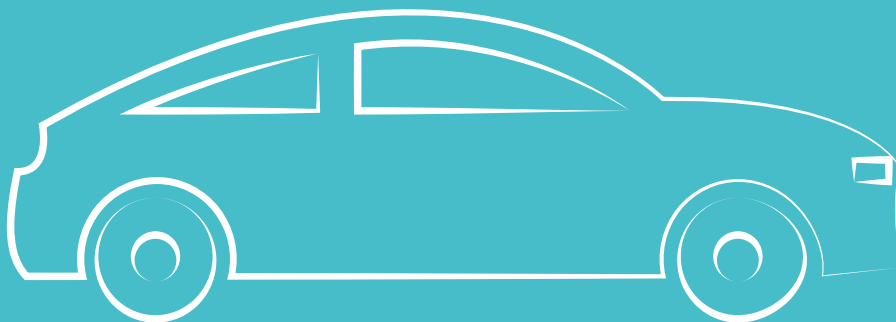
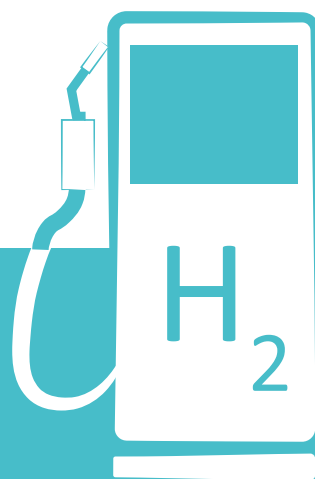
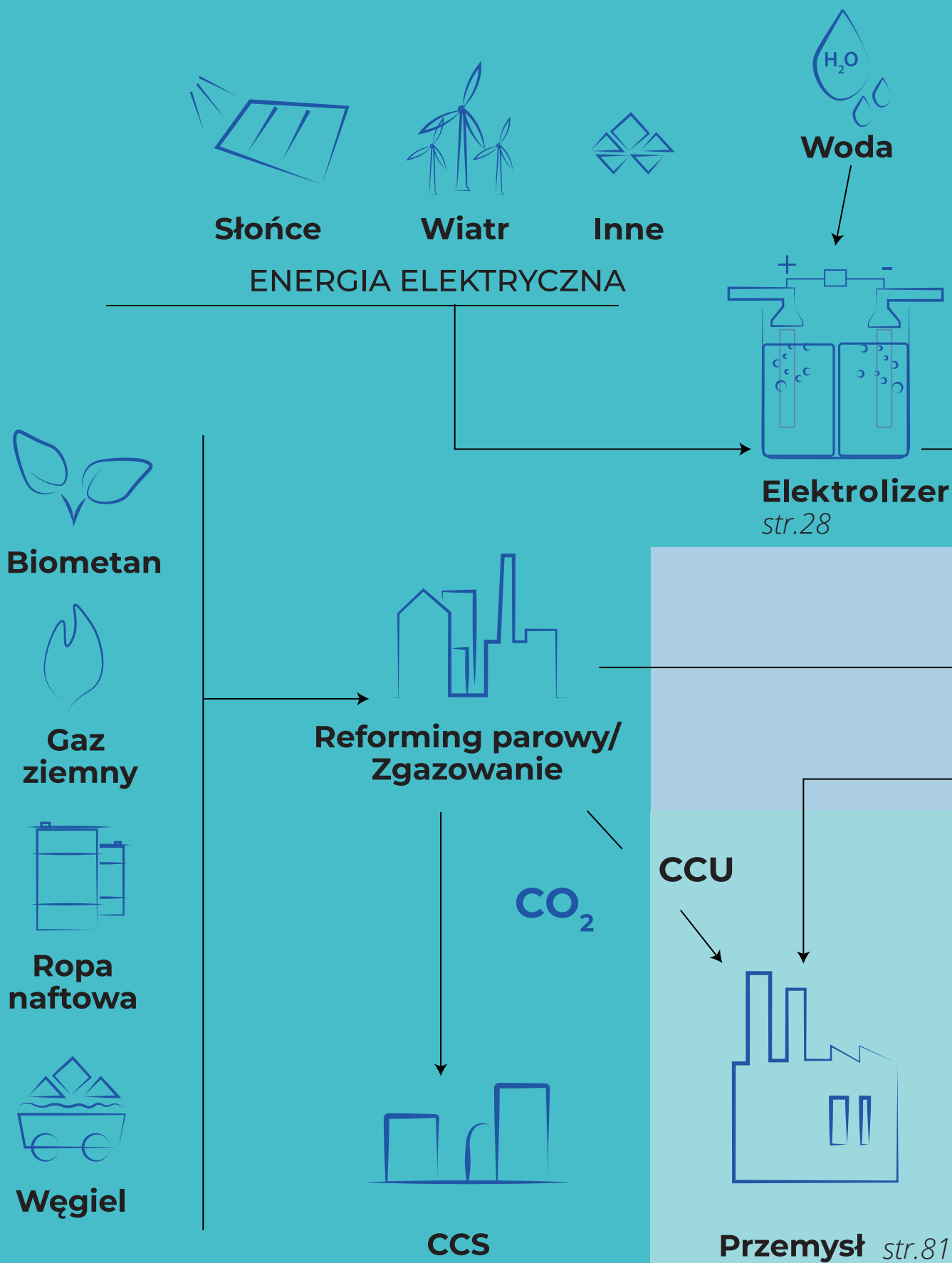




