pokonywanych zwykle przy użyciu samochodami, jak i cen paliw. Warto jednak dodać, że car-sharing sprzyja oszczędnościom w domowym budżecie nie tylko poprzez prostą redukcję wydatków, lecz także dzięki uświadomieniu wartości wydawanych pieniędzy. Z reguły posiadacze samochodów zwracają uwagę jedynie na bezpośrednie wydatki na samochód (paliwo, parkowanie), zaliczając wydatki

[22] W. Loose, *Mehr Platz zum Leben – wie CarSharing Städte entlastet. CarSharing im innerstädtischen Raum – eine Wirkungsanalyse*, Bundesverband CarSharing, Berlin 2016.

[23] A. Millard-Ball i in., *dz. cyt.*

stałe (ubezpieczenie, podatki, naprawy) do ogólnych wydatków budżetu domowego. Opłata za każdy przejechany kilometr sprzyja edukacji konsumentów, którzy mogliby podejmować bardziej świadome decyzje, uwzględniając pełną wartość kosztów ponoszonych w związku z użytkowaniem własnego samochodu.

4. Intensywność eksploatacji samochodów w Polsce

Najbardziej wiarygodne dane dotyczące intensywności użytkowania pojazdów w Polsce można uzyskać z Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców (CEPiK), w której od 2015 roku odnotowywane są również stany liczników pojazdów poddawanych obowiązkowym badaniom technicznym. Dzięki temu, jeśli dany samochód został poddany badaniu dwukrotnie (lub był zarejestrowany jako fabrycznie nowy), możliwe jest obliczenie jego przebiegu rocznego.

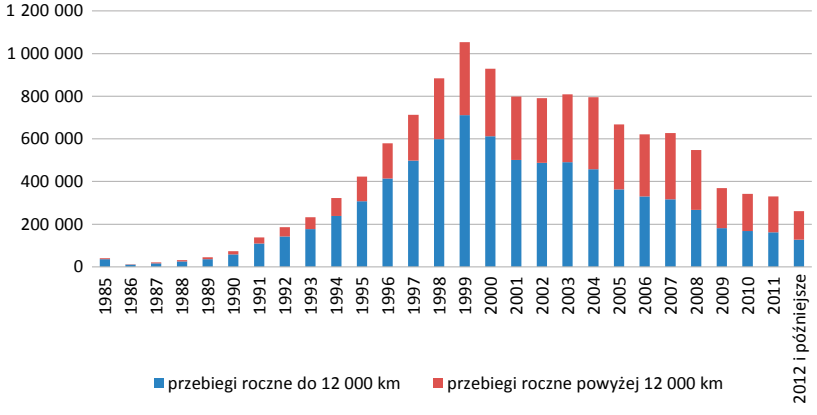
Kompletne dane o przebiegach z CEPiK uzyskano dla 13,5 mln pojazdów samochodowych w Polsce, podczas gdy według GUS zarejestrowanych jest 20,7 mln pojazdów, zaś 18,0 mln w wieku do 30 lat (dane te również pochodzą z CEPiK, jednakże z innych raportów). Rozbieżność tę należy tłumaczyć z jednej strony niepełnością danych o przeglądach, stąd liczba 13,5 mln pojazdów z pewnością jest zaniżona. Z drugiej jednak strony, w pełnej bazie figuruje wiele pojazdów faktycznie nieeksploatowanych, przez co liczba 20,7 czy nawet 18 mln pojazdów z pewnością jest zawyżona.

Dane CEPiK (stan na jesień 2016) wskazują, że średni przebieg pojazdu w Polsce wynosi ok. 13,5 tys. km rocznie, z czego ponad 61% pojazdów wykonuje przebiegi poniżej 12 tys. km rocznie. Względnie wysokie przebiegi dotyczą pojazdów wieku do 5–6 lat, później natomiast roczne przebiegi maleją – samochody z roku 2010 wykonały średnio niecałe 15 tys. km rocznie, zaś z roku 2000 – mniej niż 12 tys. km rocznie (rys. 3).

Rys. 3. **Średnie roczne przebiegi pojazdów osobowych w zależności od roku produkcji (km)**
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych CEPiK.

Samochody wykonujące mniej niż 12 tys. km rocznie dominują w rocznikach 2007 i starszych, w rocznikach 2003 i starszych stanowią już co najmniej 70% (rys. 4). Łącznie z 13,6 mln przeanalizowanych pojazdów – 5,3 miliona wykonuje przebiegi poniżej 15 tys. km rocznie. Niska intensywność eksploatacji niektórych pojazdów wskazuje

wyraźnie na istnienie dużej grupy docelowej dla car-sharingu, szczególnie w obrębie dużych miast.



Rys. 4. **Struktura wiekowa pojazdów z uwzględnieniem zróżnicowania przebiegów (szt.)**
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych CEPiK.

5. Car-sharing jako instrument wdrożenia elektromobilności

20 września 2016 roku Ministerstwo Energii przedstawiło Pakiet na Rzecz Czystego Transportu, obejmujący rozwiązania mające m.in. poprawić bezpieczeństwo energetyczne i ograniczyć zanieczyszczenia z transportu. Pakiet składa się z trzech elementów, m.in. *Planu Rozwoju Elektromobilności*, tworzącego warunki dla rozwoju pojazdów napędzanych energią elektryczną.

W tym kontekście przeprowadzono analizę kosztów cyklu życia pojazdów z różnych napędem, z uwzględnieniem dyskontowania przyszłych przepływów finansowych i niefinansowych (stopa dyskontowa wyniosła 4%). Założono stałe koszty nominalne oraz eksploatację pojazdów w ruchu miejskim. Jako koszty traktowano wartości brutto dla samochodów osobowych oraz netto dla pojazdów użytkowych. Analiza została przeprowadzona dla następujących grup kosztów:

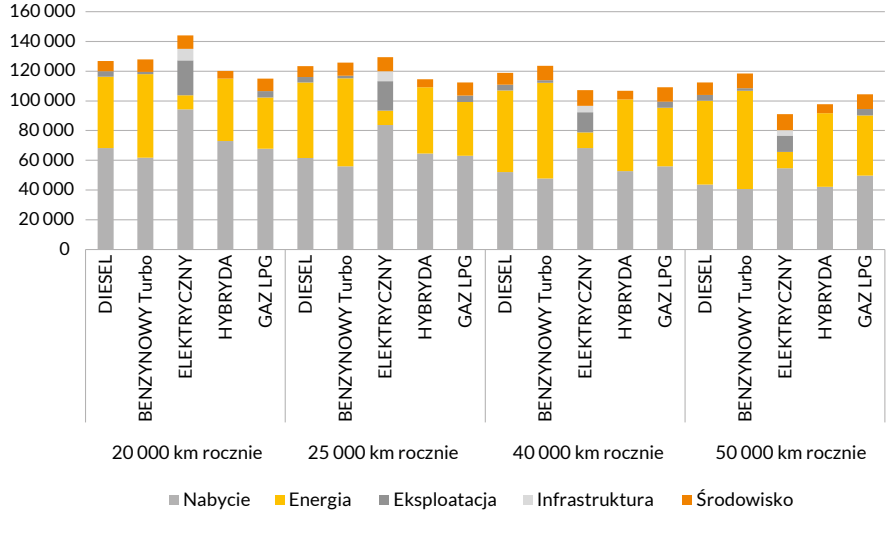
- nabycia pojazdów – z uwzględnieniem wartości rezydualnej na koniec okresu analizy;
- zakupu nośników energii elektrycznej, oleju napędowego, benzyny oraz gazu;
- zakupu usług oraz opłat związanych z eksploatacją – w ujęciu różnicowym (czyli przyrostów względem rozwiązania najtańszego), z uwzględnieniem dwóch rodzajów kosztów: zależnych od upływu czasu oraz przebiegu;
- utworzenia i eksploatacji infrastruktury – w szczególności infrastruktury ładowania; nie uwzględniano infrastruktury do dystrybucji oleju napędowego i benzyny, traktując ją jako zastaną, której koszty funkcjonowania są zawarte w cenie paliw;
- kosztów pośrednich: środowiskowych – emisji zanieczyszczeń, w tym dwutlenku węgla.

Jako dane wejściowe wykorzystano:

- dane z projektów unijnych Trolley (finansowanego w ramach programu Central Europe) i Eliptic (Horyzont 2020) mających na celu ocenę i rozwój różnych rozwiązań w zakresie elektromobilności – w szczególności w zakresie kosztów jednostkowych, zużycia surowców energetycznych oraz kosztów zewnętrznych;
- wyniki postępowań przetargowych oraz informacje prasowe na temat kosztów inwestycji ponoszonych przez polskie samorządy;
- dane z wywiadów przeprowadzonych na potrzeby niniejszego opracowania.

Należy przy tym podkreślić, że przedstawiona analiza ma charakter uproszczony, nieuwzględniający zróżnicowania specyfiki eksploatacji w konkretnych przypadkach (np. infrastruktury zastanej) i ma na celu wskazanie najefektywniejszych kierunków wdrożeń oraz ewentualnych barier, nie zaś przesądzanie o efektywności w indywidualnych przypadkach.

Analizę przeprowadzono dla dwóch wariantów – zakładając koszt zakupu samochodu w wysokości 164 tys. PLN (aktualna cena samochodu Nissan Leaf) oraz 110 tys. PLN (cena hipotetyczna, po upowszechnieniu technologii elektrycznych). Wyniki analizy w drugim wariancie (rys. 5) wskazują, że samochody elektryczne są opłacalne jedynie przy przebiegach ponad 35 tys. km rocznie. W pierwszym – punkt krytyczny przekracza 40 tys. km rocznie. Warto przy tym pamiętać, że w praktyce takie przebiegi w ruchu miejskim są osiągane wyłącznie przez pojazdy eksploatowane jako taksówki, przewóz osób (np. Uber), niektóre pojazdy car-sharingowe oraz nieliczne inne profesjonalne (np. radiowozy policji przejeżdżają średnio już tylko 30 tys. km rocznie).



Rys. 5. **Koszty cyklu życia eksploatacji samochodów osobowych z różnymi rodzajami napędu (PLN)**

Źródło: opracowanie własne.

Duży priorytet polityczny dla elektromobliności przy jej wysokich kosztach stałych oraz progu rentowności na poziomie ok. 35 tys. km rocznie wskazuje, że wdrażanie car-sharingu może być jednym z środków popularyzacji elektromobilności w sposób ekonomicznie efektywny. Podobny efekt można jednak uzyskać również poprzez rozpowszechnienie elektrycznych taksówek bądź samochodów świadczących podobne usługi (np. Uber).

6. Porównanie cen car-sharingu i innych środków mobilności miejskiej

W oparciu o ogólnodostępne dane dotyczące kosztów eksploatacji samochodów i cen usług przewozowych możliwa jest analiza porównująca koszty korzystania z różnych dostępnych środków transportu w miastach. Przeanalizowano koszty przejazdów różnymi środkami transportu (Uber, taksówka, car-sharing, własny samochód i komunikacja miejska) w wariantach będących kombinacją krotności, odległości i czasu przejazdu w granicach Warszawy i Berlina. Jako dane wejściowe wykorzystano:

- taryfikator Uber dla Warszawy (usługa Uber POP – z uwagi na dynamiczny charakter kształtowania cen usługi wybrano lokalizację i czas charakteryzujące się dobrą dostępnością usługi) oraz wybranej popularnej firmy taksówkowej w Warszawie i w Berlinie;
- cennik jednego z tańszych operatorów car-sharingu w Berlinie (samochód małolitrażowy) oraz prognozowane ceny usługi planowanej do uruchomienia w Warszawie;
- cennik biletów komunikacji miejskiej w Warszawie i w Berlinie (strefa miejska, najtańszy bilet umożliwiający pokonanie wybranego odcinka podróży, przy przejazdach pojedynczych – bilet jednorazowy lub czasowy, przy wielokrotnych – bilet miesięczny sieciowy);
- średnie ceny benzyny w Warszawie i w Berlinie za marzec 2017 roku[24];
- przy pojedynczych przejazdach uwzględniano wyłącznie koszty zużycia paliwa, przy wielokrotnych – także koszty ubezpieczenia z internetowych porównywarek ubezpieczeniowych (polskich i niemieckich) dla samochodu marki Opel Corsa 1,0 (rok produkcji 2007) oraz szacowaną miesięczną utratę wartości pojazdu;
- nie brano pod uwagę kosztów parkowania i serwisowania własnego samochodu, a także jednorazowych opłat dodatkowych w car-sharingu (np. za przystąpienie do systemu) oraz promocji.

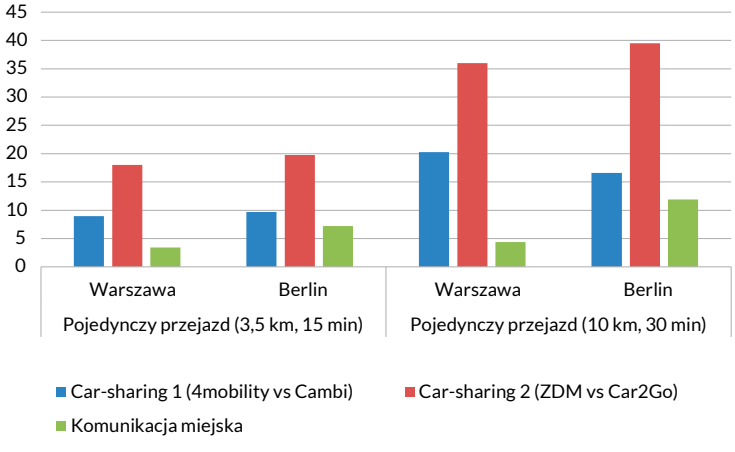
W porównaniu z innymi środkami transportu miejskiego ceny oraz konstrukcje taryf car-sharingu są bardzo zróżnicowane. Według doniesień medialnych planowany w Warszawie przez Zarząd Dróg Miejskich system car-sharingu ma być rozliczany w oparciu o prostą taryfę czasową i ma kosztować 1,20 PLN za minutę[25]. Już teraz

[24] Na podstawie raportów BM Reflex i e-petrol.pl, wyszukiwarki tanken.t-online.de (3.04.2017).

[25] J. Dybalski, *Warszawa uruchomi car-sharing w połowie 2017 r., dz. cyt.*

w Warszawie funkcjonuje także komercyjny system car-sharingu 4Mobility z taryfą opartą o kombinację czasu i dystansu przejazdu (0,80 PLN/km i 0,41–0,58 PLN/min). W Berlinie funkcjonuje obecnie co najmniej 10 systemów car-sharingowych o zróżnicowanych taryfach. Dodatkowo dzięki porozumieniu z BVG (berlińskim operatorem komunikacji miejskiej) niektórzy operatorzy car-sharingu przygotowali oferty promocyjne dla posiadaczy biletów długookresowych zainteresowanych tą usługą, obejmujące np. brak opłaty wstępnej i od kilkunastu do kilkudziesięciu darmowych minut do wykorzystania. Na potrzeby analizy wybrano jednego z tańszych operatorów w Berlinie (Cambio), oferującego usługi car-sharingowe płatne w oparciu o rozbudowaną wariantową taryfę, uwzględniającą czas wypożyczenia, przejechany dystans czy rodzaj pojazdu, a także ofertę droższego operatora powiązanego z marką Mercedes-Benz – Car2Go (samochód Mercedes-Benz klasy A, taryfa czasowa – 31 centów za minutę).

Na wykresie (rys. 6) zestawiono ceny za pojedyncze przejazdy wybranymi systemami car-sharingu w Warszawie (4Mobility – najtańszy samochód klasy C i planowany ZDM) i Berlinie (tańszy Cambi i droższy Car2Go) oraz komunikacją miejską (bilety 20-minutowe i 75-minutowe ZTM Warszawa oraz krótkoprzejazdowe i dwugodzinne BVG Berlin). Uwagę zwraca wysoka cena car-sharingu w Polsce w porównaniu z car-sharingiem w Berlinie. Polski 4Mobility jest tańszy od Cambi jedynie przy krótkich przejazdach, przy dłuższych przejazdach jest już droższy. Dużo droższy od Cambi jest natomiast planowany car-sharing ZDM, zbliżony cenowo raczej do stosunkowo drogiej usługi oferowanej przez Car2Go. Warto jednocześnie zwrócić uwagę, jak tanie są przejazdy komunikacją miejską w Warszawie – są wielokrotnie tańsze od usług car-sharingu, podczas gdy w Berlinie najtańsze oferty operatorów car-sharingowych z powodzeniem konkurują z komunikacją miejską.



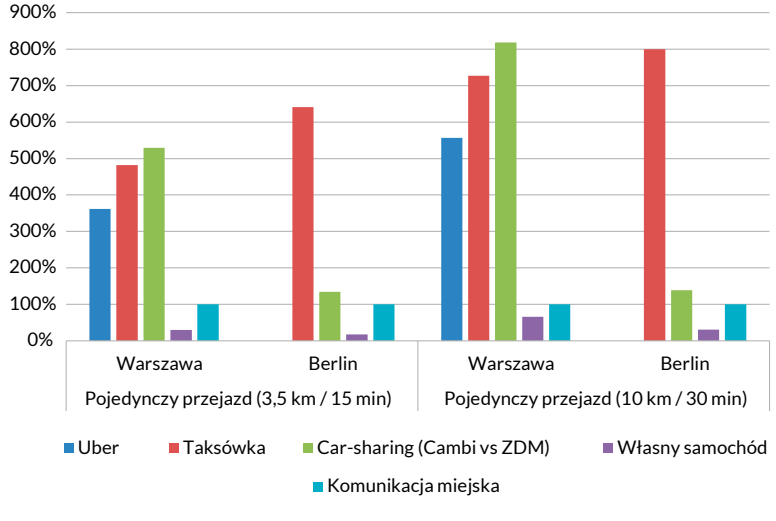
Rys. 6. **Porównanie cen za przejazdy samochodami wybranych systemów car-sharingowych i komunikacją miejską w Warszawie i Berlinie (PLN)**

Ceny niemieckie przeliczone na PLN (1 EUR = 4,25 PLN)

Źródło: opracowanie własne na podstawie taryf operatorów dostępnych w internecie.

Interesujące jest porównanie cen przejazdów większą liczbą środków transportu dostępnych w miastach względem cen biletów komunikacji miejskiej. W przypadku przejazdów pojedynczych (rys. 7) uwagę zwracają bardzo niskie koszty korzystania z własnego samochodu (bez uwzględnienia kosztów stałych), tym korzystniejsze, im krótszy jest pokonywany odcinek – na odcinku 3,5 km benzyna spalona przez samochód Opel Corsa będzie kosztowała zaledwie 30% ceny biletu ZTM Warszawa i 18% ceny biletu BVG Berlin, na odcinku 10 km – odpowiednio 66% i 31%. Wskazuje to, że w przypadku osób posiadających własne samochody – korzystanie z car-sharingu jest i będzie rzadkością.

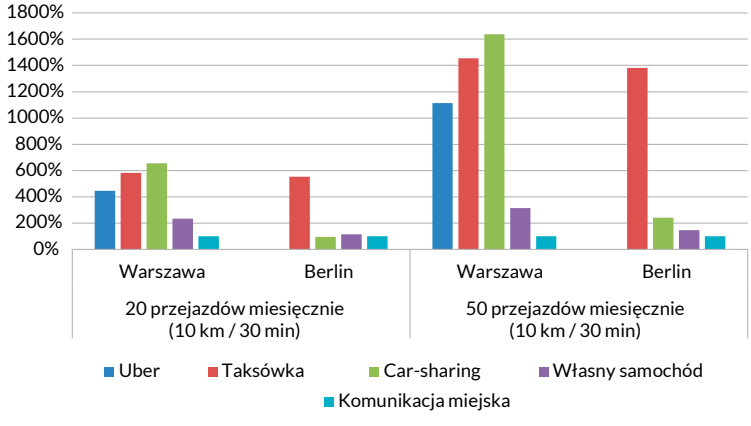
Tani car-sharing w Berlinie w obu przypadkach jest konkurencyjny względem berlińskiej komunikacji miejskiej (134% ceny biletu w krótszym i 139% ceny biletu w dłuższym wariancie przejazdu). Bardzo drogie są natomiast w Berlinie usługi taksówkowe – aż 6- i 8-krotnie droższe od przejazdów komunikacją miejską. Z kolei planowane przez ZDM ceny korzystania z car-sharingu w Warszawie są najdroższą opcją przemieszczania, droższą nawet od zwykłych taksówek. Obecnie bardzo atrakcyjny finansowo jest Uber, wyraźnie tańszy od car-sharingu i taksówek, choć jest to usługa nowa na rynku i nie jest pewne, czy poziom cen utrzyma się w dłuższej perspektywie i czy nie zostanie objęta ograniczeniami administracyjnymi, np. jak w Berlinie. Należy przy tym podkreślić, że w strukturze kosztów Ubera w Warszawie ok. 40–50% to koszty kierowcy, zaś pozostałe – koszy samochodów[26]. Zatem przy odpowiednio intensywnej skali działania car-sharingu potencjalnie możliwe jest osiągnięcie jego cen na poziomie 50–60% cen Ubera, co i tak nie spowoduje tak dużej względnej atrakcyjności car-sharingu jak w przypadku Berlina.



Rys. 7. **Porównanie cen za pojedyncze przejazdy różnymi środkami transportu w Warszawie i Berlinie oraz planowanej ceny car-sharingu ZDM (komunikacja miejska = 100%)**
Źródło: opracowanie własne na podstawie taryf operatorów dostępnych w internecie.

[26] Uber Market, https://drive.uber.com/plubermarketplace/location/polska/#insurance (7.04.2017).

Przy wielokrotnych przejazdach w miesiącu (20 i 50 razy na odcinku 10 km) i uwzględnieniu kosztów stałych korzystania z własnego samochodu najbardziej atrakcyjną finansowo formą transportu w mieście staje się komunikacja miejska w oparciu o sieciowy bilet miesięczny. W Warszawie różnice są wyraźne w obu wariantach podróżowania – własny samochód jest ponad dwukrotnie droższy od biletu już przy 20 przejazdach miesięcznie, a przy 50 już ponad trzykrotnie. Znacznie droższe jest korzystanie z Ubera, taksówek i car-sharingu, przy czym Uber – podobnie jak przy jednorazowych przejazdach – jest możliwością stosunkowo tanią. W Berlinie różnice nie są aż tak duże, przy 20 przejazdach miesięcznie koszty korzystania z car-sharingu lub własnego samochodu są zbliżone do ceny biletu miesięcznego, różnica jednak rośnie wraz ze wzrostem liczby przejazdów. Niezależnie od liczby przejazdów najdroższą formą poruszania się po Berlinie jest taksówka, dla której nie ma alternatywy w postaci Ubera.



Rys. 8. **Porównanie cen za wielokrotne przejazdy różnymi środkami transportu w Warszawie i Berlinie oraz planowanej ceny car-sharingu ZDM (komunikacja miejska=100%)**
Źródło: opracowanie własne na podstawie taryf operatorów dostępnych w internecie.

Przytoczone analizy wskazują przede wszystkim na bardzo atrakcyjne ceny biletów komunikacji miejskiej w Warszawie, w przeciwieństwie do Berlina, w zasadzie bezkonkurencyjne względem innych środków transportu. Wyraźnie kontrastujące z nimi wygórowane nawet względem rynku niemieckiego ceny przejazdów w systemie car-sharingu ZDM w Warszawie rodzą pytania o powodzenie przedsięwzięcia w takiej formie, szczególnie przy obecności na rynku bardzo atrakcyjnych cenowo przewozów osób (Uber). Oprócz obniżenia cen za przejazdy w planowanym car-sharingu konieczne może okazać się wprowadzenie dodatkowych zachęt, szczególnie skutecznych w przypadku powiązania z ofertą ZTM Warszawa. Wzorem mogą być doświadczenia BVG Berlin, którego pasażerowie mogą liczyć np. na pulę darmowych przejazdów w car-sharingu. Przy zintegrowanej ofercie umożliwiającej codzienne dojazdy do pracy komunikacją miejską i okazjonalne przejazdy współdzielonym samochodem realne staje się przekonanie niektórych mieszkańców do rezygnacji z po-

siadania własnego samochodu. Konieczne będą jednak dalsze badania obejmujące rolę car-sharingu w systemach transportowych polskich miast, czego świadomość ma ZDM w Warszawie – w wymogach postępowania koncesyjnego prowadzącego do wyłonienia operatora car-sharingu zawarto bowiem zapisy dotyczące zbierania danych statystycznych i prowadzenia badań na reprezentatywnej grupie użytkowników systemu.

Podsumowanie

Car-sharing zyskuje w Europie rosnącą popularność, na którą wpływają zarówno bezpośrednie bodźce ekonomiczne, jak i zmiany postaw konsumenckich. Również w Polsce z racjonalnego punktu widzenia car-sharing pozwoliłby na zastąpienie dużej liczby pojazdów starszych, eksploatowanych rzadko, pojazdami nowymi, przyjaznymi środowisku – w tym również gazowymi, elektrycznymi oraz hybrydowymi, trafiając do dużego segmentu rynkowego posiadaczy rzadko używanych samochodów. W szczególności dzięki możliwym wysokim przebiegom rocznym pojedynczego samochodu, car-sharing – obok usług taksówkowych i pochodnych – może być jednym z efektywnych ekonomicznie kierunków wdrażania elektromobilności. Opisane przypadki zagraniczne potwierdzają pozytywne oddziaływanie car-sharingu.

Najpoważniejszą barierą wdrażania car-sharingu w Polsce okazują się względnie wysokie ceny tej usługi, zwłaszcza w porównaniu z usługami taksówkowymi i przewozu osób (np. Uber), które w warunkach polskich cechują się niskimi cenami dzięki niskim kosztom siły roboczej, dużej konkurencji oraz intensywnemu wykorzystaniu samochodów. Analiza aktualnych cenników systemów car-sharingu w Polsce oraz zamierzeń polskich miast wskazuje, że w przeciwieństwie do krajów zachodnich, w Polsce car-sharing nie będzie oferował istotnych oszczędności w stosunku do korzystania z taksówek i Ubera. Ponadto dużym zagrożeniem dla popularności car-sharingu jest względnie tania komunikacja publiczna w polskich miastach.

Stąd też kluczem dla powodzenia car-sharingu będzie uzyskanie bardzo dużej skali działania, zbliżonej np. do Ubera – wówczas ceny car-sharingu będą mogły osiągnąć poziom istotnie niższy od cen usług taksówek, co będzie zachowaniem relacji występujących w innych krajach. Jej osiągnięcie może wymagać odpowiednich działań regulacyjnych oraz wysokich nakładów inwestycyjnych, takich jak: preferencje podatkowe, wsparcie finansowe w momencie „rozruchu" (ze strony inwestorów prywatnych lub publicznych) czy też pewne działania obniżające cenę (np. bezpłatne parkowanie).

W szczególności godnym rozważenia rozwiązaniem może okazać się pula bezpłatnych przejazdów dla posiadaczy biletów miesięcznych komunikacji miejskiej lub rozwiązania pochodne. Zaliczyć do nich można np. pulę bezpłatnych przejazdów osób uprawnionych do preferencyjnych abonamentów parkingowych, które zrezygnują z ich wykupienia, lub osób, które zdecydują się na kasację starych samochodów (wzorem premii za złomowanie samochodu).

Należy przy tym pamiętać, że wdrożeniu car-sharingu powinny towarzyszyć precyzyjne analizy ewaluacyjne, obejmujące zarówno badania jakościowe (postaw użyt-

kowników), jak i „twardą" analizę kosztów i korzyści wdrożenia, z uwzględnieniem kosztów i korzyści zewnętrznych. W szczególności ważne jest monitorowanie, aby wsparcie publiczne było odpowiednio zbalansowane względem korzyści społecznych (w postaci m.in. mniejszego zajęcia miejsc parkingowych oraz obniżonej emisji), zaś użytkownicy car-sharingu w ograniczonym zakresie rekrutowali się spośród pasażerów transportu publicznego i innych przyjaznych środowisku rodzajów transportu.

Bibliografia

Brook D., *How does Flexible Carsharing Change Mobility & Car Ownership?*, http://carsharingus.blogspot.com/2015/03/how-does-flexible-carsharing-change.html (31.03.2017).

Cornet A. i in., *Mobility of the future. Opportunities for automotive OEMs*, McKinsey, Munich 2012.

Dybalski J., *Warszawa uruchomi car-sharing w połowie 2017 r.*, Transport Publiczny, 2016, http://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/warszawa-uruchomi-carsharing-w-polowie-2017-r-52770.html (7.04.2017).

Follmer R., Gruschwitz D., Hölscher J., *Carsharing aus Sicht der Nutzer. Angebotswahrnehmung und -nutzung*, 2016, https://www.infas.de/fileadmin/user_upload/PDF/infas_multimo%20Pr%C3%A4sentation%20Carsharing_Vertiefung_20160202.pdf (31.03.2017).

Gao P., Hensley R., Zielke A., *A road map to the future for the auto industry*, McKinsey Quarterly, 2014, http://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/a-road-map-to-the-future-for-the-auto-industry (31.03.2017).

Kortum K., *Driving Smart: Carsharing Mode Splits and Trip Frequencies*, Transportation Research Board, Washington 2014.

Loose W., *Mehr Platz zum Leben – wie CarSharing Städte entlastet. CarSharing im innerstädtischen Raum – eine Wirkungsanalyse*, Bundesverband CarSharing, Berlin 2016.

Louvet N. (ed.), *One-way carsharing: which alternative to private cars? The case study of Autolib' in Paris*, 6t-Bureau de Recherche, Paris 2016.

Millard-Ball A. i in., *Car-Sharing: Where and How It Succeeds*, National Academy of Sciences, Washington 2005.

Radzimski A., *Transport zbiorowy oraz car-sharing jako elementy systemu zrównoważonego transportu miejskiego w Kopenhadze*, „Transport Miejski i Regionalny", 2011, nr 12.

Rodrigue A., Cooper T., Watkins M., *User-intensive Cars: Design Contributions for More Sustainable Approaches to Personal Transportation*, Nottingham Trent University, 2015.

Shaheen S., Cohen A., *Carsharing and Personal Vehicle Services: Worldwide Market Developments and Emerging Trends*, Transportation Sustainability Research Center, University of California, Berkeley 2012.

Shaheen S., Cohen A., *Innovative Mobility Carsharing Outlook, Transportation Sustainability Research Center*, University of California, Berkeley 2016.

Shaheen S., Sperling D., Wagner C., *Carsharing in Europe and North America: Past, Present, and Future*, "Transportation Quarterly", 1998, No. 3.

Słownik pojęć Strategii rozwoju transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku), Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, Warszawa 2015.
Smolnicki M., Sołtys J., *Car-sharing: the impact on metropolitan spatial structures*, CBU International Conference on Innovations in Science and Education, Praha 2016.
Strategia Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy do 2015 roku i na lata kolejne, w tym Zrównoważony Plan Rozwoju Transportu Publicznego Warszawy, Warszawa 2009.
Uber Market, https://drive.uber.com/plubermarketplace/location/polska/#insurance (07.04.2017).
Wrocławska baza startupów, http://www.wroclaw.pl/startupy/katalog/8,gogetpl (3.04.2017).

Streszczenie

Dynamicznie rozwijający się car-sharing ma wpływ na zmianę zachowań komunikacyjnych, sposób funkcjonowania całego systemu transportowego oraz strukturę rynków z nim powiązanych. Możliwość zaspokojenia wybranych potrzeb transportowych (np. duże zakupy) przy użyciu wypożyczonego samochodu zmniejsza bowiem presję na posiadanie własnego pojazdu. Pojedynczy samochód przy współdzieleniu jego użytkowania wykonuje znacznie większe przebiegi roczne, co sprzyja szybszej wymianie floty samochodów (na nowocześniejsze i przyjaźniejsze środowisku) i obniża zajętość miejsc parkingowych. W Polsce car-sharing może być dużą szansą na odnowę floty pojazdów, w tym wprowadzanie elektromobilności.

Pomimo licznej grupy docelowej najpoważniejszą barierą wdrażania car-sharingu w Polsce okazują się względnie wysokie ceny tej usługi, zwłaszcza w porównaniu z usługami taksówkowymi i pochodnymi od taksówkowych (np. Uber). Analiza aktualnych cenników systemów car-sharingu w Polsce oraz zamierzeń polskich miast wskazuje, że w przeciwieństwie do krajów zachodnich, w Polsce car-sharing nie będzie oferował istotnych oszczędności w stosunku do korzystania z taksówek i Ubera. Stąd też kluczem dla powodzenia car-sharingu będzie osiągnięcie cen niższych od taksówek lub Ubera, co skutkować będzie zachowaniem relacji cenowych występujących w innych krajach. Będzie to możliwe np. poprzez uzyskanie bardzo dużej skali działania, zbliżonej np. do Ubera. Jej osiągnięcie może wymagać odpowiednich działań regulacyjnych oraz wysokich nakładów inwestycyjnych.

EVALUATION OF CAR-SHARING POTENTIAL IN POLAND

SUMMARY

Dynamically developing car-sharing influences transport behaviors, principles of transport systems and transport-related market structures. Ability to satisfy selected transport needs (such as weekend shopping) by a rented car reduces the need to have an own vehicle. A single shared car achieves greater yearly mileage what causes faster fleet renewal and increases introduction of modern, environmental friendly cars. Also parking space consumption is significantly smaller. In Poland car sharing is a chance to renew car fleet and introduce electromobility.

Despite wide target group, he biggest barrier of car-sharing introduction in Poland are high prices of the services, compared with taxis and private car hire (Uber). Analysis of current and forecasted Polish car-sharing prices show, that in contrary to Western Europe, car-sharing will not provide significant savings to end-users compared with taxi and car hire. Therefore a key success factor for car-sharing development in Poland is to reduce prices in order to achieve competitiveness against Uber and taxis, what will result in similar price relations to Western Europe. This may require appropriate regulations and initial funding.

Dr Hubert Igliński

Adiunkt w Katedrze Logistyki Międzynarodowej, na Wydziale Gospodarki Międzynarodowej Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu od 2010 roku. Stopień naukowy doktora nauk ekonomicznych uzyskał w 2009 roku na podstawie pracy pt. *Ograniczanie poziomu kongestii transportowej a zrównoważony rozwój miast* – została ona wyróżniona przez Ministra Infrastruktury, Prezydenta Miasta Poznania i Rektora UEP. Jest wykładowcą na studiach I i II stopnia, a także na studiach podyplomowych i MBA. W latach 2010–2014 wykładowca w Instytucie Transportu w PWSZ im. Hipolita Cegielskiego w Gnieźnie. W latach 2012–2014 dyrektor Instytutu Transportu w PWSZ im. Hipolita Cegielskiego w Gnieźnie. Autor i współautor ponad 60 publikacji naukowych oraz kilkunastu ekspertyz gospodarczych dla samorządów lokalnych i przedsiębiorstw. Do głównych obszarów jego badań należą: transport niskoemisyjny, autonomizacja transportu, koszty zewnętrzne transportu, logistyka miejska, kongestia transportowa, transport intermodalny i konteneryzacja.

Hubert Igliński

Instrumenty wsparcia e-mobilności: doświadczenia innych krajów i wnioski dla Polski

Wprowadzenie

Samochody elektryczne pojawiły się na przełomie XIX i XX wieku i szybko pokonały konkurencyjne rozwiązania z silnikami parowymi i spalinowymi. Jednak okres ich dominacji szybko się skończył i już przed I wojną światową na prawie 100 lat transport drogowy został całkowicie zdominowany przez pojazdy spalinowe wykorzystujące paliwa ropopochodne. Współcześnie na skutek różnych przyczyn, głównie potrzeby zwiększenia ochrony zdrowia i środowiska naturalnego, ponownie na rynku pojawiają się samochody elektryczne. Jednak mimo licznych zalet wciąż nie są one wolne od wad. Paradoksalnie są to te same ograniczenia, które charakteryzowały samochody elektryczne eksploatowane na początku XX wieku. Dlatego też zdynamizowanie rozwoju elektromobilności wymaga współcześnie wdrożenia odpowiednich programów wsparcia.

Głównym celem niniejszego rozdziału jest zidentyfikowanie instrumentów wsparcia elektromobilności stosowanych w wybranych państwach, a także sporządzenie rekomendacji dla Polski w tym zakresie. Rozdział rozpoczyna krótkie przywołanie historii rozwoju i upadku samochodów elektrycznych oraz wskazanie kluczowych barier ograniczających ich popularyzację.

1. Krótka historia rozwoju pojazdów elektrycznych

Pierwszym pojazdem elektrycznym był najprawdopodobniej 3-kołowiec skonstruowany przez Magnusa Volka z Brighton w 1888 roku dla sułtana tureckiego. Pojazd miał moc 1 konia mechanicznego i na drodze dobrej jakości rozpędzał się do 8 mil na godzinę[1]. Pojazdy elektryczne od samego początku musiały się zmagać z silną konkurencją ze strony dojrzałych już ówcześnie konstrukcji samochodów parowych rozwijanych przez co najmniej 100 lat (pierwszy jeżdżący pojazd na parę zbudował już w 1769 roku Nicholas Cugnot[2]) oraz raczkujących jeszcze konstrukcji z silnikami

[1] J. Motavalli, *Forward Drive: The Race to Build the Clean Car of the Future,* Earthscan, New York 2001, s. 8.

[2] Istnieją przypuszczenia, że pierwszy jeżdżący pojazd napędzany parą został zbudowany jeszcze wcześniej, bo w latach 1665–1680, a skonstruował go Ferdynand Verbiest, flamandzki jezuita i astronom, dla chińskiego cesarza.

spalinowymi. Jednak dzięki swoim zaletom, przede wszystkim łatwemu rozruchowi, bezpieczeństwu, cichej pracy[3] i niskiemu poziomowi awaryjności, szybko stały się bardzo popularne – w 1900 roku w USA wyprodukowano ich 1575 sztuk, 1681 parowych i tylko 936 aut spalinowych. Dlatego też często wykorzystywano je jako taksówki. Przykładowo w 1898 roku nowojorska Electric Carriage and Wagon Company dysponowała flotą 12 pojazdów elektrycznych, których przestronne wnętrze dostosowane było do przewożenia dżentelmenów siedzących w kapeluszach[4]. Od konstruowania aut elektrycznych i hybrydowych rozpoczął swoją karierę Ferdinand Porsche, podobnie Henry Ford (wyłącznie elektryczne).

Niestety, boom na samochody elektryczne skończył się równie szybko, jak się rozpoczął. W styczniu 1901 roku odkryto ogromne złoża ropy w Teksasie w okolicy miasteczka Spindletop, dzięki którym w ciągu pół roku cena baryłki spadła do zaledwie 3 centów, podczas gdy kubek wody kosztował 5 centów[5]. Siedem lat później Henry Ford rozpoczął produkcję swojego ikonicznego modelu T, a w 1913 roku zastosował linię montażową. To 8-krotnie skróciło czas produkcji Forda T i w znacznej mierze spowodowało spadek ceny z początkowych 825 USD (525 USD w 1913 roku) do zaledwie 345 USD w 1916 roku[6]. Tym samym samochód przestał być rzadkim dobrem przeznaczonym wyłącznie dla najbogatszych i stał się powszechnie dostępny. W 1911 roku wynaleziono elektryczny rozrusznik, który został błyskawicznie zaimplementowany przez licznych producentów samochodów spalinowych (w drugiej dekadzie XX wieku było ok. 300), oferujących niezwykle bogatą różnorodność modeli[7]. Pojemność akumulatorów jednak nie wzrastała, tym samym zasięg i osiągi samochodów elektrycznych pozostawały bardzo niewielkie, dużo mniejsze niż aut spalinowych, a ponadto publiczne ładowarki znajdowały się tylko w największych miastach – poza nimi ciężko było o podłączenie nawet do zwykłego gniazdka. To wszystko sprawiło, że już w 1913 roku sprzedano ponad 180 tys. samych tylko Fordów T, podczas gdy sprzedaż wszystkich modeli elektrycznych wyniosła zaledwie 6 tys. i stanowiła ok. 1% wszystkich wyprodukowanych w tym roku aut w USA[8].

Ideę samochodów elektrycznych próbowano reaktywować w latach 70. XX wieku takimi konstrukcjami jak: CitiCar, HMV FreeWay (trójkołowiec) lub też Kesling Yare, a następnie w latach 90. m.in. modelem EV-1 produkcji GM[9]. Wszystkie one zdecy-

[3] Do rozruchu samochodu spalinowego konieczne było użycie korby, a jej obsługa wymagała dużej siły, ale i wprawy, ponieważ łatwo było nabawić się poważnej kontuzji barku. Ponadto samochody te uważano za bardzo niebezpieczne – tankowano je łatwopalną i wybuchową benzyną; emitowały również śmierdzące spaliny i były głośnie.