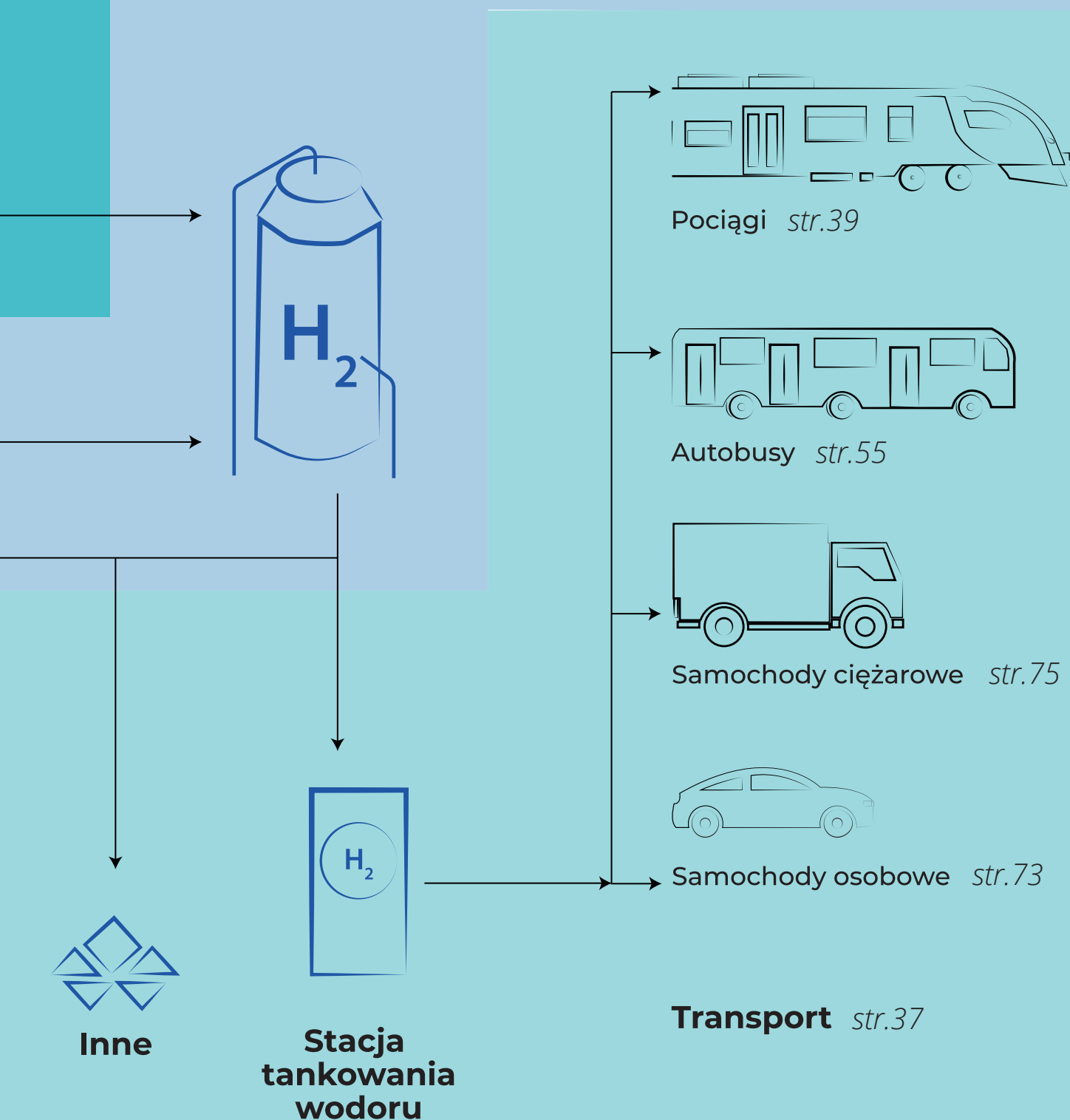
TRANSPORT

KLUCZEM DO ROZWOJU
TECHNOLOGII
WODOROWYCH
W POLSCE





LOGISTYKA I DYSTRYBUCJA *str. 31*



ZASTOSOWANIE



ADRIAN FURGALSKI

Prezes Zarządu
Zespół Doradców Gospodarczych TOR

Europejska energetyka w ostatniej dekadzie przeszła głęboką transformację. Energia pozyskiwana z paliw kopalnych sukcesywnie zastępowana jest energią ze źródeł odnawialnych. Również w Polsce coraz częściej pojawiają się samochody elektryczne, farmy wiatrowe i panele słoneczne. Trend ten w najbliższych latach będzie się nasilał na skutek coraz bardziej rygorystycznych wymogów w zakresie emisji gazów cieplarnianych i rosnącej świadomości zagrożeń związanych ze zmianami klimatu oraz oczekiwań co do jakości powietrza.

Transformacji energetycznej będzie sprzyjał postęp technologiczny i spadek kosztów wdrożenia nowych, bardziej ekologicznych rozwiązań takich jak m.in. technologie wodorowe. Dzisiaj już nikt nie dyskutuje, czy wodór będzie paliwem przyszłości, ale jak szybko i efektywnie można go wykorzystać. Polska ma niepowtarzalną szansę aktywnie włączyć się do europejskiego i globalnego wyścigu po technologie wodorowe. Paliwo to jest uniwersalnym narzędziem, dzięki któremu można skutecznie zmagazynować energię i zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych nie tylko w transporcie, ale również w przemyśle oraz energetyce, w tym ciepłownictwie.