[4] J. Motavalli, *dz. cyt.*, s. 9.

[5] D. Yergin, *The Prize. The Quest for Oil, Money & Power*, Simon & Schuster, New York 2009, s. 68–70.

[6] R. Heinberg, *The Party's Over. Oil, War and the Fate of Industrial Society*, New Society Publishers, Gabriola Island 2005, s. 64.

[7] K. Dennis, J. Urry, *After the Car*, Polity Press, Cambridge 2009, s. 34.

[8] J. Motavalli, *dz. cyt.*, s. 12.

[9] D. Sperling, D. Gordon, *Two Billion Cars. Driving Towards Sustainability*, Oxford University Press, New York 2009, s. 72.

dowanie nie spełniały oczekiwań klientów, przede wszystkim pod względem funkcjonalnym i wizualnym – zbyt mocno różniły się od dominującej w danym czasie linii nadwozia oraz miały liczne wady konstrukcyjne. Potrzeba było kolejnej dekady, aby samochody elektryczne przestały nadmiernie odstawać od swoich spalinowych konkurentów, a przede wszystkim zyskały bardziej oszczędne (energetycznie) konstrukcje i odpowiednio pojemne baterie pozwalające na znacznie dłuższe podróże. Istotnie wzrosła również świadomość społeczeństw krajów rozwiniętych na temat szkodliwości spalania ropy i konsekwencji silnego uzależnienia od niej, a rządy poszczególnych państw rozpoczęły realizację systemowego odejścia od paliw kopalnych. Wciąż jednak samochody elektryczne (ang. *battery electric vehicle* – BEV i *plug-in hybrid electric vehicle* – PHEV[10]) są rzadkością – na koniec 2015 roku eksploatowano ich ok. 1,26 mln[11], czyli zaledwie ok. 0,1% wszystkich samochodów osobowych, a ich sprzedaż wśród nowych samochodów stanowiła jedynie 0,7%[12].

2. Bariery rozwoju rynku samochodów elektrycznych

Największą barierą rozwoju samochodów elektrycznych pozostaje ich cena. Znacznie przewyższa ona cenę analogicznych modeli z konwencjonalnymi silnikami spalinowymi. Dla przykładu elektryczna wersja popularnego VW Golf kosztowała na koniec 2016 roku minimum 157 tys. PLN, a jego odpowiednik (z podobną mocą silnika i wyposażeniem) z silnikiem diesla 86 tys., natomiast napędzany benzyną 78 tys. PLN[13]. W przypadku najmniejszych modeli samochodów różnica w cenie jest relatywnie jeszcze większa. Elektryczny VW up! kosztuje od 115 tys. PLN, a porównywalna wersja benzynowa nie więcej niż ok. 50 tys. PLN[14]. Do tanich nie należy również popularny w Europie Renault ZOE EV, za który trzeba zapłacić co najmniej 90 tys. PLN plus koszty najmu akumulatorów, co najmniej 379 PLN miesięcznie[15]. Osoba chcąca zakupić model S Tesli musi się liczyć z wydatkiem minimum 68 tys. USD[16], a cena najlepiej wyposażonych wersji przekracza 130 tys. USD[17]. Przy czym w segmencie samochodów premium różnica w cenie jest relatywnie niewielka, a czynnikiem decydującym o zakupie może być efekt naśladownictwa, tym bardziej, że w grupie najbardziej zamożnych gospodarstw domowych samochód elektryczny jest drugim lub kolejnym pojazdem i służy raczej do lokalnych przemieszczeń.

Cena samochodów elektrycznych wynika głównie z wysokich kosztów produkcji akumulatorów oraz kontrolerów sterujących ich pracą, ponieważ sam silnik elektryczny jest znacznie prostszy w swojej konstrukcji i tańszy w produkcji niż silnik spalino-

[10] Przy czym auta hybrydowe, w tym również PHEV, należy traktować jedynie jako etap przejściowy na drodze do pełnej elektryfikacji transportu.

[11] *Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars*, OECD/IEA, Paris 2016, s. 36.

[12] http://www.acea.be/statistics/tag/category/passenger-cars-world (20.03.2017).

[13] https://www.volkswagen.pl/pl/modele.html (20.03.2017).

[14] http://cenniki.konfigurator-vw.pl/pdf/RM2017_RP2017/up!_fl.pdf?intcmp=cms-cenniki-cennikno-wyup (20.03.2017).

[15] https://www.renault.pl/content/dam/Renault/PL/pdf/pricelists/zoe-price.pdf (20.03.2017).

[16] Ceny na rynku amerykańskim, w Europie są one wyższe (nieraz istotnie) ze względu na podatki i cło.

[17] https://www.tesla.com/models/design (20.03.2017).

wy. Wysoka cena akumulatorów litowo-jonowych (ang. *Li-Ion*), najpowszechniej wykorzystywanych współcześnie w autach elektrycznych, wynika z dwóch kluczowych przyczyn. Akumulatory Li-Ion wciąż nie są jeszcze w pełni dojrzałym produktem i cały czas prowadzone są nad nimi intensywne prace badawczo-rozwojowe[18], mimo iż pierwsze patenty na nie uzyskano na przełomie lat 70. i 80. XX wieku, a pierwsze komercyjne ich zastosowanie miało miejsce w 1991 roku[19].

Ponadto, wielkość produkcji pozostaje niewielka i nie osiągnięto odpowiednio wysokich korzyści skali. Przełom może przynieść uruchomienie Gigafactory w Nevadzie produkującej akumulatory dla samochodów Tesla. Planuje się, że w 2018 roku łączna pojemność wyprodukowanych akumulatorów osiągnie 35 GWh, czyli ponad 2 razy więcej niż wynosiła łączna pojemność akumulatorów we wszystkich BEV, które po raz pierwszy zarejestrowano w 2015 roku (ok. 330 tys.)[20]. Taka skala produkcji powinna przynieść spadek kosztu wytworzenia akumulatorów (na 1 kWh pojemności) o co najmniej 30%[21].

Koszt akumulatorów Li-Ion stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym dynamicznie spada. W 2010 roku wynosił on przeszło 1000 USD/kWh i w ciągu 5 lat spadł o ok. 50%. Prognozy wskazują, że ceny te będą ulegać dalszemu obniżeniu do ok. 250 USD/kWh[22] w 2020 roku[23]. Cel ten powinno udać się zrealizować, bowiem już w 2017 roku Tesla ma oferować nowe akumulatory (ogniwa typu 2170) w znacznie niższej cenie –

[18] Teoretyczna pojemność akumulatorów Li-Ion opartych na kobalcie wynikająca z ich fizyko-chemicznych właściwości wynosi ok. 630 Wh/kg, a pojemność stosowanych dziś komercyjnie w przemyśle motoryzacyjnym akumulatorów sięga ok. 250 Wh/kg. Prowadzone są również intensywne prace nad kolejnymi generacjami akumulatorów litowych, tzw. akumulatorów litowo-siarkowych i litowo-powietrznych, których teoretyczna pojemność wynosi 1600 Wh/kg i co najmniej 2000 Wh/kg przy wielokrotnie niższej objętości niż w przypadku akumulatorów Li-Ion. Stworzenie komercyjnej wersji akumulatora litowo-powietrznego (testowane obecnie są absolutnie zbyt drogie), nawet gdyby osiągnął on obecny poziom rozwoju akumulatorów Li-Ion, czyli ok. 40% teoretycznej pojemności, i tak spowodowałyby rewolucję na rynku motoryzacyjnym. Dzięki nim można by ponad 3-krotnie zwiększyć ich pojemność i równocześnie zasięg pojazdu lub znacznie zmniejszyć masę akumulatorów przy niezmienionym zasięgu, do tego zmniejszając kilkukrotnie ich objętość.

[19] Ch. Julien, A. Mauger, A. Vijh, K. Zaghib, *Lithium Batteries. Science and Technology*, Springer International Publishing, Cham 2016, s. 30–34.

[20] *Global EV…, dz. cyt.*, s. 36.

[21] https://www.tesla.com/gigafactory (20.03.2017).

[22] Dla porównania typowe akumulatory samochodowe – kwasowo-ołowiowe – odpowiedzialne za rozruch silnika i zasilanie układów elektrycznych pojazdu mają pojemność od ok. 40 Ah do ok. 100 Ah przy napięciu 12V, co oznacza, że ich pojemność wyrażona w Wh wynosi od 480 do 1200. Pewną zaletą takich akumulatorów jest ich cena, która w przypadku popularnych akumulatorów wynosi 400–800 PLN/kWh (100–200 USD/kWh). Jednak ich zasadniczą wadą jest niska pojemność na poziomie nie przekraczającym ok. 50 Wh/kg, co przekłada się na ich bardzo dużą masę – min. 20 kg/kWh. Niska jest również żywotność takich akumulatorów. Wynosi ona od ok. 500 do maksymalnie 1500 cykli (w przypadku akumulatorów zbudowanych w oparciu o tzw. pancerną płytę dodatnią) w porównaniu do nawet 3000–5000 cykli dla akumulatorów Li-Ion.

[23] M. Hocking i in., *Welcome to the Lithium-ion Age*. DB Markets Research, F.I.T.T., 2016, s. 19.

ok. 190 USD/kWh, przy jednocześnie zwiększonej o ok. 30% pojemności w stosunku do najpopularniejszych dziś ogniw typu 18650[24].

Do produkcji akumulatorów wykorzystuje się zazwyczaj lit występujący w postaci węglanu litu (*lithium carbonate equivalent* – LCE) o wysokiej czystości (99,5%) lub wodorotlenku litu. Ze względu na zróżnicowany poziom zaawansowania i stosowanie różnych technologii zawartość LCE w akumulatorach samochodowych istotnie się waha, średnio jest to jednak ok. 1,15 kg/kWh[25]. Oznacza to, że istnieje jeszcze spory potencjał redukcji zawartości litu, ponieważ jego minimalna zawartość wynikająca z właściwości fizyko-chemicznych wynosi ok. 0,35 kg LCE/kWh.

Począwszy od listopada 2015 roku, cena LCE 99,5% na rynkach surowców zaczęła szybko rosnąć od ok. 10 USD/kg do poziom aż 27 USD/kg w marcu 2016 roku[26] (z uwagi na okresowe niedobory podaży), by w październiku spaść do 18 USD/kg[27]. Przy rekordowych poziomach cen koszt surowca stanowił ok. 7% średniego kosztu akumulatora. Do tego trzeba jednak dodać koszty zakupu pozostałych surowców, przede wszystkim: miedzi, aluminium i grafitu. W efekcie ceny wymienionych surowców istotnie rzutują na finalną cenę akumulatorów. Dlatego w dążeniu do spopularyzowania samochodów elektrycznych konieczne jest dalsze zmniejszanie kosztów produkcji akumulatorów.

Cena litu uzależniona jest głównie od relacji popytu i podaży na rynku. A popyt na lit w ostatnich latach szybko rósł, głównie ze względu na wzrost produkcji akumulatorów dla różnorodnych urządzeń elektronicznych (laptopy, smartfony itp.). Prawdziwy boom na lit jest dopiero spodziewany, a wynikać będzie z prognozowanego wzrostu popytu na samochody elektryczne. Według większości analiz popyt na LCE ma wzrosnąć z obecnych ok. 184 tys. ton (w 2015 roku) do nawet 530 tys. ton w 2025 roku[28].

Już w 2020 roku co najmniej połowa popytu na lit wygenerowana zostanie przez przemysł wytwarzający pojazdy elektryczne. Obok wzrostu popytu na samochody elektryczne, głównie osobowe, intensywnie zaczyna rosnąć popyt na autobusy elektryczne, a także na elektryczne rowery i inne jednoślady. W 2015 roku w samej Holandii sprzedano prawie 276 tys. rowerów elektrycznych, a w Niemczech 550 tys.[29]. Natomiast w Chinach sprzedaż elektrycznych jednośladów wzrosła z ok. 20 mln w 2012 roku do 30 mln w 2015 roku i tym samym ich łączna liczba osiągnęła poziom 200 mln[30].

Warunkiem koniecznym dla rozwoju elektromobilności jest adekwatny wzrost podaży litu, tak aby nie dochodziło do niedoborów surowca na rynku i gwałtownych wzrostów ceny. Nie będzie to proste, zważywszy że w ciągu zaledwie dekady prognozuje się 3-krotne zwiększenie podaży, a to wymaga rozpoczęcia wielu nowych projektów górniczych, co zawsze jest czaso- i kosztochłonne. Nie należy natomiast się

[24] https://electrek.co/2016/04/26/tesla-model-3-battery-pack-cost-kwh/ (20.03.2017).

[25] M. Hocking i in., *dz. cyt.*, s. 21.

[26] *Tamże*, s. 7.

[27] http://www.metal.com/metals/productinfo/201102250059 (20.03.2017).

[28] M. Hocking i in., *dz. cyt.*, s. 23.

[29] L. Neckermann, *Corporate Mobility Breakthrough 2020*, Troubador Publishing, Leicester 2016, s. 74–75.

[30] *Global EV…*, *dz. cyt.*, s. 23–24.

obawiać, że zasoby litu ulegną szybkiemu wyczerpaniu. Światowe zasoby szacowane są na przeszło 40 mln t czystego metalu podczas gdy jego obecne zużycie sięga 40 tys. ton[31].

Poważniejszym wyzwaniem jest bardzo silna koncentracja tych zasobów. Około 75% zasobów znajduje się w zaledwie 4 państwach: Boliwii – 9 mln ton, Chile – 7,5 mln ton, w USA – 6,7 mln ton oraz Argentynie – 6,5 mln ton.

Największy problem stanowi koncentracja rezerw litu. Rezerwy definiuje się jako tę część zasobów geologicznych, które można przy danych cenach i stosowanej w danym momencie technologii efektywnie wydobyć. Biorąc pod uwagę te uwarunkowania, okazuje się, że rezerwy w Chile opiewają na 7,5 mln ton, następnie są Chiny i Australia odpowiednio 3,2 i 1,5 mln ton (zasoby 5,1 i 1,7 mln ton)[32]. Przy tak znacznej koncentracji zasobów, a przede wszystkim rezerw – Chile, Chiny i Australia posiadają ich łącznie ponad 85%[33] – o cenie litu w większym stopniu może decydować polityka prowadzona przez te państwa, aniżeli czysto rynkowa gra popytu i podaży.

Jedną z kluczowych wad pojazdów elektrycznych pozostaje ich niewielki zasięg w stosunku do odpowiedników z silnikami spalinowymi. Wyłączając model S Tesli z akumulatorami o pojemności aż 100 kWh i maksymalnym zasięgu określonym przez producenta na przeszło 800 km, większość aut dostępnych obecnie na rynku może na jednym ładowaniu przejechać dystans ok. 200–300 km. Taki zasięg można osiągnąć jedynie w optymalnych warunkach – jazda z niewielką i na dodatek stałą prędkością, delikatne przyśpieszanie, nieużywanie ogrzewania i klimatyzacji oraz innych energochłonnych urządzeń, przy małym obciążeniu samochodu (bez pasażerów i bagażu), a także przy odpowiedniej temperaturze otoczenia. Spełnienie tych wszystkich warunków jest trudne, dlatego rzeczywisty zasięg jest dużo niższy. Przykładowo przy temperaturze otoczenia -10°C, włączonym ogrzewaniu i prędkości 120 km/h (stałej) zasięg wspomnianego modelu S Tesli spada do ok. 370 km[34]. Zasięg może być jeszcze mniejszy, jeśli często będzie się trzeba rozpędzać, a kierowca będzie to robił dynamicznie, lub gdy będzie chciał jechać jeszcze szybciej. Można próbować zwiększać zasięg, dodając kolejne akumulatory, to jednak wiąże się z istotnym wzrostem ceny samochodu oraz jego masy, co spowoduje dodatkowe zużycie energii[35]. Dlatego jedną z kluczowych barier rozwoju elektromobilności wciąż pozostaje kwestia dostępności punktów do ładowania.

Wraz z upowszechnianiem się samochodów elektrycznych, z gromadzeniem coraz większej ilości danych i informacji o ich eksploatacji oraz wiedzy o nich, rośnie poziom zaufania do tej technologii. Świadomi klienci coraz częściej rozważają zakup pojazdu elektrycznego, szczególnie w krajach, gdzie dostępna jest gęsta sieć publicznych punktów do ich ładowania.

Wciąż jednak kluczową obawą wyrażaną przez wielu konsumentów pozostaje pytanie o rzeczywiste oddziaływanie na środowisko wywierane przez samochody

[31] *Mineral Commodity Summaries,* U.S. Geological Survey, Reston, January 2016, s. 100–101.

[32] *Tamże,* s. 101.

[33] USA, pomimo posiada ogromnych zasobów, mają bardzo skromne rezerwy określone na ok. 38 tys. t.

[34] https://www.tesla.com/de_DE/models (20.03.2017).

[35] W długim okresie możliwe będzie zwiększenie pojemności akumulatorów na jednostkę masy, o ile oczywiście ich cena będzie akceptowalna przez klientów.

elektryczne. O ile bowiem pojazdy te nie emitują tlenków azotu, czadu, bezo(a)pirenu i cząstek stałych (ale tylko w części pochodzącej ze spalania paliw ropopochodnych w silnikach, ponieważ cząstki stałe pochodzące m.in. ze ścierania się opon w trakcie jazdy, z tarcz i klocków hamulcowych pozostaną bez zmian), o tyle otwarte pozostaje pytanie o poziom szkodliwości produkcji akumulatorów i ich późniejszej utylizacji, a w szczególności o poziom emisji zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych powstających podczas produkcji energii elektrycznej.

Stopniowe obniżanie kosztów zakupu samochodów elektrycznych, ich zwiększony zasięg i żywotność baterii oraz rozwijająca się sieć punktów do ładowania (zwłaszcza szybkiego) zwiększają zainteresowanie klientów zakupem takiego pojazdu, wciąż jednak jest to bardzo nieliczna grupa – szczególnie w Polsce, gdzie w 2016 roku zakupiono jedynie 506 samochodów elektrycznych (w tym zaledwie 114 BEV)[36]. Dlatego też dla przyspieszenia rozwoju elektromobilności niezbędne jest wdrożenie odpowiednich instrumentów wsparcia.

3. Identyfikacja instrumentów wsparcia rozwoju e-mobilności i przykłady ich zastosowań[37]

Z uwagi na znacznie wyższe ceny samochodów elektrycznych w stosunku do ich analogicznych modeli z silnikami spalinowymi, najpowszechniej stosowanymi instrumentami finansowymi pozwalającymi obniżyć cenę ich zakupu są:

- rabaty od ceny sprzedaży,
- zwolnienia z podatku od sprzedaży lub opłat rejestracyjnych,
- zwolnienia z VAT,
- ulgi w innych podatkach,
- zwolnienia z opłat za parkowanie, płatne odcinki dróg, tuneli, promów itp.

Analizując obecne działania realizowane przez rządy w dziewięciu krajach o najwyższym udziale aut elektrycznych wśród nowo rejestrowanych samochodów w 2015 roku (Chiny, Dania, Francja, Holandia, Norwegia, Szwajcaria, Szwecja, USA i Wielka Brytania) oraz inicjatywy podejmowane przez samorządy największych miast w tych krajach, można stwierdzić, że najbardziej hojną politykę wspierania rozwoju elektromobilności realizują władze w Chinach. Rząd tego kraju zachęca do nabywania samochodów elektrycznych w ramach centralnego programu, dzięki któremu nabywca takiego auta może uzyskać rabat w wysokości do ok. 8000 USD. Ponadto np. mieszkańcy Shenzhen mogą uzyskać kolejną dopłatę wypłacaną ze środków samorządowych w kwocie do ok. 9000 USD, podobnie mieszkańcy Pekinu i Szanghaju odpowiednio do 6000 i 4500 USD.

Dopłaty do zakupu aut elektrycznych stosowane są również m.in. we Francji, gdzie kwota ta wynosi do 6300 EUR, a w sytuacji, gdy nabywca uprzednio zezłomował samochód z silnikiem diesla, może on uzyskać dodatkowe 3700 EUR. Równocześnie, od

[36] http://www.acea.be/uploads/press_releases_files/20170201_AFV_Q4_2016_FINAL.PDF (20.03.2017).

[37] Wszystkie dane w niniejszym podrozdziale, o ile nie wskazano inaczej, pochodzą z D. Hall, M. Moultak, N. Lutsey, *Electric vehicle capitals of the world. Demonstrating the path to electric vehicle*, ICCT, Washington 2017.

2017 roku wszyscy nabywcy samochodów wysoko emisyjnych muszą się liczyć z dodatkową opłatą w wysokości do 8000 EUR. Mieszkańcy aglomeracji paryskiej, którzy zezłomują stary spalinowy samochód, mogą liczyć na dodatkowe subsydia zakupowe wynoszące do 25% wartości nowego elektrycznego pojazdu, ale nie większe niż 5000 EUR dla aut, 1000 EUR dla elektrycznych motorów, skuterów itp. oraz 500 EUR przy zakupie roweru elektrycznego. Natomiast przedsiębiorcy nabywający elektryczne samochody służbowe otrzymują ulgi podatkowe na ich zakup i dodatkowo na instalację do ładowania ich akumulatorów.

W USA przysługuje federalna ulga podatkowa rozliczana na koniec roku podatkowego w kwocie do 7500 USD oraz bezpośrednie dopłaty stanowe na poziomie do 2500 USD. W Wielkiej Brytanii można uzyskać rabat w wysokości do 4500 GBP, rabatami do 8000 GBP objęte są również zakupy elektrycznych samochodów użytkowych. Natomiast w Szwecji dopłata nie zależy od ceny pojazdu ani innych czynników i wynosi ok. 4400 USD.

Odmiennie do kształtowania zachęt finansowych podeszły rządy Danii, Holandii, Norwegii i Szwajcarii, które nie wydają środków budżetowych na subsydia, a zamiast tego zwalniają nabywców aut elektrycznych z niektórych podatków. Rezultat jest podobny, ponieważ i w jednym, i w drugim przypadku różnica w cenie analogicznych modeli aut elektrycznych i spalinowych znacznie się zmniejsza, co istotnie podnosi konkurencyjność tych pierwszych. Skuteczność tego typu zachęt zależy jednak od poziomu opodatkowania zakupu samochodów z konwencjonalnymi silnikami spalinowymi oraz towarzyszących im opłat (np. rejestracyjnej). To rozwiązanie wiąże się zazwyczaj z równoczesnym wprowadzaniem restrykcyjnych limitów emisji gazów cieplarniach (np. dwutlenku węgla (CO_2), tlenków azotu) oraz pyłów i powiązania z nimi wysokości opłat lub stawek podatków.

Nabywcy samochodów elektrycznych w Danii mogą liczyć na zwolnienie z tzw. zielonego podatku (duń. *grønne afgifter*) i innych podatków obejmujących samochody, a do końca 2015 roku zwolnieni byli również z opłaty rejestracyjnej. Tę ostatnią i równocześnie najważniejszą z finansowego punktu widzenia zachętę postanowiono ograniczyć. Od początku 2016 roku nawet samochody elektryczne objęte zostały podstawową stawką opłaty rejestracyjnej, która z każdym rokiem będzie zwiększana aż do 2020 roku, kiedy wszystkie nowe pojazdy objęte będą takimi samymi opłatami wynoszącymi 105% wartości samochodu do kwoty 79 tys. DKK (łącznie z VAT, czyli ok. 45 tys. PLN) i 180% od pozostałej części wartości samochodu[38].

Szczególne rozwiązanie od 2013 roku zastosowano w Holandii. Nabywca samochodu elektrycznego zwolniony jest z konieczności uiszczenia podatku drogowego i opłaty rejestracyjnej. Zwolnienie z opłaty rejestracyjnej ma duże znaczenie, ponieważ jest to opłata progresywna o pięciu poziomach uzależniona od wielkości emisji dwutlenku

[38] *Opłaty rejestracyjne samochodów w Danii*, Ministerstwo Rozwoju, Warszawa 2015, s. 2. Skutki tej decyzji duńskiego rządu uwidoczniły się już w pierwszym roku jej obowiązywania. W 2015 roku sprzedano łącznie ok. 4300 samochodów elektrycznych, a w kolejnym już tylko ok. 1300. Najdotkliwszy spadek dotknął producentów najdroższych samochodów, w szczególności Tesli, której w 2015 roku sprzedano 2736 sztuk, a rok później już tylko 176! Cyt. za: http://www.eafo.eu/vehicle-statistics/m1 (31.03.2017).

węgla na jednostkę odległości. Od 2017 roku podstawowe stawki tej opłaty kształtują się na poziomie 2 EUR za każdy gram CO_2/km w przedziale 1–76, następnie 66 EUR w przedziale 77–102 g CO_2/km, do aż 476 EUR dla aut emitujących powyżej 168 g CO_2/km. Ponadto pojazdy napędzane olejem napędowym obciążone są dopłatą w wysokości 86 EUR za każdy gram powyżej 70 g CO_2/km[39]. Stąd podstawowa stawka opłaty rejestracyjnej dla np. Mercedesa E w wersji sedan z silnikiem benzynowym emitującym 189 g CO_2/km wynosi ponad 23 tys. EUR. Dlatego też nie powinno dziwić, że tak wielu Holendrów wybrało konkurencyjną Teslę S z opłatą rejestracyjną wynoszącą równe zero.

Jeszcze chętniej kupowano auta Tesli (oczywiście też i inne modele w pełni elektrycznych aut) w Norwegii, gdzie nabywcy samochodów elektrycznych zwolnieni są z wielu podatków i opłat: z podatku importowego lub podatku od zakupu (średnio sięga on 50% wartości samochodu), z VAT (przy zakupie jak również leasingu), podatku od zakupu energii elektrycznej lub wodoru, z opłat za korzystanie z płatnych dróg, tuneli i promów – co ma niebagatelne znaczenie ze względu na bardzo specyficzne ukształtowanie terenu w tym kraju[40] – oraz objęci są preferencyjnymi stawkami podatku drogowego (pobierany corocznie). W efekcie samochód elektryczny jest o nawet kilkanaście procent tańszy niż jego spalinowy odpowiednik, a wartość nominalna korzyści, jakie przy zakupie takiego pojazdu uzyskuje jego nabywca, sięgać może nawet ok. 18 tys. USD[41].

Na najmniejsze ulgi podatkowe mogą liczyć nabywcy pojazdów elektrycznych w Szwajcarii, gdzie zwolnieni są oni jedynie z podatku od importu wynoszącego 4% wartości. Decyzje o dodatkowych zachętach finansowych podejmują władze poszczególnych kantonów i tak np. w kantonie Zurich zwolnieni są oni w całości z podatku od środków transportu.

Istotne znaczenie mają również narzędzia polityki transportowej określane jako zachęty niefinansowe, choć część z nich ma wymiar finansowy, np. zwolnienia z opłat za parkowanie lub zwolnienie z opłat kongestyjnych itp., przy czym ich oddziaływanie jest zazwyczaj mocno rozciągnięte w czasie. Do najważniejszych zachęt niefinansowych zaliczyć należy:

- możliwość wjazdu do stref niskiej emisji (ang. *low emission zones*) lub stref z całkowitym zakazem wjazdu dla samochodów z konwencjonalnymi silnikami spalinowymi,
- zwolnienie z okresowych zakazów ruchu uwarunkowanych np. poziomem zanieczyszczenia powietrza,
- możliwość jazdy buspasami,
- dostęp do bezpłatnych parkingów,
- zwolnienie z opłat za wjazd do stref objętych opłatami kongestyjnymi (ang. *congestion charging zones*),

[39] https://www.energielabel.nl/autos/voordeel-zuinige-auto-bpm-wegenbelasting-en-bijtelling/ (31.03.2017).

[40] Korzyści ze zwolnienia z opłat infrastrukturalnych wyceniono w Norwegii na średnio ok. 1000 EUR rocznie. Zob. T. Assum, M. Kolbenstvedt, E. Fingenbaum, *The future of electromobility in Norway – some stakeholder perspective*, TOI, Oslo 2014, s. 59.

[41] Z. Yang i in., *Principles for effective electric vehicles incentive design*, ICCT, Washington 2016, s. 18–19.

- możliwość jazdy pasami dla pojazdów o dużej zajętości miejsc w pojeździe (HOV – *high-occupancy vehicle lane*) i zwolnienie z opłat za jazdę pasami HOT (*high-occupancy toll lane*),
- zagwarantowanie specjalnej puli nowych rejestracji w miastach, gdzie występują limity rejestracji,
- zwolnienie z administracyjnych ograniczeń w dostępie do sieci drogowej.

Rosnące zanieczyszczenie powietrza powoduje liczne choroby, wskutek których według WHO dochodzi do ponad 7 mln przedwczesnych zgonów[42]. Natomiast z obliczeń EEA wynika, że w 2014 roku sektor transportu odpowiadał za emisję 46% tlenków azotu (NO_x) i odpowiednio 13% i 15% emisji cząstek stałych o średnicy do 10 i 2,5 mikrometra (PM_{10} i $PM_{2,5}$). Oznacza to, że w UE spośród prawie 0,5 mln przedwczesnych zgonów spowodowanych zanieczyszczonym powietrzem, ok. 100 tys. osób (65 tys. ze względu na PMs i 33 tys. z powodu NO_x) zmarło na skutek emisji pochodzących z transportu. A przecież nie są to jedyne emisje zanieczyszczeń generowane przez ten sektor, dlatego faktyczna liczba zgonów jest istotnie wyższa[43]. Stąd też wiele miast podjęło próby redukcji zanieczyszczeń poprzez wprowadzanie stref niskiej emisji, do których nie mają prawa wjeżdżać przestarzałe pojazdy niespełniające określonych norm (w Europie zwykle poziom minimum wyznacza norma Euro 3). Rozwiązanie to jest coraz powszechniej stosowane we Włoszech, gdzie jest ich ponad 300, i w Niemczech – przeszło 80[44]. Jeszcze bardziej radykalne kroki planują władze Brukseli, które od początku 2018 roku nie będą wpuszczać do centrum samochodów z silnikami diesla (nawet tych najnowszych), podobnie od 2020 roku chcą postąpić m.in. władze Paryża[45] i Londynu, a w kolejnych latach również Aten, Madrytu i miasta Meksyk. Żadne z tych, nawet najostrzejszych, ograniczeń nie dotyczą samochodów elektrycznych.

Do niedawna w Paryżu z chwilą, kiedy stężenie PMs przekraczało dopuszczalne normy, ogłaszany był nawet zakaz poruszania się samochodów z parzystymi lub nieparzystymi numerami rejestracyjnymi, z którego zwolnieni byli tylko użytkownicy aut elektrycznych. Jednak z uwagi na niską skuteczność powyższego rozwiązania, w 2017 roku wprowadzono całkowity zakaz poruszania się pojazdów z silnikami diesla starszymi niż 16 lat.

Bardzo ważną zachętą – przynajmniej dla mieszkańców Oslo i Bergen – okazało się dopuszczenie aut elektrycznych do ruchu po buspasach, co pozwoliło ich kierowcom na znacznie szybsze przemieszczanie się. Jednak liczba aut elektrycznych w Norwegii zaczęła przyrastać w tak zawrotnym tempie, a ruch autobusów na buspasach uległ takiemu spowolnieniu, że w Oslo już w maju 2015 roku zaczęto rozważać decyzję o cofnięciu tego przywileju[46]. Z tego właśnie powodu władze m.in. Londynu, Bristolu, Milton Keynes i Nottingham wciąż rozważają wdrożenie tej zachęty, przy

[42] http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/ (31.03.2017).

[43] *Air quality in Europe – 2016 Report*, European Environment Agency, Copenhagen 2016, s. 60–61.

[44] http://gis.uba.de/website/umweltzonen/umweltzonen_en.php (31.03.2017).

[45] G. Fuller, S. Moukhtar, *Paris tries something different in the fight against smog*, "The Guardian", 29.01. 2017

[46] *Electric cars lose right to drive in Oslo bus lane*, http://www.thelocal.no/20150506/norway-strips-electric-cars-of-ke (31.03.2017).

czym szczególny sceptycyzm wobec takiego rozwiązania panuje w Londynie[47]. W innych miastach, np. w Utrechcie, możliwość tę uzyskały jedynie elektryczne taksówki.

Wydaje się jednak, że najpowszechniej stosowanym niefinansowym instrumentem wsparcia są różnorodne ułatwienia w parkowaniu pojazdów elektrycznych. W bardzo wielu miastach są one zwolnione z opłat na całym obszarze (m.in. Oslo, Paryż, Utrecht), jedynie w strefie centralnej (Sztokholm) lub tylko w określonych dzielnicach (Londyn), można je też bezpłatnie zaparkować na specjalnych parkingach wyposażonych w infrastrukturę do ładowania (Kopenhaga) lub korzystać z obniżonych opłat za parkowanie na parkingach miejskich (Los Angeles, San Francisco i in.).

Strefy płatnego wjazdu do centrum jako narzędzie ograniczania kongestii stosowane są rzadko. Rozwiązanie takie wprowadzono najwcześniej w Singapurze, potem w Oslo i Bergen[48] oraz w Londynie i Sztokholmie. Jednak we wszystkich tych miastach zdecydowano się zachęcać do zakupu aut elektrycznych, zwalniając ich użytkowników z opłat za wjazd do centrum, z wyjątkiem Singapuru, gdzie wraz z początkiem 2017 roku z opłat zwolniono jedynie 125 współdzielonych aut (car-sharing) elektrycznych (w 2020 roku ma być ich 1000) w ramach programu BlueSG[49].

Bardzo popularnym rozwiązaniem w USA mającym ograniczyć poziom kongestii, szczególnie na autostradach miejskich i odcinkach prowadzących do centrów miast, są specjalne pasy ruchu dla pojazdów zajmowanych zazwyczaj przez 3 lub więcej osób (HOV). W niektórych miastach rozwiązanie to uległo pewnej ewolucji i pojawiły się również pasy HOT, z których skorzystanie wymaga uiszczenia dodatkowej opłaty. Jednak kierowcy aut elektrycznych w wielu amerykańskich, a szczególnie w kalifornijskich miastach (na bazie federalnych przepisów określonych w *Clean Air Act*) mogą bez opłat poruszać się po pasach HOT i nawet w pojedynkę korzystać z pasów HOV, jedynie za specjalną, acz bardzo niewielką, jednorazową opłatą[50].

Chińskie metropolie, pomimo iż w ostatnich latach przeprowadziły gigantyczne inwestycje w rozbudowę infrastruktury transportu, są świadkami lawinowego wzrostu zmotoryzowania swoich mieszkańców, przez co zostały dotknięte niezwykle wysokim poziomem kongestii. Aby nie doprowadzić do całkowitego paraliżu, władze największych miast wprowadziły limity nowych rejestracji. Nabywcy samochodów elektrycznych są z nich zwolnieni i nie muszą uczestniczyć w loterii dowodów rejestracyjnych (Shenzhen) lub mają zagwarantowaną pulę dowodów (do 60 tys. w Pekinie). To niezwykle cenny bonus, ponieważ w grudniu 2016 roku w Pekinie tylko 0,13% biorących udział w loterii otrzymało upragniony dowód rejestracyjny dla samochodów z silnikami spalinowymi[51]. Natomiast w Szanghaju obowiązuje system

[47] U. Tietge i in., *Comparison of leading electric vehicle policy and development in Europe*, ICCT Europe, Berlin 2016, s. 24–26.

[48] Choć w przypadku Norwegii nie chodziło tylko o ograniczanie kongestii, a o realizację również innych celów.

[49] K.B. Wan, *Electric car-sharing scheme to be rolled out from* 2017, "The Straits Times", 30.06.2016

[50] https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/?1dmy&urile=wcm:path:/dmv_content_en/dmv/vr/decal (31.03.2017).

[51] http://www.ebeijing.gov.cn/BeijingInformation/BeijingNewsUpdate/t1463021.htm (31.03.2017).

aukcyjny i trzeba zalicytować nawet kilkanaście tysięcy dolarów, aby uzyskać nowy dowód rejestracyjny, z wyłączeniem nabywców pojazdów elektrycznych[52].

W Pekinie samochody elektryczne mogą ponadto poruszać się o każdej porze i w każdy dzień tygodnia, w przeciwieństwie do aut spalinowych, które w zależności od ostatniej cyfry tablicy rejestracyjnej wyłączone są z ruchu w określone dni tygodnia, np. pomiędzy 10.01.2016 a 10.04.2016 auta z tablicami kończącymi się na 3 i 8 nie mogły poruszać się w poniedziałki, a te z cyframi 4 i 9 – we wtorki[53].

Kluczowe znacznie dla zapewnienia wysokiej funkcjonalności samochodów elektrycznych i poczucia pewności oraz spokoju ich użytkowników, przede wszystkim podczas realizowania dłuższych podróży, ma dostępność do punktów ładowania akumulatorów tych pojazdów, w szczególności punktów do szybkiego ładowania, w których w ciągu zaledwie ok. 30 minut można doładować większość akumulatorów Li-Ion do poziomu 80%. Przyjmuje się powszechnie[54], że brak dobrze rozwiniętej sieci ładownia stanowi istotną przeszkodę w rozwoju elektromobilności. Dlatego też najpopularniejszymi instrumentami wsparcia w tym zakresie, zarówno na szczeblu centralnym, regionalnym, jak i lokalnym (miejskim), są:

- dotowanie zakupu prywatnego (domowego) urządzenia do ładowania,
- rozbudowa sieci publicznych stacji do ładowania akumulatorów, w tym punktów do szybkiego ładowania lub dotowanie ich budowy przez podmioty prywatne,
- obniżone taryfy na energię elektryczną dla gospodarstw domowych posiadających samochód elektryczny lub zwolnienie ich z niektórych podatków, jakimi obłożona jest sprzedaż prądu, albo obniżenie opłat za ładowanie w publicznych punktach.

Prywatne instalacje do ładowania samochodów dotowane są m.in. w Danii, gdzie można uzyskać subsydia w kwocie do aż 18 tys. DKK (ok. 10 tys. PLN), a także w Holandii, gdzie kwota ta wynosi 500 EUR lub od 1000 do 1500 EUR dla instalacji publiczno-prywatnych, oraz w Wielkiej Brytanii – do 500 GBP. W USA, m.in. w Los Angeles, funkcjonuje program wsparcia dla deweloperów instalujących je w budowanych przez siebie obiektach, podobne rozwiązania stosowane są również we Francji.

Trudno jest opisać w szczegółach programy rozbudowy sieci punktów do ładowania oraz ich celów cząstkowych w poszczególnych latach, niemniej jednak działania te realizowane są we wszystkich analizowanych krajach i nie są one kosztowne (szczególnie w stosunku do programów dotowania zakupów aut). Dla przykładu rząd Wielkiej Brytanii uruchomił program wart 15 mln GBP, dzięki któremu powstanie sieć punktów do szybkiego ładowania wzdłuż całej strategicznej sieci dróg, a odległości między punktami będą nie większe niż 20 mil.

[52] http://usa.chinadaily.com.cn/china/2016-04/12/content_24457844.htm (31.03.2017).

[53] http://www.ebeijing.gov.cn/Government/GovernmentBulletin/t1224982.htm (31.03.2017).

[54] Zob. J. Bailey, A. Miele, J. Axsen, *Is awareness of public charging associated with consumer interest in plug-in electric vehicles?*, "Transportation Research Part D", 2015, nr 36, s. 1–9; S. Bakker, J.J. Trip, *Policy options to support the adoption of electric vehicles in the urban environment*, "Transportation Research Part D", 2013, nr 25, s. 18–23.

W niektórych krajach, np. w Norwegii, można bezpłatnie naładować akumulatory w punktach wolnego ładownia, podobnie w Szwecji, gdzie bezpłatne ładowanie zapewnione jest w punktach zasilanych energią pochodzącą wyłącznie ze źródeł odnawialnych. Darmowym ładowaniem, nawet z szybkich ładowarek[55], objęci są również wszyscy nabywcy samochodów Tesli, którzy zakupu dokonali do końca 2016 roku. Osoby, które zakupią swoją Teslę w 2017 roku, będą musiały już za to płacić, wciąż jednak są to kwoty bardzo preferencyjne.

Przykład Szwecji jest o tyle ciekawy, że rząd w ramach realizacji strategii całkowitego odejścia od paliw kopalnych w gospodarce, w tym również w transporcie, co ma nastąpić najpóźniej w 2030 roku, planuje zelektryfikować sieć głównych dróg. W tym celu w 2016 roku uruchomiono pod Sztokholmem testowy odcinek o długości 2 km z napowietrzną siecią trakcyjną, na którym badane są hybrydowe samochody ciężarowe pobierające prąd poprzez pantografy umieszczone na dachu kabiny kierowcy lub za nią[56].