Warto podkreślić, że unijne strategie zakładają wykorzystanie wodoru w branżach, które trudno będzie całkowicie zelektryfikować, np. w przemyśle metalurgicznym, chemicznym, a także długodystansowym transporcie lotniczym oraz samochodowym. To oznacza jedno – w Unii Europejskiej popyt na wodór będzie stale rósł, a część krajów, w tym nasz największy partner handlowy w UE, czyli Niemcy, prawdopodobnie będą musiały importować to paliwo. Pozycja Polski jako znaczącego w Europie producenta wodoru jest bardzo dobra.

Wodór w Polsce produkowany jest najczęściej z gazu ziemnego i wykorzystywany do procesów rafineryjnych i petrochemicznych. Nie spełnia on jednak wymagań czystości potrzebnych do zastosowania w pojazdach z ogniwami paliwowymi. Ponadto, brakuje systemowych rozwiązań, zachęt finansowych oraz całościowej wizji skorzystania z wodorowej rewolucji, jaka rozpoczyna się na naszych oczach. Dlatego należy jak najszybciej rozpocząć wdrożenia, zbudować infrastrukturę i umożliwić korzystanie z potencjału, jaki stwarzają unijne i krajowe programy inwestycyjne.

Polska droga do rozwoju wodoru powinna uwzględnić specyfikę naszej gospodarki i jej możliwości. Wprowadzenie tego paliwa w pierwszej kolejności powinno opierać się na wodorze pochodzenia przemysłowego. W pierwszym etapie należy wdrożyć oczyszczanie wodoru w stopniu niezbędnym do zastosowania w transporcie. Zapewni to odpowiednie warunki dla rozwoju rynku.

Transport kolejowy, miejski, ciężarowy oraz indywidualny w postaci flot zeroemisyjnych pojazdów, w tym taksówek, pozwoli szybciej osiągnąć konieczny do upowszechnienia wodoru efekt skali i skomercjalizować nowe łańcuchy dostaw. W perspektywie średnioterminowej, w miarę wzrostu popytu, na rynku powinien pojawić się wodór niskoemisyjny, wyprodukowany z wykorzystaniem instalacji wychwytyjących CO₂.