Niezależnie od szczegółowych rozwiązań wdrażanych w analizowanych państwach, sieć publicznie dostępnych ładowarek bardzo szybko się powiększa i poziom ich dostępności z pewnością nie stanowi bariery hamującej rozwój elektromobilności. Dowodem na to jest przede wszystkim szybko rosnąca liczba samochodów elektrycznych i zwiększająca się sieć punktów do ładowania (tab. 1). W szczególności w Oslo, gdzie zainstalowano ich ponad 2800 (w tym ok. 150 szybkich), czyli ok. 4300 punktów do ładowania na milion mieszkańców, co stawia je na pierwszym miejscu wśród miast dysponujących najgęstszą siecią publicznych ładowarek na świecie.

Tab. 1. **Liczba pojazdów elektrycznych i publicznie dostępnych punktów ładowania w wybranych krajach w latach 2011 i 2015**

Kraj	Auta elektryczne (BEV + PHEV) (w tys.)		Publiczne punkty ładowania		Publiczne szybkie punkty ładowania		Suma	Liczba aut/ładowarki		Liczba ładowarek/mln mieszkańców
								wolne	szybkie	
	2011	2015	2011	2015	2011	2015	2015	2015	2015	2015
Chiny	6,5	312,3	–	46657	558	12101	58758	6,7	25,8	43
Francja	2,9	54,3	253	10122	3	543	10665	5,4	100,0	161
Holandia	1,1	87,5	1826	17786	15	465	18251	4,9	188,2	1080
Norwegia	2,8	70,8	3105	6357	23	698	7055	11,1	101,5	1357
Szwecja	0,4	14,5	146	1350	1	350	1700	10,8	41,5	175
USA	21,5	404,1	3903	28150	489	3524	31674	14,4	114,7	99
Wielka Brytania	1,4	49,7	1503	8716	13	1158	9874	5,7	42,9	152
Świat	60,7	1256,9	13955	161802	2018	27707	189509	7,8	45,4	26

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Global EV…, dz. cyt.*, s. 34–36; https://esa.un.org/unpd/wup/CD-ROM/ (31.03.2017).

[55] Oczywiście dotyczy to tylko instalacji sygnowanych logo Tesla.

[56] http://w3.siemens.com/topics/global/en/electromobility/pages/ehighway.aspx (31.03.2017).

4. Rekomendacje dla Polski

Uruchamiając program wsparcia rozwoju elektromobilności, należy odpowiedzieć na pytanie: jakie cele ma on spełnić? Czy podstawowym celem jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, redukcja emisji zanieczyszczeń, zmniejszenie zużycia zasobów, ograniczenie kongestii, przywrócenie miast innym użytkownikom, aniżeli tylko kierowcom aut i ich pasażerom, czy też rozwój krajowych przedsiębiorstw produkujących pojazdy elektryczne lub ich istotne podzespoły? Realizacja części z powyższych celów może przebiegać współbieżnie i nie rodzić konfliktów, w przypadku innych tarcia są nieuniknione. Dlatego kluczowe jest precyzyjne zdefiniowanie celów i połącznie ich ze strategią rozwoju danego kraju i następnie przyjęcie takich instrumentów wsparcia rozwoju elektromobilności, które będą równocześnie skuteczne i jak najbardziej efektywne. Cały proces należy jednak rozpocząć od rzetelnej i dogłębnej diagnozy systemu transportowego i identyfikacji jego największych mankamentów.

Od zmiany systemu gospodarczo-politycznego w Polsce liczba pojazdów drogowych zwiększyła się lawinowo. Najwięcej przybyło samochodów osobowych, których liczba w latach 1990–2015 zwiększyła się 4-krotnie, osiągnąwszy poziom prawie 21 mln pojazdów[57]. Stało się tak dlatego, że państwo polskie nie wprowadziło żadnych skutecznych mechanizmów podatkowych ani tym bardziej administracyjnych, które zahamowałyby masowy import wraków do naszego kraju[58]. Doprowadziło to do znacznego wzrostu zanieczyszczenia powietrza (ponad 55% samochodów osobowych nie spełnia nawet normy emisji spalin Euro 3, a wiele z tych aut, które nominalnie powinny spełniać tę lub wyższe normy, zostało pozbawionych filtra cząstek stałych, przez co ich emisyjność przekracza nawet poziomy wyznaczone dla normy Euro 1), emisji gazów cieplarnianych wynikających ze wzrostu konsumpcji paliw ropopochodnych, a także do zwiększenia innych negatywnych konsekwencji wysokiego uzależnienia Polski od importu ropy naftowej[59]. Ten ogromny wzrost liczby przestarzałych samochodów w znacznej mierze przyczynił się do zapaści zbiorowego transportu publicznego (w tym kolejowego)[60] i erozji rozwoju miast – obumierania

[57] *Transport – wyniki działalności w 2015 r.*, GUS, Warszawa 2016.

[58] Istnieją uzasadnione przypuszczenia, że liczba eksploatowanych pojazdów w Polsce podawana w oficjalnych statystykach, a bazująca na systemie CEPiK, jest zawyżona. Dowodzi tego m.in. liczba opłaconych polis OC, która jest o ok. 20% niższa niż zarejestrowanych samochodów (zob. *Rynek ubezpieczeń komunikacyjnych w Polsce. Przegląd danych z lat 2013–2015*, PIU, Warszawa 2016). Nie zmienia to jednak zasadniczej charakterystyki motoryzacji indywidualnej w Polsce, która pozostaje przestarzała i wysokoemisyjna.

[59] Zob. H. Igliński, *Konsekwencje rosnącego uzależnienia transport w Polsce od ropy naftowej*, w: *Celowość, efektywność i skuteczność projektu transportowego. Logika interwencji*, red. nauk. A. Krych, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, Poznań 2015, s. 413–430.

[60] Można spotkać się również z przeciwną tezą wskazującą, że po 1990 roku na skutek istotnego ograniczenia oferty transportu publicznego, szczególnie na obszarach peryferyjnych, jedynym sposobem zaspokojenia potrzeb transportowych był zakup samochodu. Jednak zdaniem autora teza ta nie wyjaśnia dostatecznie relacji pomiędzy tymi procesami. Bowiem największy wzrost popytu na motoryzację indywidualną nastąpił dopiero po przystąpieniu Polski do UE, kiedy średniorocznie liczba

ich centrów i dynamizacji niekontrolowanej suburbanizacji oraz szybko rosnącego poziomu kongestii transportowej. A wszystko to w czasie, gdy za setki miliardów złotych prowadzone były w całym kraju intensywne inwestycje w rozwój infrastruktury transportu drogowego.

Niestety, *Plan Rozwoju Elektromobilności* w Polsce z września 2016 roku oraz jego ostateczna wersja z marca 2017 roku nie zawierały stosownej diagnozy i nawet jeśli odnosi się do niektórych z wymienionych powyżej słabości polskiego systemu transportu, to nie identyfikuje ich przyczyn. Ponadto zapisane w *Planie* cele[61]:

- stworzenie warunków dla rozwoju elektromobilności Polaków,
- rozwój przemysłu elektromobilności,
- stabilizacja sieci elektroenergetycznej,

stanowią zasadniczo cele polityki gospodarczej z obszaru energetyki i rozwoju przemysłu, a nie transportu. Choć może nie powinno to dziwić, skoro dokument przygotowano w Ministerstwie Energii, a efekty konsultacji międzyresortowych były więcej niż mizerne.

Zdaniem autora kluczowymi celami, które powinny nadawać kierunek rozwoju polskiej gospodarce zgodnie z założeniami gospodarki niskowęglowej (niskoemisyjnej), są redukcja emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń pochodzących z transportu oraz zmniejszenie jej energo- i zasobochłonności. I właśnie jednym ze sposobów osiągnięcia tych celów powinna być realizacja programu rozwoju elektromobilności, przy czym rozumianego znacznie szerzej niż tylko promowanie zakupu osobowych aut elektrycznych. Aby program ten mógł być skuteczny i efektywny, należy, w opinii autora, zacząć od:

- wprowadzenia administracyjnego zakazu możliwości rejestrowania samochodów niespełniających normy Euro 3,
- uzależnienia wysokości opłaty rejestracyjnej od poziomu emisji dwutlenku węgla i rodzaju stosowanego paliwa na wzór holenderski,
- wprowadzenia podatku drogowego uzależnionego od poziomu emisji i rodzaju stosowanego paliwa dla już eksploatowanych pojazdów i sukcesywne ich podwyższanie w czasie, ale równocześnie wprowadzenie zachęt finansowych za złomowanie przestarzałych aut (podobnie jak w Niemczech, Danii i innych krajach),
- przekazania samorządom lokalnym pełnej swobody w ustalaniu wysokości opłat za parkowanie, jak również dopuszczenie możliwości wprowadzenia opłat za wjazd do centrów miast.

Powyższe działania powinny skutecznie ograniczyć przyrost liczby zarejestrowanych samochodów, a równocześnie zmniejszyć ich negatywny wpływ na zdrowie

samochodów osobowych rosła o ok. 840 tys. Podobnie proces suburbanizacji zdynamizowany został z początkiem XXI wieku.

[61] *Plan rozwoju elektromobilności w Polsce. „Energia do przyszłości"*, Ministerstwo Energii, Warszawa 2017, s. 9–12. http://bip.me.gov.pl/files/upload/26453/Plan%20Rozwoju%20Elektromobilności%20w%20Polsce,%20przyjęty%20przez%20Radę%20Ministrów%20w%20dniu%2016%20marca%202017%20roku..pdf (20.03.2017).

ludzi i stan środowiska naturalnego. Ograniczy to również konieczność dalszej rozbudowy infrastruktury transportu drogowego, a zaoszczędzone w ten sposób środki finansowe oraz te pozyskane z podatków i opłat powinny posłużyć do zbudowania gęstej, publicznej sieci punktów do szybkiego ładowania wzdłuż dróg krajowych i wojewódzkich oraz gęstej sieci tych punktów w miastach, a także zostać przeznaczone na dotowanie zakupu pojazdów elektrycznych.

Niezależnie od rodzaju stosowanego paliwa lub napędu samochody osobowe są najmniej efektywnym energetycznie środkiem transportu w miastach. Do realizacji tej samej pracy przewozowej zużywają one 3-krotnie więcej energii niż autobusy, 6-krotnie więcej niż tramwaje i aż 30-krotnie więcej niż rowery (klasyczne)[62]. Dlatego zamiast samochodów osobowych rząd powinien zdecydowanie dotować zakupy autobusów elektrycznych. W największej skali działania takie podejmowane są w Chinach, gdzie dopłata do zakupu autobusu elektrycznego wynosi do aż 80 tys. USD, wskutek czego do końca 2015 roku zarejestrowano ich tam 170 tys. sztuk[63], ale także w wielu innych państwach i miastach, m.in. w Londynie, Paryżu czy Amsterdamie.

Dotacje powinny objąć również elektryczne minibusy, którymi realizowane będą elastyczne przewozy zbiorowe – bez stałych przystanków i tras oraz rozkładów jazdy. Trasy ich przejazdu będą wyznaczane przez algorytmy zasilane danymi o potrzebach przewozowych wysyłanych przez użytkowników wykorzystujących odpowiednie aplikacje mobilne. Dzięki takim rozwiązaniom, wzorowanym na helsińskim Kutsuplus[64], możliwa będzie efektywna obsługa pasażerów zamieszkujących obszary o niskiej i średniej gęstości zaludniania, czyli typowych suburbiów, których mieszkańcy są dziś „skazani" na własne samochody osobowe.

Wzorem m.in. Francji zasadne jest dotowanie zakupu elektrycznych jednośladów, które nie dość, że efektywne energetycznie, to zajmują znacznie mniej miejsca, nie powodując wzrostu poziomu kongestii, co ma szczególnie istotne znacznie w miastach. We Francji większość z elektrycznych jednośladów stanowią skutery i motory, jednak w innych krajach dostrzec można prawdziwą rowerową rewolucję. W samym tylko 2015 roku w niewielkiej Holandii zakupiono 276 tys. elektrycznych rowerów, a w Niemczech 550 tys. i w sumie ponad 2,5 mln od 2009 roku[65]. Dzieje się tak, ponieważ zakup elektrycznego roweru pozwala przełamać bariery i ograniczenia wynikające m.in. z wieku użytkowników, ukształtowania terenu, czy też stroju, którego użytkownicy nie chcą zabrudzić ani zmieniać. W Polsce cenne byłoby nie tylko dotowanie zakupu elektrycznych rowerów, ponieważ są one relatywnie drogie, lecz także należałoby wesprzeć inwestycje w rozbudowę przyjaznej rowerzystom infrastruktury

[62] M. Babiak, H. Igliński, *Estymacja i analiza efektywności energetycznej transportu pasażerskiego w Poznaniu oraz identyfikacja sposobów jej zwiększania*, w: *Wyzwania rozwoju transportu. Polityka, przedsiębiorstwo, technika*, A. Letkiewicz (red. nauk.), ZN UG Ekonomika Transportu i Logistyka, WUG, Gdańsk 2016, s. 226–227.

[63] *ZeEUS eBus Report. An overview of electric buses in Europe*. UITP, Brussels 2016, s. 11.

[64] https://www.hsl.fi/en/news/2016/final-report-kutsuplus-trial-work-develop-ride-pooling-worth-continuing-8568 (31.03.2017).

[65] L. Neckermann, *dz. cyt*., s. 74–75.

liniowej i punktowej, której braki wciąż mocno ograniczają możliwości bezpiecznego przemieszczania się rowerem.

Dotowane powinny być również zakupy elektrycznych taksówek, co jest powszechnym rozwiązaniem w analizowanych w poprzednim punkcie krajach, chociażby ze względu na znacznie wyższy poziom ich użytkowania, niż średnio 50–60 minut w ciągu doby, co jest typowym czasem dla prywatnego samochodu osobowego, oraz znacznie mniejszych potrzeb parkingowych. Przestrzeń w miastach jest dobrem szczególnie cennym i szkoda ją marnotrawić na parkingi, tym bardziej, że parkowanie przy krawężnikach (albo częściej na chodnikach) znacznie utrudnia przemieszczanie się pieszym i obniża jakość życia w mieście. Z tych też powodów miasta powinny intensywnie wspierać rozwój programów car-sharingu, których wykorzystanie bywa nawet wyższe niż taksówek. O tym, jak doskonałe rezultaty może przynieść miastu i jego mieszkańcom takie działanie, najlepiej świadczy przykład paryskiego Autolib'.

W opinii autora dotowanie zakupu elektrycznych samochodów osobowych jest w Polsce obecnie zupełnie nieefektywne. Ceny małych samochodów elektrycznych oscylują wokół 100 tys. PLN, a zakup nieco większego Nissana Leafa to wydatek rzędu minimum 130 tys. PLN. Są to ceny absolutnie poza zasięgiem zdecydowanej większości nabywców w Polsce, ponieważ w 2015 roku zakupiono 408 tys. nowych samochodów na aż 1,15 mln zarejestrowanych[66]. 65% nowych samochodów kupionych zostało przez przedsiębiorstwa za średnią cenę 100,7 tys. PLN, natomiast nabywcy indywidualni wydali na samochód jedynie 76 tys. PLN, co oznacza, że dominowały auta najtańsze i tanie[67]. Wskutek czego dopłata nawet do najmniejszych i najtańszych samochodów elektrycznych musiałaby sięgać 50–60 tys. PLN, żeby koszt zakupu i eksploatacji (w okresie 5 lat) zbliżył się do kosztów charakteryzujących jego spalinowego odpowiednika. Pojawia się pytanie, czy rząd jest świadomy, że osiągnięcie przyjętego celu – miliona samochodów elektrycznych do 2025 roku, zakładając nawet ich stopniowy spadek ceny, będzie się wiązał z wydaniem ok. 50 mld PLN. Za taką kwotę można w całości sfinansować zakup 25 tys. elektrycznych autobusów o długości 12 m, czyli ponad 2 razy więcej, niż wynosi liczba wszystkich autobusów miejskich wykorzystywanych obecnie w Polsce[68], lub od 5 do 10 mln elektrycznych rowerów różnych rodzajów.

Polski system elektroenergetyczny oparty jest w przeważającej mierze na węglu kamiennym i brunatnym, a są to paliwa wysokoemisyjne – wyprodukowanie 1 kWh energii elektrycznej w Polsce w 2015 roku spowodowało emisję ok. 0,8 kg CO_2[69]. Jest to o tyle istotne, że według obliczeń ekspertów IEA osobowe samochody elektryczne przynoszą obniżkę emisji gazów cieplarnianych, o ile emisja tych gazów przy pro-

[66] http://www.cepik.gov.pl/documents/19372/19477/Zarejestrowane+pojazd+wg+rodzaj%C3%B3w+z+grudniem/67aad7f0-390c-427a-9061-510b4b4041d8 (31.03.2017).

[67] M. Bołtryk, *Kowalski oszczędza na małego SUV-a*, „Puls Biznesu", 17.02.2016

[68] *Transport…, dz. cyt.*

[69] *Wskaźniki emisyjności CO_2, SO_2, NO_x, CO i TSP dla energii elektrycznej*, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Warszawa 2017, s. 3–7.

dukcji energii elektrycznej nie przekracza 559 g CO_2/kWh[70]. Wartość tę spełnia ok. 1/3 krajów na świecie i 20 z 28 państw UE (dane z 2009 roku), jednak zdecydowanie najlepsze efekty rozwój elektromobilności przynosi w Norwegii i Szwecji, ponieważ średnia emisja wynosi w tych krajach odpowiednio ok. 4 i 43 g CO_2/kWh[71].

Niestety, wiele wskazuje, że wartość ta będzie rosła z uwagi na planowane przez rząd zwiększenie udziału węgla w bilansie energetycznym i jego niechęć do odnawialnych źródeł energii elektrycznej, szczególnie energetyki wiatrowej. Ta ostatnia ma istotne znaczenie, bowiem jest bezemisyjna, a w 2015 roku dostarczyła rekordowe 10 TWh energii elektrycznej (6,7% całości)[72].

Dlatego zwiększenie liczby elektrycznych samochodów osobowych nie zmniejszy, a zwiększy – i to istotnie, bo o co najmniej 40% – emisję gazów cieplarnianych. Nie należy spodziewać się także istotnego zmniejszenia emisji zanieczyszczeń. Ze względu na relację ceny aut elektrycznych, nawet z dopłatami do zarobków Polaków, auta elektryczne (bez wdrożenia innych, wymienionych powyżej działań) będą nabywać nie posiadacze najstarszych i najbardziej emisyjnych aut, tylko ci, którzy już są w posiadaniu najnowocześniejszych samochodów spełniających wysokie normy emisji spalin. Co więcej, takie dotacje spowodowałyby pogłębienie rozwarstwienia majątkowego społeczeństwa, ponieważ trafiałyby do najbogatszych, których i tak stać na zakup pojazdu elektrycznego – i to bez dopłaty.

Podsumowanie

Analizując stosowane instrumenty wsparcia i coraz liczniejsze doświadczenia krajów najintensywniej rozwijających elektromobilność, można pokusić się o dokonanie kilku konstatacji. Po pierwsze, do rozważenia jest wprowadzenie systemu zachęt finansowych, tak aby koszty zakupu samochodu elektrycznego nie odbiegały znacznie od cen analogicznych modeli wyposażonych w konwencjonalne silniki spalinowe. Jednak wyłącznie pod dwoma warunkami: istotnego ograniczenia (finansowego i administracyjnego) możliwości zarejestrowania przestarzałych samochodów i podniesienia kosztów zakupu oraz eksploatacji pojazdów spalinowych, a także istnienia w danym kraju przewagi popytu na nowe samochody nad używanymi. Po drugie, istotne jest również wdrożenie pakietu zachęt niefinansowych dostosowanego do specyfiki uregulowań obowiązujących w danym kraju. Po trzecie, konieczne jest sfinansowanie lub znaczące dotowanie ze środków publicznych budowy gęstej sieci publicznych ładowarek.

Jednak kluczowe dla zasadności całego procesu rozwoju elektromobilności, czyli ograniczania emisji gazów cieplarnianych przez samochody elektryczne, jest stworzenie odpowiedniego systemu elektroenergetycznego o znacznie mniejszym udziale węgla niż obecnie. Niestety, Polska takim systemem nie dysponuje, a rząd nie robi nic, aby poziom emisyjności ograniczyć. Dodatkowo w Polsce brakuje narzędzi ogra-

[70] *Energy Technology Perspectives 2014. Harnessing Electricity's Potential*, OECD/IEA 2014, s. 226.