W dalszej perspektywie w systemie energetycznym zacniemy regularnie odnotowywać nadwyżki energii elektrycznej z odnawialnych źródeł. To kolejny etap, nad którym prace trzeba rozpocząć już teraz. Docelowo tylko tzw. zielony wodór, czyli produkowany z całkowicie zeroemisyjnych źródeł, będzie funkcjonował na rynku jako wspierany przez unijną politykę klimatyczną.

Polska nie ma jednak obecnie takich nadwyżek energii elektrycznej z OZE jak chociażby Niemcy, więc powinna stopniowo przygotowywać się do przejścia na zeroemisyjny wodór. To także szansa dla polskich naukowców i przedsiębiorców, którzy mogą wejść na nowy rynek – np. produkcji elektrolizerów czy ogniw paliwowych.

Zapraszam do lektury naszego najnowszego raportu – poświęconego technologii wodorowej.

Adriana Fijałkowska



GRZEGORZ JÓŹWIAK

Dyrektor Biura
Wdrażania Paliw Alternatywnych
PKN ORLEN

Środowisko, w którym żyjemy, jest naszym wspólnym dobrem. Rozwijający się przemysł z jednej strony powoduje, że nasze życie staje się wygodniejsze i łatwiejsze, a z drugiej strony mamy świadomość, że odbywa się to kosztem oddziaływania na środowisko i klimat. Jednym z ważniejszych kierunków, mogących zmienić gospodarkę, przemysł, transport oraz ich wpływ na klimat jest zwrot ku technologiom wodorowym. Wodór od lat uważany jest za paliwo przyszłości. Jednakże to właśnie dzisiaj pojawia się szansa na pełne wykorzystanie wodoru jako dźwigni dekarbonizacji przemysłu. Dzieje się tak, gdyż gotowość technologiczna rozwiązań opartych na wodorze jest na tyle wysoka, że z powodzeniem mogą one być komercyjnie implementowane.

Ważnym tematem, szczególnie w czasach kryzysu wywołanego pandemią COVID-19, jest dążenie do pobudzenia gospodarki poprzez inwestycje. Jednym z istotniejszych elementów wychodzenia z recesji gospodarczej spowodowanej wirusem COVID-19, mogą okazać się inwestycje w budowę gospodarki wodorowej, które mogą stać się kołem napędowym dla rozwoju czystego i niedrogiego systemu energetycznego, opartego o innowacyjne rozwiązania. Będą one przyczyniać się do wzrostu gospodarczego, tworząc przy okazji nowe miejsca pracy.

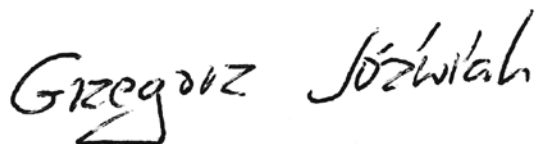
PKN ORLEN, jako jeden z pierwszych koncernów w Europie, zadeklarował cel osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2050 roku. Strategia jego realizacji oparta jest między innymi na wodorze. PKN ORLEN już teraz jest jednym z największych producentów wodoru na świecie. W ramach grupy kapitałowej w procesie produkcyjnym wytwarzanych jest blisko 45 ton wysokiej jakości wodoru na godzinę, wykorzystywanych w procesach rafineryjnych, petrochemicznych i chemicznych. Ilość ta będzie sukcesywnie się zwiększać dzięki podejmowanym inwestycjom PKN ORLEN w kierunku produkcji wodoru do celów transportowych.

Dostrzegamy również potencjał przejętej w 2020 roku Grupy Energa. Już teraz Grupa Kapitałowa ORLEN posiada ponad 0,5 GW zainstalowanych mocy w OZE, a docelowo zgodnie z przyjętą strategią w 2030 roku będzie to już ponad 3,5 GW. Nadwyżki z energii elektrycznej z OZE będą z powodzeniem wykorzystane w procesie produkcji wodoru.

W PKN ORLEN mamy ogromne doświadczenie w zakresie technologii wodorowych, gdyż wykorzystujemy go w procesach rafineryjnych i petrochemicznych niemal od początku istnienia rafinerii. Analizujemy nowe technologie wodorowe, nowe kierunki zastosowania wodoru, w tym te związane z transportem. Dlatego chcemy dywersyfikować źródła wodoru i wdrażać je w sekwencji w odniesieniu do ich gotowości technologicznej i biznesowej.