[71] http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/co2-electricity-g-per-kwh (31.03.2017).

[72] *Wskaźniki emisyjności…, dz. cyt., s. 6.*

niczających możliwości rejestracji i eksploatacji przestarzałych i wysokoemisyjnych samochodów, dlatego wciąż nabywane są głównie pojazdy używane, a wśród fabrycznie nowych dominują najtańsze modele. Dlatego jedynym zasadnym działaniem, jakie można i należy obecnie podjąć, jest stworzenie kompleksowego systemu wsparcia rozwoju elektromobilności opierającej się na wszelkich alternatywnych wobec motoryzacji indywidualnej rozwiązaniach. Budowanie zelektryfikowanego systemu transportu pasażerskiego należy rozpocząć od wsparcia (głównie finansowego) rozwoju nowoczesnego transportu publicznego – autobusy elektryczne, trolejbusy i/a także transport szynowy – oraz indywidualnego, ale rowerowego. Równocześnie, w szczególności największe miasta powinny wspierać rozwój car-sharingu i budować kompleksowe rozwiązania dla transportu rowerowego, zarówno w obszarze jego infrastruktury (liniowej i punktowej), jak i oferty funkcjonalnej systemów rowerów miejskich.

Bibliografia

Air quality in Europe – 2016 Report, European Environment Agency, Copenhagen 2016.

Assum T., Kolbenstvedt M., Fingenbaum E., *The future of electromobility in Norway – some stakeholder perspectiv*e, TOI, Oslo 2014.

Babiak M., Igliński H., *Estymacja i analiza efektywności energetycznej transportu pasażerskiego w Poznaniu oraz identyfikacja sposobów jej zwiększania*, w: *Wyzwania rozwoju transportu. Polityka, przedsiębiorstwo, technika*, A. Letkiewicz (red. nauk.), ZN UG Ekonomika Transportu i Logistyka, WUG, Gdańsk 2016.

Bailey J., Miele A., Axsen J., *Is awareness of public charging associated with consumer interest in plug-in electric vehicles?*, "Transportation Research Part D", 2015, nr 36.

Bakker S., Trip J.J., *Policy options to support the adoption of electric vehicles in the urban environment*, "Transportation Research Part D", 2013, nr 25.

Bołtryk M., *Kowalski oszczędza na małego SUV-a*, „Puls Biznesu", 17.02.2016.

Dennis K., Urry J., *After the Car,* Polity Press, Cambridge 2009.

Electric cars lose right to drive in Oslo bus lane, http://www.thelocal.no/20150506/norway-strips-electric-cars-of-ke (31.03.2017).

Energy Technology Perspectives 2014. Harnessing Electricity's Potential, OECD/IEA 2014.

Fuller G., Moukhtar S., *Paris tries something different in the fight against smog*, "The Guardian", 29.01.2017.

Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars, OECD/IEA, Paris 2016.

Hall D., Moultak M., Lutsey N., *Electric vehicle capitals of the world. Demonstrating the path to electric vehicle*, ICCT, Washington 2017.

Heinberg R., *The Party's Over. Oil, War and the Fate of Industrial Society*, New Society Publishers, Gabriola Island 2005.

Hocking M. i in., *Welcome to the Lithium-ion Age,* DB Markets Research, F.I.T.T., 2016.

http://cenniki.konfigurator-vw.pl/pdf/RM2017_RP2017/up!_fl.pdf?intcmp=cms--cenniki-cenniknowyup (20.03.2017).

http://gis.uba.de/website/umweltzonen/umweltzonen_en.php (31.03.2017).

http://usa.chinadaily.com.cn/china/2016-04/12/content_24457844.htm (31.03.2017).

http://w3.siemens.com/topics/global/en/electromobility/pages/ehighway.aspx (31.03.2017).

http://www.acea.be/statistics/tag/category/passenger-cars-world (20.03.2017).

http://www.acea.be/uploads/press_releases_files/20170201_AFV_Q4_2016_FINAL.PDF (20.03.2017).

http://www.cepik.gov.pl/documents/19372/19477/Zarejestrowane+pojazd+wg+rodzaj%C3%B3w+z+grudniem/67aad7f0-390c-427a-9061-510b4b4041d8 (31.03.2017).

http://www.eafo.eu/vehicle-statistics/m1 (31.03.2017).

http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/co2-electricity-g-per-kwh (31.03.2017).

http://www.ebeijing.gov.cn/BeijingInformation/BeijingNewsUpdate/t1463021.htm (31.03.2017).

http://www.ebeijing.gov.cn/Government/GovernmentBulletin/t1224982.htm (31.03.2017).
http://www.metal.com/metals/productinfo/201102250059 (20.03.2017).
http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/ (31.03.2017).
https://electrek.co/2016/04/26/tesla-model-3-battery-pack-cost-kwh/ (20.03.2017).
https://esa.un.org/unpd/wup/CD-ROM/ (31.03.2017).
https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/?1dmy&urile=wcm:path:/dmv_content_en/dmv/vr/decal (31.03.2017).
https://www.energielabel.nl/autos/voordeel-zuinige-auto-bpm-wegenbelasting-en-bijtelling/ (31.03.2017).
https://www.hsl.fi/en/news/2016/final-report-kutsuplus-trial-work-develop-ride-pooling-worth-continuing-8568 (31.03.2017).
https://www.renault.pl/content/dam/Renault/PL/pdf/pricelists/zoe-price.pdf (20.03.2017).
https://www.tesla.com/gigafactory (20.03.2017).
https://www.tesla.com/de_DE/models (20.03.2017).
https://www.tesla.com/models/design (20.03.2017).
https://www.volkswagen.pl/pl/modele.html (20.03.2017).
Igliński H., *Konsekwencje rosnącego uzależnienia transport w Polsce od ropy naftowej*, w: *Celowość, efektywność i skuteczność projektu transportowego. Logika interwencji*, A. Krych (red. nauk.), Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, Poznań 2015.
Julien Ch., Mauger A., Vijh A., Zaghib K., *Lithium Batteries. Science and Technology,* Springer International Publishing, Cham 2016.
Mineral Commodity Summaries, U.S. Geological Survey, Reston, January 2016.
Motavalli J., *Forward Drive: The Race to Build the Clean Car of the Future,* Earthscan, New York 2001.
Neckermann L., *Corporate Mobility Breakthrough 2020*, Troubador Publishing, Leicester 2016.
Opłaty rejestracyjne samochodów w Danii, Ministerstwo Rozwoju, Warszawa 2015.
Plan rozwoju elektromobilności w Polsce. „Energia do przyszłości", Ministerstwo Energii, Warszawa 2017, http://bip.me.gov.pl/files/upload/26453/Plan%20Rozwoju%20Elektromobilności%20w%20Polsce,%20przyjęty%20przez%20Radę%20Ministrów%20w%20dniu%2016%20marca%202017%20roku..pdf (20.03.2017).
Rynek ubezpieczeń komunikacyjnych w Polsce. Przegląd danych z lat 2013–2015, PIU, Warszawa 2016.
Sperling D., Gordon D., *Two Billion Cars. Driving Towards Sustainability*, Oxford University Press, New York 2009.
Tietge U. i in., *Comparison of leading electric vehicle policy and development in Europe*, ICCT Europe, Berlin 2016.
Transport – wyniki działalności w 2015 r., GUS, Warszawa 2016.
Wan K.B., *Electric car-sharing scheme to be rolled out from 2017,* "The Straits Times", 30.06.2016.

Wskaźniki emisyjności CO_2, SO_2, NO_x, CO i TSP dla energii elektrycznej, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Warszawa 2017.
Yang Z. i in., *Principles for effective electric vehicles incentive design*, ICCT, Washington 2016.
Yergin D., *The Prize. The Quest for Oil, Money & Power*, Simon & Schuster, New York 2009.
ZeEUS eBus Report. An overview of electric buses in Europe, UITP, Brussels 2016.

Streszczenie

W rozdziale przedstawiono historię rozwoju samochodów elektrycznych oraz bariery ograniczające rozwój elektromobilności, głównie w obszarze upowszechnienia elektrycznych samochodów osobowych. Dominującą część zaprezentowanych rozważań stanowi jednak identyfikacja instrumentów wsparcia rozwoju elektromobilności stosowanych w wybranych krajach (m.in. Danii, Holandii, Norwegii oraz Chinach) i ich analiza. Całości rozdziału dopełniają rekomendacje najbardziej skutecznych i efektywnych działań mających na celu zwiększenie stopnia zelektryfikowania transportu drogowego i zgodnych z wymogami gospodarki niskoemisyjnej.

INSTRUMENTS OF E-MOBILITY SUPPORT: EXPERIENCES OF OTHER COUNTRIES AND RECOMMENDATIONS FOR POLAND

SUMMARY

This chapter presents a brief history of the development of electric cars and the barriers to the development of electromobility, mainly in the field of electric cars. However, the dominant part of the presented reflections is the identification of incentives supporting the development of electromobility in selected countries (including Denmark, the Netherlands, Norway and China) and their analysis. The chapter summarizes the recommendations of the most effective tools and incentives to enlarge the level of road transport's electrification and at the same time meet the requirements of a low carbon economy.

Prof. dr hab. Wojciech Paprocki

Specjalista w zakresie ekonomiki transportu i rozwoju sektorów infrastrukturalnych, od 1979 roku pracuje w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie. Autor i współautor licznych książek i artykułów opublikowanych po polsku i w czterech językach obcych, w tym pięciu publikacji Europejskiego Kongresu Finansowego. Od 2014 roku koncentruje swoje zainteresowania badawcze na zagadnieniach rozwoju technologii cyfrowych, w tym wąskiej sztucznej inteligencji, i ich wdrażaniu w gospodarce. Dysponuje dużym doświadczeniem menedżerskim, które nabył podczas ponad dwudziestopięcioletniej pracy w krajowych i międzynarodowych przedsiębiorstwach branży TSL.

Wojciech Paprocki

Perspektywy rozwoju e-mobilności: szanse i ryzyka

Wprowadzenie

E-mobilność może być traktowana dwojako. Z jednej strony jest to kierunek rozwoju techniki i organizacji procesów przemieszczania się osób oraz zmiany lokalizacji rzeczy i dóbr nierzeczowych. Z drugiej strony to przeżywający renesans segment produkcji i eksploatacji środków transportu, których napęd zasilany jest energią elektryczną.

W epoce gospodarki cyfrowej obserwowane są dynamiczne zmiany zachowania uczestników rynku po stronie popytowej, w tym głównie konsumentów, a także po stronie podażowej, czyli producentów i usługodawców. Część tych zmian ma charakter wywrotowy (ang. *disruptive*). To oznacza, że na rynku pojawiają się nieoczekiwane rozwiązania, a nabywcy reagują pozytywnie, wręcz entuzjastycznie, bądź negatywnie, nawet nie wykazując większego zainteresowania. Niepewność zachowania się uczestników rynku stanowi trwałą cechę gospodarki rynkowej, ze wszystkimi tego konsekwencjami.

W poprzedzających rozdziałach przedstawione zostało wiele aspektów zmian w sposobie kreowania popytu na usługi związane z mobilnością oraz wiele aspektów rozwoju nowych rozwiązań, które stały się przedmiotem oferty usługodawców lub mogą się nim stać w kolejnych latach, a może dopiero w kolejnych dekadach.

Poniższe rozważania, w których wykorzystano możliwie najnowsze informacje o rozwoju e-mobilności, poświęcone są ocenie szans i ryzyk związanych z rozwojem e-mobilności.

1. Elon Musk: wizjoner czy hochsztapler?

W mediach na całym świecie szczególnie wiele uwagi poświęca się planom i dokonaniom tych przedsiębiorców (pracujących na własny rachunek z własnej motywacji) i menedżerów (pracujących na cudzy rachunek częściowo z własnej motywacji, a częściowo pod wpływem swoich mocodawców i inwestorów), którzy realizują wielkie projekty. Jednym z nich jest południowoafrykański przedsiębiorca Elon Musk, założyciel PayPal, Space X oraz Tesla, inicjator projektu Hyperloop. Im bardziej posuwa się po wytyczonej drodze rozwoju e-mobilności w zakresie upowszechniania samochodów osobowych z napędem elektrycznym typu BEV (ang. *battery electric vehicle*), tym silniejsze stają się emocje wyrażane przez jego pochlebców i krytyków. Zwolennicy wyrażają przekonanie, że ich idol osiągnie jednocześnie dwa zapowiadane sukcesy:

- doprowadzi do umasowienia produkcji samochodów BEV,

- osiągnie taką redukcję kosztów produkcji tych samochodów, która jest niezbędna do zapewnienia mikroekonomicznej efektywności przedsiębiorstwa produkującego i serwisującego te samochody.

Tesla wyprodukowała w pierwszym kwartale 2017 roku prawie 25 tys. sztuk luksusowego modelu S, którego cena przekracza 100 tys. USD. Koszty produkcji są od chwili jej rozpoczęcia ciągle redukowane, ale specjaliści oceniają, że koszty jednostkowe muszą być nadal ekstremalnie wysokie, skoro w ciągu I kwartału 2017 roku strata producenta wyniosła 622 mln USD. Trzeba jednak uwzględnić fakt, iż na wynik wpływają zarówno relacja ceny do kosztów własnych produkcji, jak i koszty utrzymania ciągle rozbudowywanych sieci stacji ładowania oraz punktów serwisowych. Przy zwiększonej skali produkcji wartość sprzedaży osiągnęła 2,7 mld USD. Liczba opłaconych zaliczkowo zamówień na nowy popularny Model 3, którego cena ma wynieść ok. 35 tys. USD, a produkcja zostać podjęta w lipcu 2017 roku, wzrosła do 373 tys.[1]. Musk darzony jest więc nadal dużym zaufaniem inwestorów oraz potencjalnych nabywców. Kapitalizacja przedsiębiorstwa na giełdzie w Nowym Jorku ciągle wzrasta i przekroczyła kapitalizację motoryzacyjnych gigantów: Forda i General Motors.

Jednocześnie ze wzrostem uznania dla osiągnięć Elona Muska wśród jego krytyków nasila się nieufność. Biorą oni pod uwagę trzy podstawowe przesłanki[2]:

- Tesla nie jest w stanie ustanowić ceny na poziomie pokrycia pełnych kosztów jednostkowych produkcji samochodów, mimo że na amerykańskim rynku nie ma jeszcze liczących się konkurentów w segmencie samochodów osobowych z napędem elektrycznym BEV;
- nowy samochód Model 3 będzie od początku sprzedawany ze stratą, którą się szacuje na poziomie od 5 do 10 tys. USD w odniesieniu do jednego pojazdu;
- Tesla przewiduje stosowanie w swoich samochodach baterii własnej produkcji, których konstrukcja już obecnie wydaje się przestarzała, a można oczekiwać, że chińskim producentom w najbliższych latach uda się osiągnąć znaczny postęp w doskonaleniu baterii.

Największe ryzyko podejmuje Musk w związku z wyborem łańcucha dostaw dla baterii. Własna produkcja daje tę przewagę, że Tesla nie jest uzależniona od dostawców, głównie zagranicznych. Nie eliminuje to jednak uzależnienia od importu surowców, gdyż w USA nie ma dostatecznej ilości ziem rzadkich oraz innych komponentów niezbędnych do wytwarzania nowoczesnych baterii.

Odrębnym ryzykiem jest zawodne działanie dostawców. Musk musiał zdecydować się na współpracę w łańcuchu dostaw z nieznanymi sobie podmiotami, co spowodowało, że o jakości ich produktów mógł się przekonać dopiero po ich zamontowaniu w swoich samochodach. W praktyce okazało się, ze Tesla była zmuszona

[1] T. Jahn, *Das „Model 3" kommt pünktlich*, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/elektroautopionier-tesla-das-model-3-kommt-puenktlich/19753090.html (4.05.2017).

[2] M. Koch, *Elon Musk – Vordenker oder Hochstapler?*, http://www.handelsblatt.com/video/finanzen/boersen-news/boersen-berichte/markus-koch-exklusiv-elon-musk-vordenker-oder-hochstapler/19753058.html (4.05.2017).

w latach 2015–2016 wzywać do serwisu ponad połowę sprzedanych samochodów modelu S, gdyż niektóre elementy ich wyposażenia okazały się zawodne[3].

Zróżnicowanie ocen ekspertów, którzy odnoszą się do działań podejmowanych przez Teslę, utrudnia sformułowanie własnej oceny szans i ryzyk podjętych przez Muska. Trzeba brać pod uwagę nie tylko przeszłość, lecz także uwzględniać zaangażowanie w nowe projekty. Na wrzesień 2017 roku zapowiedziane jest przedstawienie prototypu ciągnika siodłowego z napędem elektrycznym BEV przeznaczonego do transportu ładunków o dużej masie, a w 2019 roku ma zostać przedstawiony samochód z napędem elektrycznym BEV typu pick-up[4].

Jeśli Elon Musk jest wizjonerem i będzie równie wytrwały w prowadzeniu swoich biznesów jak Jeffrey Bezos, założyciel i dyrektor generalny Amazon.com, to być może osiągnie sukces ekonomiczny także dopiero po 20 latach inwestowania w swój projekt. Ale wraz z wydłużaniem się okresu ponoszenia strat, mimo wzrostu liczby produkowanych samochodów i rozszerzania oferty o nowe modele, cierpliwość inwestorów może zaniknąć. Takie ryzyko wzrośnie, jeśli sytuacja w gospodarce światowej się pogorszy i co najmniej część z inwestorów zacznie wycofywać swój kapitał. Wówczas może się okazać, że Elon Musk stał się jednym z największych hochsztaplerów XXI wieku.

2. Start-upy: podmioty wielkich szans i ogromnego ryzyka

W systemie gospodarczym, w którym „karty zostały już rozdane", polityka naśladowania cudzego sukcesu daje nikłe szanse na osiągnięcie własnego sukcesu. W motoryzacji przez dziesięciolecia producenci samochodów z silnikami spalinowymi walczyli o zadowalającą pozycję na rynku. Tylko niektórzy osiągnęli sukces, nawet jeśli przechodzili przez ciężkie kryzysy. Przykładem „giganta po przejściach" jest General Motors, który w latach 2007–2008 otrzymał duże wsparcie kapitałowe od amerykańskiego rządu federalnego. Wielu producentów nie przetrwało – w tym szwedzki producent kultowego samochodu Saab. Część marek pozostała na rynku, ale ich producenci nie wytrzymali konkurencji, choćby angielskie zakłady Rolls-Royce, które przeszły w ręce innych producentów, najpierw grupy VW, a następnie BMW.

W XXI wieku na ten rynek mogą wejść z sukcesem dwie grupy przedsiębiorstw. Pierwszą tworzą producenci chińscy. Szansę stwarza im rynek krajowy, na którym rośnie popyt, a ekspansja zagranicznych wytwórców jest ograniczana lokalnymi regulacjami. W motoryzacji chińskie przedsiębiorstwa zdobyły już liczącą się pozycję, ograniczając się do sprzedaży swoich wyrobów, w tym samochodów z napędem elektrycznym BEV, jedynie w swoim kraju. Liderem spośród tych przedsiębiorstw jest

[3] Tesla ruft 53.000 Autos zurück, http://www.handelsblatt.com/auto/test-technik/bremsprobleme-tesla-ruft-53-000-autos-zurueck/19698036.html (20.04.2017).

[4] Elon Musk kündigt Sattelzug-Vorstellung für September an, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/tesla-elon-musk-kuendigt-sattelzug-vorstellung-fuer-september-an/19672124.html (13.04.2017).

BYD, który oferuje popularny model o nazwie e6[5]. Trzeba się liczyć z ich ekspansją za granicę w kolejnym etapie rozwoju. Będzie to tym łatwiejsze, im częściej w Chinach będą tworzone międzynarodowe zespoły specjalistów z różnych dziedzin, w tym organizacji obsługi posprzedażnej na rynku globalnym.

Drugą grupę przedsiębiorstw tworzą „ci, którzy nie wiedzą, że się nie uda", czyli założyciele start-upów. Jednym z nich jest założona przez Elona Muska Tesla. To przykład producenta, który bez doświadczenia w branży, bez dostatecznych więzi z podwykonawcami, podjął ryzyko stworzenia nowego produktu i zaatakowania wielkich konkurentów.