Przed nami szereg wyzwań związanych z wdrażaniem wodoru w transporcie, obniżaniem emisyjności produkcji wodoru poprzez zmianę surowca na bio do istniejących procesów lub zastosowanie nowych nisko- i zeroemisyjnych technologii produkcji wodoru. Wspomniane działania wiążą się z dużymi nakładami finansowymi, stąd dla zbudowania całego łańcucha wartości wodoru potrzebne jest jego finansowanie. Opublikowana w 2020 roku „Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu” oraz perspektywa przyjęcia w roku 2021 „Polskiej Strategii Wodorowej do roku 2030 z perspektywą do 2040” to silny sygnał mówiący o wysokim zainteresowaniu technologiami wodorowymi i ich szybką implementacją w europejskim i krajowym miksie energetycznym.

Zachęcam do zapoznania się z raportem, który stanowi ważny krok na drodze do budowy świadomości społecznej na temat wykorzystania wodoru z korzyścią dla środowiska naturalnego.



Spis treści

Lista skrótów	11
Executive summary	15
1. Wprowadzenie	17
1.1. Kontekst energetyczny	19
1.2. Wodór jako nośnik energii	20
1.3. Wodór w polskim systemie energetycznym	21
2. Produkcja	24
2.1. Produkcja wodoru z paliw kopalnych	25
2.2. Wodór odpadowy	26
2.3. Produkcja wodoru z paliw kopalnych z zastosowaniem technologii CCS/CCUS	27
2.4. Wodór produkowany z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii	29
2.5. Elektroliza	30
3. Logistyka i dystrybucja	33
3.1. Magazynowanie wodoru	34
3.2. Przesył wodoru	36
3.3. Dystrybucja wodoru	36
3.4. Amoniak i ciekłe nośniki wodoru	37
4. Transport kluczem do rozwoju wodoru	39
4.1. Ogniwo paliwowe	40
4.2. Transport kolejowy	41
4.2.1. Krótka charakterystyka taboru kolejowego	43
4.2.2. Jak działa pojazd kolejowy na wodór?	43
4.2.3. Analizy kosztów napędu wodorowego w poszczególnych segmentach rynku pojazdów szynowych	46
4.2.4. Rynek pojazdów kolejowych w Polsce	50
4.2.5. Zalety wykorzystania napędu wodorowego na kolei	52
4.2.6. Wady wykorzystania napędu wodorowego na kolei	53
4.2.7. Case study – Coradia iLint	54
4.2.8. Case study: tramwaje wodorowe	55
4.2.9. Podsumowanie napędu wodorowego z perspektywy kolei	56
4.3. Miejski transport autobusowy	57
4.3.1. Alternatywne napędy w miejskich autobusach	58
4.3.2. Największe zalety napędu wodorowego dla komunikacji autobusowej	60

4.3.3. Wady napędu wodorowego w komunikacji miejskiej	62
4.3.4. Rynek autobusów miejskich w Polsce	63
4.3.5. Analiza szans ekonomicznych rozwoju autobusu wodorowego	65
4.3.6. Potencjał rynkowy	68
4.3.7. Niezbędna infrastruktura	68
4.3.8. Case study – Transport w Londynie	69
4.3.9. Wodorowe trolejbusy w Rydze	70
4.3.10. Nie tylko miasto: autobusy wodorowe w komunikacji międzymiastowej	71
4.3.11. Wodór w transporcie miejskim – podsumowanie	71
4.4. Możliwości i perspektywy zastosowania wodoru w transporcie drogowym	73
4.4.1. Infrastruktura – bariera w rozwoju mobilności opartej na wodorze	73
4.4.2. Porównanie kosztów inwestycji w infrastrukturę dla paliw alternatywnych	73
4.4.3. Transport osobowy	75
4.4.4. Drogowy transport towarowy	77
4.4.5. Podsumowanie – transport drogowy	80
4.5. Inne rodzaje transportu	81
 5. Przemysł, energetyka, budynki. Inne obszary wykorzystania wodoru	 83
5.1. Przemysł rafineryjny	85
5.2. Amoniak - zastosowanie w przemyśle nawozowym i transporcie morskim	86
5.3. Przemysł metalurgiczny	87
5.4. Przemysł hutniczy w Szwecji – case study	87
5.5. Energetyka i ciepłownictwo	87
5.6. Energia dla budynków	89
5.7. Kotły na wodór	89
5.8. Stacjonarne urządzenia mikrokogeneracyjne z ogniwami paliwowymi	90
 6. Strategie wodorowe w Europie i na świecie – jak wdrożyć technologię wodorową na szeroką skalę?	 93
6.1. 18 lat działań UE w obszarze wodoru	94
6.2. Założenia strategii UE i przyszłość zielonego wodoru	95
6.3. Trzy filary unijnej strategii integracji systemu energetycznego oraz założenia strategii w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu	97
6.4. Cztery główne obszary wsparcia wodoru	99
6.5. Strategia na rzecz zielonej, inteligentnej i przystępnej cenowo mobilności	100
6.6. Podsumowanie strategii UE	101
6.7. Strategie narodowe wybranych państw	101
6.7.1. Niemcy – tylko zielony wodór	101
6.7.2. Japonia – wodór jako narzędzie do zwiększenia niezależności energetycznej	102
6.7.3. Czechy – wsparcie bez formalnej strategii wodorowej	104