Cechą start-upów jest ograniczona przewidywalność kierunku oraz tempa rozwoju. Wykreowanie nowego rozwiązania następuje spontanicznie. To jest droga rozwoju, która nie może być zastosowana wewnątrz struktur koncernowych, gdzie obowiązuje narzucona przez organizację hierarchiczną procedura postępowania. Jeśli celem jest „dowolny sukces", to start-up może do niego doprowadzić. Jeśli jednak celem ma być „wytyczony sukces", to spontaniczne i kreatywne działanie osób zaangażowanych w projekt nie musi doprowadzić do oczekiwanego efektu.

Na rynku światowym szczególną uwagę przykuwają nowe podmioty, które są zakładane w Izraelu. W tym kraju, który ze względów geopolitycznych rozwija swoją gospodarkę w dość nieprzyjaznym otoczeniu, postawiono na rozwój nowych technologii. Młodzi ludzie (kobiety i mężczyźni) odbywający służbę wojskową mają szansę, aby łączyć zajęcia o charakterze szkolenia militarnego z uzupełnianiem kształcenia zawodowego. Fundusze społeczne, m.in. emerytalne, są zaangażowane w finansowanie nowych przedsiębiorstw i projektów rozwojowych. Podobnie jak w USA taka praktyka przynosi bardzo pozytywne efekty – przy stosowaniu rozsądnych kryteriów oceny ryzyka biznesowego i odpowiednio dużej skali projektów, których wartość w 2015 roku w Izraelu wniosła 4,5 mld USD, udaje się uzyskiwać przeciętną rentowność na poziomie przekraczającym 10% w skali rocznej. W sytuacji utrzymywania się drastycznie niskich stóp oprocentowania kapitału ulokowanego na rynku międzynarodowym, jest to bardzo dobry wynik[6].

Na podstawie obserwacji rynku można stwierdzić, że w sprzyjającym otoczeniu większość start-upów podejmuje projekty i kończy swoją działalność niepowodzeniem. Każdy z takich przypadków może pochłonąć bezpowrotnie kilkaset tysięcy, a nawet kilka milionów dolarów. Ale inwestorzy uzyskują oczekiwaną marżę – jeśli projekty odniosą sukces. W przypadku przejęcia przez duże komercyjne organizacje kwoty wynagrodzenia mogą osiągać setki milionów, a w rekordowych przypadkach, nawet miliardy dolarów. Potwierdza to przejęcie na początku 2017 roku Mobileye, izraelskiego producenta zaawansowanych technologicznie urządzeń wykorzystywa-

[5] L. Bay, *Die Elektroautos, die hier niemand kennt,* http://www.handelsblatt.com/unternehmen/mittelstand/wachstumsmaerkte/e-mobilitaet-aus-china-strafzoelle-fuer-importfahrzeuge/13320222-2.html (15.03.2016).

[6] P. Aebischer, *Was die Schweiz von Israel lernen kann*, https://nzzas.nzz.ch/meinungen/was-die-schweiz-von-israel-lernen-kann-ld.862997?reduced=true (8.04.2017).

nych do quasi-autonomicznego sterowania samochodami. Amerykański producent sprzętu komputerowego Intel przejął Mobileye za 15 mld USD[7].

W drugiej dekadzie XXI wieku liczba transakcji przejmowania start-upów wydaje się wystarczająco duża, aby móc sformułować pewne prawidłowości. Po analizie projektów, które zakończyły się sukcesem komercyjnym, widać, że start-upy potrzebują zgromadzić w swych kierowniczych gremiach zarówno młodych autorów oryginalnych pomysłów (innowatorów), jak i dojrzałych menedżerów. Zaletą osób młodych jest ich inwencja. W epoce gospodarki cyfrowej nowe rozwiązania mają najczęściej wirtualny charakter i ich przygotowanie nie wymaga długoletniego stażu i nagromadzonego doświadczenia zawodowego, które było przydatne w epoce przemysłu ciężkiego, kiedy innowacją było „postawienie wielkiego urządzenia na betonowym fundamencie". Jednocześnie bez odwołania się do doświadczenia biznesowego czterdziestolatków trudno jest doprowadzić do zgromadzenia funduszy, które są niezbędne do utworzenia prototypu lub pierwszej instalacji w wersji *beta*, umożliwiającej testowe zastosowanie przez potencjalnych użytkowników[8].

W Polsce powstają centra rozwojowe przy przedsiębiorstwach, które już osiągnęły ustabilizowaną pozycję na rynku. Taką grupę tworzą m.in. producenci z różnych branż zrzeszeni w klastrze „Dolina Lotnicza". Ich potencjał wiąże się z pogłębianą przez wiele lat współpracą między podmiotami gospodarczymi a szkołami wyższymi – dobry przykład stanowi Politechnika Rzeszowska. Ze względu na duży potencjał rozwojowy do działalności grupy polskich podmiotów dołączył światowy lider technologii high-tech Samsung[9].

Pozyskiwanie kapitału od podmiotów gospodarczych, którzy są aktywni na rynku globalnym, wydaje się warunkiem osiągnięcia komercyjnych sukcesów przez start-upy tworzone w Polsce. O ile na pierwszym etapie podejmowania nowych projektów ważne może być wsparcie ze środków publicznych, to większych inwestycji przy wykorzystaniu tego skromnego źródła nie uda się zrealizować. Dlatego ważnym elementem programu rozwoju e-mobilności w Polsce powinno być zintegrowanie działań służących promocji nowych projektów na arenie międzynarodowej.

3. Ocena potencjalnego popytu na samochody BEV na rynku krajowym

Rynek krajowy samochodów osobowych z napędem elektrycznym BEV stanowi segment rynku światowego. Prognozę wielkości sprzedaży pojazdów samochodowych oraz ich struktury według rodzaju napędu przedstawiają dane w tabeli 1.

[7] U. Schmid, *Israels Startups für Autotechnik. Der 15-Milliarden-Deal überrascht nur Auswärtige*, https://www.nzz.ch/wirtschaft/nach-dem-verkauf-von-mobileye-run-auf-israels-autotechnik-ld.1288795 (26.04.2017).

[8] V. Köneke, *Start-ups. Gründen ist etwas für Erwachsene*, „WirtschaftsWoche", 4.05.2017.

[9] *Samsung inwestuje w start-upy*, http://www.dolinalotnicza.pl/aktualnosci/samsung-inwestuje-w-start-upy,106.html (14.04.2017).

Tab. 1. **Prognoza wielkości sprzedaży pojazdów samochodowych w 2020 roku na świecie**

Region geograficzny	Liczba sprzedanych samochodów ogółem (mln szt.)	Udział samochodów z silnikiem spalinowym	Udział samochodów z silnikiem elektrycznym lub układem hybrydowym
Świat	77,0	67,0%	33,0%
Europa	18,3	60,0%	40,0%
Azja	18,9	66,0%	34,0%
Inne regiony	39,8	70,7%	29,3%

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Die E-Autos kommen*, „Handelsblatt", 16.12.2016.

Przewiduje się, że na rynku światowym nadal wzmacniać się będzie znaczenie rynku chińskiego. O ile w 2005 roku kupiono tam 8,7% światowej produkcji samochodów osobowych, to w 2016 roku udział ten wzrósł do 28,5%. W tym samym okresie udział rynku USA zmniejszył się z 26,5% do 19,2%[10]. W Chinach w okresie od lipca 2015 roku do czerwca 2016 roku sprzedano rekordową liczbę pojazdów z napędem elektrycznym (łącznie BEV i pojazdy z napędem hybrydowym), tj. 276 tys. sztuk – co stanowiło jednak tylko 1,25% ogółu samochodów osobowych zarejestrowanych po raz pierwszy[11].

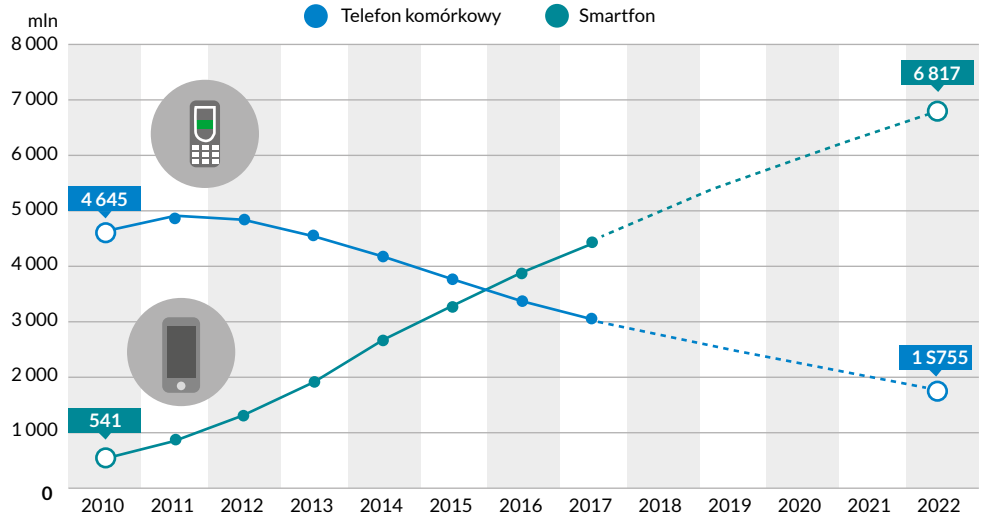
Wydaje się, że w skali globalnej rozwój e-mobilności będzie mieć podobny charakter do procesu zmiany strukturalnej na rynku urządzeń mobilnych. Zakładając, że w odczuciu nabywców i użytkowników samochód z napędem elektrycznym będzie lepszy czy też atrakcyjniejszy niż pojazdy z tradycyjnym napędem spalinowym, można się spodziewać zjawiska zmiany struktury zakupów, jaki został przedstawiony na rys. 1. Podobieństwo polega na substytucji jednego popularnego dobra innym dobrem, z których oba zaspokajają korespondujące ze sobą potrzeby. W przypadku urządzeń mobilnych smartfony zaczęto sprzedawać na masową skalę po prawie 10 latach od przedstawienia pierwszego takiego urządzenia. W motoryzacji indywidualnej powrót do samochodu z napędem elektrycznym następuje po przeszło 135 latach, tj. od momentu, kiedy w 1882 roku angielscy profesorzy William Edward i John Perry skonstruowali trzykołowy pojazd z silnikiem elektrycznym o mocy 0,37 kW (0,5 KM) zasilanym z baterii o napięciu 20 V. Przez ponad 120 lat takie rozwiązanie techniczne uznawano jako niezdolne do konkurowania z samochodem wyposażonym w silnik spalinowy, które w 1886 roku przedstawił Carl Benz[12]. Być może dzięki postępowi technicznemu w trzeciej dekadzie XXI uda się nadać pojazdom z napędem elektrycz-

[10] *Highway to Hell*, „Handelsblatt", 4.04.2017.

[11] *Study E-mobility Index Q1 2017*, Fka, Roland Berger, Aachen 2017, s. 13, http://www.fka.de/consulting/studien/e-mobility-index-2017-q1-e.pdf (4.04.2017).

[12] S. Scheuer, *Chinas mysteriöser Tesla-Killer*, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/leeco-elektroauto-chinas-mysterioeser-tesla-killer/13509446.html (27.04.2016).

nym lub wodorowym cechy użytkowe oraz obniżyć koszty produkcji na tyle, iż pojazdy te będą uznawane za bardziej atrakcyjne oraz ekonomicznie efektywniejsze od popularnych przez ponad stulecie samochodów z silnikami spalinowymi.



Rys. 1. **Liczba zarejestrowanych użytkowników na świecie w latach 2010–2017 oraz prognoza na lata 2018–2022 (mln)**

Źrdło: H. Nier, *Wann das Smartphone das Handu überholte*, www. statista.com (1.03.2017).

Tendencje, które będą widoczne na rynku globalnym, nie muszą być od razu odczuwalne na rynku w Polsce. Wynika to z faktu, iż polski rynek motoryzacyjny jest na etapie rozwoju obserwowanego w większości krajów o relatywnie niskich dochodach gospodarstw domowych. Poza elitą, do której można zaliczyć dwie grupy użytkowników: osoby korzystające z samochodów flotowych oraz przedstawicieli zawodów zapewniających zarobki na poziomie powyżej dwukrotności średniej krajowej, czyli ok. 1–2% ogółu osób w wieku od 18 do 75 lat, samochody są chętnie kupowane, ale pod warunkiem, że ich cena jest bardzo niska (poniżej równowartości 3 tys. EUR). Taką cenę mają jedynie samochody kupowane z drugiej (lub kolejnej) ręki, często starsze niż 10-letnie. Można przyjąć, że średnia wartość samochodu osobowego eksploatowanego w Polsce utrzymuje się na poziomie ok. 5 tys. PLN. Łączna wartość floty obejmującej ok. 20 mln samochodów osobowych wynosi zatem ok. 100 mld złotych. Wymiana tej floty na możliwie najtańsze samochody z napędem elektrycznym przy założeniu 15 lat trwania tego procesu wymagałaby inwestycji o łącznej wartości ok. 133 mld PLN rocznie[13]. Można przyjąć, że w ramach omówionych w innych rozdziałach tej monografii trendów technologicznych, które przyczynią się do istotnej poprawy wykorzystania floty, do zaspokojenia istniejących potrzeb mobilności mieszkańców Polski wystarczyłaby jedynie połowa floty. Taki drastyczny skok w poziomie

[13] Z floty 20 mln (używanych) pojazdów wymieniane byłoby rocznie 1,3 mln na nowe pojazdy o napędzie elektrycznym, o wartości ok. 100 tys. PLN (orientacyjna cena najtańszych modeli) każdy.

wykorzystania samochodów osobowych byłby zatem świadectwem wdrożenia wielu wywrotowych innowacji i stworzenia w Polsce dość zaawansowanej gospodarki ery cyfryzacji. W takim scenariuszu inwestycje na wymianę floty ograniczyłyby się do kwoty ok. 65 mld PLN. Nawet tak zredukowane inwestycje w środki pasażerskiego transportu samochodowego – mające jedynie wycinkowy wkład w proces rozwoju systemu mobilności społeczeństwa i gospodarki – miałyby ponieść gospodarstwa domowe oraz właściciele flot firmowych. Zatem zmiany strukturalne w tym systemie wymagają niewyobrażalnie dużych inwestycji, biorąc pod uwagę, że wartość wszystkich inwestycji w Polsce wynosi ok. 100 mld PLN rocznie.

Z dotychczasowym badań wynika, że jedynym segmentem użytkowników samochodów osobowych, którzy przy obecnej ofercie mogliby uzyskiwać mikroekonomiczną korzyść z eksploatowania samochodów z napędem elektrycznym BEV, są przedsiębiorstwa taksówkowe. W 2014 roku przy porównaniu ówczesnych parametrów eksperci oceniali, że eksploatacja samochodu z napędem elektrycznym BEV byłaby efektywniejsza ekonomicznie jedynie w przypadku, w którym cena paliwa zwiększyłaby się do poziomu ok. 6 euro za litr[14]. Przy parametrach występujących w 2016 roku, m.in. cenie paliw płynnych i energii elektrycznej, cenie pojazdów i baterii, przy odpowiednio dużym przebiegu dziennym, ale bez wyjeżdżania na dalekie trasy, koszt pełny jazdy w przeliczeniu na jeden wozo-kilometr może być niższy niż koszt eksploatacji samochodu z tradycyjnym napędem. Wzrost efektywności ekonomicznej użytkowania samochodów BEV wiąże się ze stałym spadkiem kosztów wytworzenia baterii. W 2010 roku koszty wytworzenia baterii był tak duży, że na 1 kWh pojemności kalkulowano tysiąc USD. W 2016 roku koszty spadły do poziomu 350 dolarów/1 kWh, a na 2030 rok prognozuje się jeszcze dalsze obniżenie kosztów do poziomu 120 dolarów/1 kWh[15]. Cena zakupu baterii dla producenta samochodów ma zmniejszyć się z ponad 50% kosztów wytworzenia do poziomu 38% w 2020 roku[16].

Można przewidywać, że samochody osobowe z napędem elektrycznym BEV nie będą widoczne na polskich drogach przez wiele kolejnych lat. Rynek tańszych, po 3–4 latach użytkowania, samochodów w Europie Zachodniej praktycznie nie istnieje. W 2012 roku w Niemczech sprzedano ich mniej niż 5 tys. sztuk, według statystyk w 2016 roku zaledwie 0,04% wszystkich zarejestrowanych tam samochodów stanowiły samochody BEV[17]. Więc indywidualny import takich używanych samochodów będzie incydentalny. Sprzedaż nowych samochodów BEV będzie natomiast ekonomicznie zablokowana relatywnie wysoką ceną, a potencjalni użytkownicy będą musieli brać pod uwagę dwa ograniczenia: małą liczbę stacji ładowania baterii oraz małą liczbę pracowników w warsztatach samochodowych, którzy będą potrafili naprawiać te pojazdy.

[14] *Ansteckende E-Mobilität*, http://www.handelsblatt.com/adv/digital-vernetzt/energie/firmenflotten-ansteckende-e-mobilitaet/10958332.html (13.11.2014).

[15] Ch. Schnell, *Elektroantreib als Massenware*, „Handelsblatt", 26.07.2016.

[16] *Batterie für Deutschland*, „Handelsblatt", 27.10.2015, s. 4.

[17] *Deutschland sucht den Anschluss*, http://www.handelsblatt.com/my/downloads/19545908/3/infografik-elektromobilitaet.html (21.03.2017).

4. E-mobilność w biznesie: problem skali produkcji

Największe szanse związane z rozwojem e-mobilności w Polsce upatruje się jak na razie w segmencie autobusów elektrycznych (rządowy program e-Bus). Producenci autobusów z napędem elektrycznym kierują swoją ofertę do bardzo szczególnej grupy odbiorców. Są to władze publiczne samorządowe, które chcą się angażować w programy redukcji emisji zanieczyszczeń oraz gazów cieplarnianych, głównie na terenach mocno zurbanizowanych. Te władze mają świadomość, że zakup autobusów z napędem elektrycznym wiąże się z wydatkiem znacznie większym niż przy zakupie autobusów z silnikami spalinowymi. Ale w ich odczuciu mieszkańcy regionu, a więc także wyborcy, mogą doceniać wysiłek na rzecz środowiska i akceptować zwiększone wydatki z budżetu samorządowego. Producenci o tym wiedzą i nie muszą się starać o obniżenie kosztów produkcji autobusów z napędem elektrycznym do poziomu kosztów produkcji tradycyjnych autobusów. To jest strategia marketingowa, która nie tworzy szans na istotne zwiększenie wolumenu produkcji. W konsekwencji nie mogą zostać stworzone warunki dla istotnego zredukowania kosztów produkcji.

O tym, jak problem skali jest ważny, świadczy zachowanie Poczty Niemieckiej/DHL. Ze względów prestiżowych – z podobnych pobudek, którymi kierują się niektóre władze publiczne samorządowe – zdecydowano się na wprowadzenie do eksploatacji pojazdów z napędem elektrycznym. Dotyczy to floty wykorzystywanej do dystrybucji przesyłek kurierskich na ostatnim odcinku, tj. od lokalnej bazy przeładunkowej do ostatecznych odbiorców. Pierwotnie zakładano, że DHL uruchomi własną produkcję wielośladu o nazwie *StreetScooter* i będzie jedynym użytkownikiem tych pojazdów. Ale po podjęciu projektu zorientowano się, że efekty skali produkcji zostaną osiągnięte dopiero po osiągnięciu produkcji na poziomie 100 tys. sztuk rocznie. Poczta Niemiecka nie potrzebuje taboru w takiej liczbie, więc przewiduje się, że pojazdy te będą oferowane konkurencyjnym operatorom logistycznym. Dla wersji bazowej przewidziana jest cena 38 tys. EUR[18]. Ponieważ nabywcami będą podmioty komercyjne, trudno jest przewidzieć, czy na całym świecie znajdzie się odpowiednio liczna grupa klientów, którzy uznają ofertę za wystarczająco atrakcyjną.

W 2016 roku w Europie Zachodniej liczba zarejestrowanych samochodów z napędem elektrycznym BEV była na tyle mała, że brakuje publikacji z wiarygodnymi danymi. Statystyki, w których łącznie podawane są liczby samochodów hybrydowych i BEV, nie mogą być wykorzystane jako wiarygodne źródła. Dodatkowo trzeba uwzględnić fakt, że wśród zarejestrowanych samochodów BEV kilka tysięcy stanowi własność dilerów, którzy prezentują te pojazdy swoim potencjalnym klientom.

Wśród podmiotów gospodarczych prowadzących działalność komercyjną samochody BEV nie są wprowadzane do flot z tego powodu, że nie wiadomo, jak w ogóle oszacować koszty ich eksploatacji, włączając utraconą wartość pojazdów w okresie między zakupem a sprzedażą na rynku wtórnym. Z jednej strony te samochody są zbyt krótko w użyciu, a z drugiej strony nie ma rzetelnych danych, jak rosną bieżące koszty eksploatacyjne w miarę upływu czasu.

[18] *Deutsche Post startet Streetscooter-Vermarktung für Fremdkunden*, „LOG-Mail", 2017, nr 15.

5. E-mobilność bez samochodu BEV

Polska polityka gospodarcza nie dostrzega wielu aspektów ważnych dla polityki transportowej, ekologicznej, klimatycznej i energetycznej. Konsekwencją tego stanu jest sytuacja, w której zakres stosowania podatku akcyzowego (i podobnych mu opłat) jest bardzo ograniczony, a jego poborowi nie towarzyszy efektywne stosowanie regulacji administracyjnych. Odwołując się do przykładu Chin, można wskazać, że czynność zarejestrowania samochodu z napędem spalinowym w Pekinie jest obciążona opłatą równą dwukrotności wartości nowego samochodu. To jest narzędzie *de facto* prowadzące użytkowników samochodów do wyboru: albo samochód BEV, albo brak samochodu.

W Polsce, podobnie jak w innych krajach członkowskich UE, prawdopodobnie już od 2021 roku w ramach unijnej polityki ekologiczno-klimatycznej zostanie wprowadzony obowiązek stosowania kontroli spalin emitowanych przez pojazdy według procedury *Real Driving Emissions* (RDE)[19]. Będzie to prowadziło do sytuacji, w której gros użytkowanych pojazdów przekraczających wyznaczone normy emisji spalin trzeba będzie albo poddać generalnej naprawie całego zespołu napędowego, albo wycofać z użytku. Skutkiem takiej operacji będzie prawdopodobnie drastyczne obniżenie ruchu samochodów osobowych, który i tak jest dość mały, gdyż szacuje się, że w Polsce samochód osobowy jest użytkowany od 15 do 30 minut (czystego czasu jazdy) w ciągu doby.

Potencjalnemu wycofaniu znaczącej części eksploatowanej floty samochodów z silnikami spalinowymi może zapobiec trwające kilka lat zaniechanie władz administracyjnych polegające na powstrzymaniu się od stosowania norm europejskich.

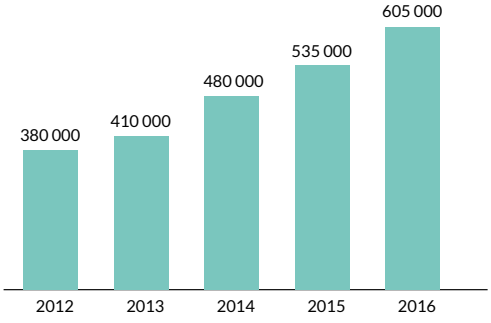
Można rozpatrywać jednak inny scenariusz, który będzie zakładał jeszcze silniejsze promowanie ruchu rowerowego. Celem byłoby upowszechnienie roweru jako środka transportu, który jest użytkowany przez cały rok, czyli także w okresie opadów i zalegania śniegu. W Polsce może dojść do implementacji rozwiązań skandynawskich, wśród których znajduje się odśnieżanie ścieżek rowerowych[20]. Istotnym czynnikiem sprzyjającym popularyzacji roweru może być upowszechnienie roweru z napędem elektrycznym *e-bike*, czyli jednośladowego BEV, w którym zainstalowany jest silnik o mocy do 250 W oraz ogranicznik prędkości do 25 km/h, co powoduje, iż jest to pojazd mechaniczny zwolniony z procedury rejestracji i nadzoru technicznego[21]. Przy cenie nowego roweru na poziomie ok. 2 tys. PLN w Polsce można oczekiwać podobnego wzrostu sprzedaży, jaki jest obserwowany w Niemczech, gdzie w 2016 roku liczba sprzedanych *e-bike* przekroczyła 600 tys. sztuk. Dynamikę sprzedaży w Niemczech ilustruje rys. 2.

---

[19] D. Neuerer, *SDP-geführte Ministerien machen Druck auf Autobranche*, http://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/senkung-von-stickoxidemissionen-spd-gefuehrte-ministerien-machen-druck-auf-autobranche/19718252.html (26.04.2017).

[20] E. Köbler-Liesner, *Mit dem e-Bike gut durch den Winter*, „Süddeutsche Zeitung", 15.01.2016.

[21] *Die neuen E-Bikes schlagen sogar Autos*, http://www.handelsblatt.com/auto/nachrichten/weltfahrradtag-die-neuen-e-bikes-schlagen-sogar-autos/7059368.html (18.04.2013).



Rys. 2. **Liczba sprzedanych w Niemczech rowerów z napędem elektrycznym w latach 2012–2016**
Źrdło: F. Suhr, *Stabiles Wachstum beim E-Bike-Markt*, www.statista.com (8.03.2017).

Korzystanie z *e-bike* może odbywać się zarówno w modelu tradycyjnym, tj. po zakupie dla każdego użytkownika, jak i w modelu bike-sharing. Jeśli punkty poboru i oddawania rowerów obok stacji ładowania baterii byłyby wyposażone dodatkowo w odpowiednie sensory i urządzenia monitorujące, to możliwe byłoby kontrolowanie kompletności i stanu technicznego floty. Tą metodą można by eliminować ewentualne kradzieże wyposażenia, np. baterii.

6. Miks energetyczny i jego wpływ na e-mobilność

Fascynacja e-mobilnością wiąże się pośrednio z dążeniem do ograniczenia emisji zanieczyszczeń oraz gazów cieplarnianych w skali globalnej. Ważne jest ustalenie, czy zastąpienie paliw płynnych i gazu przez wykorzystanie energii elektrycznej do napędu samochodów osobowych i autobusów, a w dalszej przyszłości także samochodów ciężarowych, ma się odbywać w formule *trade-offs* czy *win-win*[22]. W Polsce, podobnie jak w USA, władze publiczne prezentują przekonanie, że w najbliższych latach dominujące – gdyż jest nadal ekonomicznie racjonalne – będzie użytkowanie paliw pochodzenia organicznego. Upowszechnianie e-mobilności spowoduje, że pojazdy będą emitować mniej zanieczyszczeń w miejscu ich użytkowania, w tym przede wszystkim podczas ruchu miejskiego. Ale będzie się to odbywać przy zwiększonej emisji w miejscu produkcji energii elektrycznej. W formule *trade-offs* nie będzie redukcji emisji, a jedynie zmiana lokalizacji jej występowania.

Połączenie programu e-mobilności z programem ograniczania produkcji energii elektrycznej w elektrowniach cieplnych oraz jądrowych ma prowadzić do wykorzystania formuły *win-win* – przykładem takiego programu jest niemiecka polityka *Energiewende*. Im bardziej ma wzrosnąć produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (OZE), tym większa ma być globalna redukcja emisji zanieczyszczeń oraz gazów cieplarnianych. Ten scenariusz zmian w systemach energetycznym i transportowym łącznie wiąże się przejściowo, zapewne na okres kilku dekad, z utworzeniem

[22] *Climate Change Mitigation and Poverty Reduction (CliMiP) – Trade-Offs or Win-Win Situations?*, https://www.giga-hamburg.de/de/projekt/climate-change-mitigation-and-poverty-reduction-climip-—-trade-offs-or-win-win-situations (5.04.2017).

obok siebie dwóch systemów energetycznych. Konieczne będzie utrzymanie istniejącego systemu energetyki cieplnej i jądrowej o potencjale zaspokajającym wszystkie potrzeby oraz rozbudowanie systemu energetyki korzystającej z OZE. Jak wskazuje przypadek, który m.in. wystąpił 24 stycznia 2017 roku w Niemczech, w Europie występują czasami warunki meteorologiczne nazywane „ciemną flautą", uniemożliwiające produkcję energii elektrycznej z zastosowaniem dwóch podstawowych technologii OZE: przetwarzania promieniowania słonecznego oraz wykorzystania siły wiatru. Przy silnym zachmurzeniu oraz ustaniu wiatru OZE były w stanie zaspokoić jedynie 0,1% krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną[23]. O tym, jak kosztowna jest polityka energetyczna w Niemczech, świadczy fakt, iż w latach 1998–2016 koszty produkcji w elektrowniach tradycyjnych wzrosły o 2%, a opłaty nakładane przez władze publiczne w celu finansowania tej polityki, obciążające użytkowników energii, w tym gospodarstwa domowe, wzrosły o 280%[24].

Ważnym zagadnieniem dotyczącym rozwoju e-mobilności rozumianej jako upowszechnienie samochodów osobowych i innych z napędem elektrycznym BEV jest zapewnienie dostępu do punktów ładowania baterii. Początkowo zwracano uwagę na ograniczoną dostępność geograficzną tych stacji. Ze względu na rosnącą pojemność instalowanych baterii coraz większego znaczenia nabiera standard stacji ładowania. Jeśli proces ładowania ma trwać krótko – co ma znaczenie w przypadku ładowania baterii podczas podróży, a nie po jej zakończeniu – to konieczne jest upowszechnienie stacji o mocy 350 kW, które muszą być podłączone do sieci dystrybucyjnej o napięciu 800 V. Trzeba uwzględnić fakt, że w żadnym kraju, w tym w Polsce, nie ma takiej sieci. To oznacza, że instalowanie stacji szybkiego ładowania będzie wymagało rekonstrukcji sieci dystrybucyjnych wraz ze stacjami transformatorowymi. Docelowym stanem będzie ukształtowanie inteligentnej sieci energetycznej i jej zintegrowanie z systemem transportowym (ang. *smart grid integration*), którego ważnym elementem będzie flota pojazdów wyposażonych w baterie o wysokiej pojemności[25].

Jeśli władze publiczne chciałyby oddzielać zagadnienia polityki transportowej od zagadnień polityki energetycznej, to muszą się liczyć ze swoistą konfuzją społeczną. Trudno jest jednocześnie apelować o zaangażowanie w program e-mobilności i bronić tradycyjnych metod generowania energii elektrycznej. Dodatkowo trzeba uwzględniać perspektywę wystąpienia przełomu w technice magazynowania energii elektrycznej. Intensywne prace nad nowymi rozwiązaniami są przecież prowadzone przez dwie grupy interesu: producentów pojazdów z napędem elektrycznym BEV oraz producentów energii elektrycznej z OZE. Jeśli te prace przyniosą oczekiwany efekt, to jednocześnie uda się zwiększyć atrakcyjność i ekonomiczną efektywność e-mobilności oraz miksu energetycznego, w którym podstawową rolę będą odgrywać OZE.

---

[23] Ch. Eisenring, *Energiepolitik. Das falsche Vorbild Deutschlands*, „NZZ", 4.05.2017.

[24] Ch. Eisenring, *EnBW-Chef Frank Mastiaux: Die Energiewende hat ihren Preis*, „NZZ", 30.04.2017.

[25] *Electromobility in Germany. Vision 2020 and Beyond*, Germany Trade & Invest, Berlin 2015, s. 18, https://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/electromobility-in-germany-vision-2020-and-beyond-en.pdf?v=3 (4.04.2017).

Podsumowanie

Elon Musk wielokrotnie przekazywał komunikat, w którym potwierdzał swoje przekonanie o rychłym upowszechnieniu samochodu z napędem elektrycznym BEV. Znamienne jest zaangażowanie Chińczyków, którzy chcą skutecznie konkurować z Teslą o pierwszeństwo na tym tworzącym się segmencie globalnego rynku motoryzacyjnego. Powstaje więc wrażenie, że pokonanie producentów tradycyjnych samochodów z napędem spalinowym to szansa, którą będzie można wykorzystać w ciągu co najwyżej kilku lat.

Ale widoczne są także różnorodne ryzyka. Samochody to nie smartfony, to urządzenia trwałego użytku o wysokiej wartości w chwili ich wytworzenia, które są powszechnie wykorzystywane, przy czym czas odbywania nimi jazd często ogranicza się do kilkunastu lub kilkudziesięciu minut w ciągu doby. To powoduje, że ich żywotność osiąga od kilku do dwudziestu lat. Zatem wymiana pojazdu na nowy odbywa się w cyklu znacznie dłuższym niż małych urządzeń mobilnych. Osiągnięte już powodzenie komercyjne producentów samochodów osobowych z napędem elektrycznym hybrydowym jest faktem, ale wiadomo, że przełom z punktu widzenia polityk: ekologicznej, energetycznej i klimatycznej przyniesie upowszechnienie samochodów BEV. Aby do tego doszło, musi zostać osiągnięta odpowiednia skala produkcji, czyli też odpowiednio masowy popyt. Należy się liczyć ze scenariuszem, że do takiej sytuacji dojdzie w niektórych krajach za jakiś czas. Jeszcze później upowszechnienie samochodów BEV może nastąpić w Polsce, gdzie tylko nieliczna grupa użytkowników kupuje pojazdy fabrycznie nowe, a większość stać jedynie na zakup pojazdów używanych. W wizjach dynamicznych przemian strukturalnych w parku samochodowym trzeba uwzględniać z jednej strony ogromną wartość niezbędnych nakładów inwestycyjnych, a z drugiej strony ograniczenia budżetowe wśród potencjalnych nabywców.

Zanim do tego dojdzie, zmiany mogą prowadzić w innym kierunku. E-mobilność może przynieść jeszcze większe upowszechnienie roweru z silnikiem elektrycznym. Cena takiego pojazdu może być już niebawem akceptowalna przez wiele polskich gospodarstw rodzinnych.

Rozwój e-mobilności wiązać się będzie z procesem przemian w systemie energetycznym, który powinien także w Polsce ewoluować do standardu *smart grid*. Z tego powodu zasadne jest kontynuowanie interdyscyplinarnych badań, które pozwolą na równoczesną analizę projektowanych przemian w trzech sektorach infrastrukturalnych: transportowym, energetycznym i telekomunikacyjnym.

Bibliografia

Aebischer P., *Was die Schweiz von Israel lernen kann*, https://nzzas.nzz.ch/meinungen/was-die-schweiz-von-israel-lernen-kann-ld.862997?reduced=true (8.04.2017).

Ansteckende E-Mobilität, http://www.handelsblatt.com/adv/digital-vernetzt/energie/firmenflotten-ansteckende-e-mobilitaet/10958332.html (13.11.2014).

Batterie für Deutschland, „Handelsblatt", 27.10.2015.

Bay L., *Die Elektroautos, die hier niemand kennt*, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/mittelstand/wachstumsmaerkte/e-mobilitaet-aus-china-strafzoelle-fuer-importfahrzeuge/13320222-2.html (15.03.2016).

Climate Change Mitigation and Poverty Reduction (CliMiP) – Trade-Offs or Win-Win Situations? https://www.giga-hamburg.de/de/projekt/climate-change-mitigation-and-poverty-reduction-climip-–-trade-offs-or-win-win-situations (5.04.2017).

Deutsche Post startet Streetscooter-Vermarktung für Fremdkunden, „LOG-Mail", 2017, nr 15.

Deutschland sucht den Anschluss, http://www.handelsblatt.com/my/downloads/19545908/3/infografik-elektromobilitaet.html (21.03.2017).

Die neuen E-Bikes schlagen sogar Autos, http://www.handelsblatt.com/auto/nachrichten/weltfahrradtag-die-neuen-e-bikes-schlagen-sogar-autos/7059368.html (18.04.2013).

Eisenring Ch., *EnBW-Chef Frank Mastiaux: Die Energiewende hat ihren Preis*, „NZZ", 30.04.2017.

Eisenring Ch., *Energiepolitik. Das falsche Vorbild Deutschlands*, „NZZ", 4.05.2017.

Electromobility in Germany. Vision 2020 and Beyond, Germany Trade & Invest, Berlin 2015, https://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/electromobility-in-germany-vision-2020-and-beyond-en.pdf?v=3 (4.04.2017).

Elon Musk kündigt Sattelzug-Vorstellung für September an, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/tesla-elon-musk-kuendigt-sattelzug-vorstellung-fuer-september-an/19672124.html (13.04.2017).

Highway to Hell, „Handelsblatt" 4.04.2017.

Jahn T., *Das „Model 3" kommt pünktlich*, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/elektroautopionier-tesla-das-model-3-kommt-puenktlich/19753090.html (4.05.2017).

Köbler-Liesner E., *Mit dem e-Bike gut durch den Winter*, „Süddeutsche Zeitung", 15.01.2016.

Koch M., *Elon Musk – Vordenker oder Hochstapler?*, http://www.handelsblatt.com/video/finanzen/boersen-news/boersen-berichte/markus-koch-exklusiv-elon-musk-vordenker-oder-hochstapler/19753058.html (4.05.2017).

Köneke V., *Start-ups. Gründen ist etwas für Erwachsene*, „WirtschaftsWoche", 4.05.2017.

Neuerer D., *SDP-geführte Ministerien machen Druck auf Autobranche*, http://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/senkung-von-stickoxidemissionen-spd-gefuehrte-ministerien-machen-druck-auf-autobranche/19718252.html (26.04.2017).

Samsung inwestuje w start-upy, http://www.dolinalotnicza.pl/aktualnosci/samsung--inwestuje-w-start-upy,106.html (14.04.2017).
Scheuer S., *Chinas mysteriöser Tesla-Killer*, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/leeco-elektroauto-chinas-mysterioeser-tesla-killer/13509446.html (27.04.2016).
Schmid U., *Israels Startups für Autotechnik. Der 15-Milliarden-Deal überrascht nur Auswärtige*, https://www.nzz.ch/wirtschaft/nach-dem-verkauf-von-mobileye-run-auf-israels-autotechnik-ld.1288795 (26.04.2017).
Schnell Ch., *Elektroantreib als Massenware*, „Handelsblatt", 26.07.2016.
Study E-mobility Index Q1 2017, Fka, Roland Berger, Aachen 2017, http://www.fka.de/consulting/studien/e-mobility-index-2017-q1-e.pdf (4.04.2017).
Tesla ruft 53.000 Autos zurück, http://www.handelsblatt.com/auto/test-technik/bremsprobleme-tesla-ruft-53-000-autos-zurueck/19698036.html (20.04.2017).

Streszczenie

Motoryzacja indywidualna jest powszechnym zjawiskiem, które w najbliższych latach może być poddane głębokim zmianom strukturalnym. Te zmiany zapowiadają wizjonerzy, m.in. Elon Musk zarządzający producentem samochodów Tesla z napędem elektrycznym BEV. Głębokość zmian zdeterminują innowacje przygotowane przez zespoły poszukiwaczy nowych rozwiązań. Analiza wsparcia dla start-upów udzielonego w niektórych krajach potwierdza, że skala zaangażowania finansowego i racjonalne połączenie wysiłków różnych środowisk może przynieść propozycje nowych rozwiązań, ich wdrożenie i osiągnięcie wymiernych korzyści ekonomicznych. Ze względu na miliardową wartość floty nowych pojazdów proces wymieniania milionów używanych samochodów na nowe może trwać wiele dekad w takich krajach jak Polska, w których zamożność gospodarstw domowych jest dość niska. Z tego powodu warto rozpatrywać w Polsce scenariusz upowszechnienia *e-bike*, który zaczyna być realizowany w niektórych krajach zachodnioeuropejskich.

PERSPECTIVES OF E-MOBILITY DEVELOPMENT: OPPORTUNITES AND RISKS

SUMMARY

Individual motorization is a general phenomenon which is likely to undergo deep structural changes in the years to come. Theses shifts are predicted by visionaries such as Elon Musk, CEO of Tesla Inc. which produces battery electric vehicles (BEV). The intensity of change will be determined by innovations proposed by teams that look for new solutions. An analysis of the support for start-ups in some countries proved that the degree of funding and reasonable involvement of various parties might result in the discovery of novel solutions, their implementation, and, consequently, the achievement of rational economic benefits. Since the value of the fleet of new vehicles amounts to billions, the process of exchanging millions of old cars by new ones can take several decades in countries like Poland in which the wealth of households is relatively low. Accordingly, it is worth to spread the idea of *e-bike* in Poland following the example of some western European countries.