7. Regulacje prawne dotyczące wodoru	107
7.1. Prawo i założenia w Polsce	108
7.2. Wytwarzanie wodoru w elektrolizerach	109
7.3. Jakość paliw	110
7.4. Przesył wodoru	111
7.5. Stacje tankowania wodoru	112
7.6. Homologacja pojazdów	112
7.7. Zbiorniki	113
7.8. Rekomendacje dotyczące regulacji prawnych	114
8. Finansowanie inwestycji	117
8.1. Mechanizm IPCEI	119
8.2. Europejski Fundusz Inwestycji Strategicznych (EFIS)	119
8.3. Instrument <i>Łącząc Europę</i> (CEF)	120
8.4. Fundusz Innowacji	120
8.5. Fundusz Sprawiedliwej Transformacji (FST)	120
8.6. NFOŚiGW i zakup autobusów na wodór w latach 2021-2025	121
8.7. NCBiR	121
9. Podsumowanie i rekomendacje	123
10. Wodór w pytaniach i odpowiedziach dla użytkownika	127

Lista skrótów

ACEA

Europejskie Stowarzyszenie Producentów Pojazdów
(z fr. *Association des Constructeurs Européens d'Automobiles*)

AFID

Dyrektywa Parlamentu UE w sprawie rozwoju
infrastruktury paliw alternatywnych
(z ang. *Alternative Fuels Infrastructure Directive*)

ATR

Reformowanie autotermiczne
(z ang. *Autothermal Reforming*)

BEMU

Baterijny zespół trakcyjny (z ang. *Battery Electric Multiple Unit*)

bar

Jednostka miary ciśnienia spoza układu SI, 1 bar = 0,1 MPa

BTX

Związki aromatyczne
(z ang. *Benzene, Toluene, Xylene isomers*)

CAPEX

Wydatki inwestycyjne (z ang. *Capital expenditures*)

CCGT

Układ gazowo-parowy z turbiną gazową i parową
(z ang. *Combined Cycle Gas Turbine*)

CCS

Wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla
(z ang. *Carbon Capture and Storage*)

CCU

Wychwytywanie i wykorzystanie dwutlenku węgla
(z ang. *Carbon Capture Utilisation*)

CCUS

Wychwytywanie, utylizacja i składowanie dwutlenku węgla
(z ang. *Carbon Capture, Utilisation and Storage*)

CEF

Instrument Łącząc Europę (z ang. *Connecting Europe Facility*)

CHIC

Europejski projekt demonstracyjny czystego wodoru
(z ang. *Clean Hydrogen in European Cities*)

CHP

Kogeneracja, jednoczesna produkcja energii elektrycznej
i ciepła (z ang. *Combined Heat and Power*)

CNG

Sprężony gaz ziemny (z ang. *Compressed Natural Gas*)

DMC

Dopuszczalna Masa Całkowita

EJ

Eksadżul, 1 EJ = 10^{18} J (dżula), jednostka energii używana
do bilansowania energii w skali światowej,
1 EJ = 277,778 TWh = 23,885 mln toe

EOR

Intensyfikacja wydobywania ropy (z ang. *Enhanced Oil Recovery*)

ERA

Europejska przestrzeń badawcza (z ang. *European Research Area*)

EZT

Elektryczny Zespół Trakcyjny

FCEV

Pojazd elektryczny z ogniwami paliwowymi
(z ang. *Fuel cell electric vehicle*)

FCH

Pojazd zasilany wodorowymi ogniwami paliwowymi

(z ang. *Fuel Cell Hydrogen*)

FCHJU

Przedsięwzięcie publiczno-prywatne wspierające rozwój technologii wodorowych i ogniw paliwowych

(z ang. *Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*)

FNT

Fundusz Niskoemisyjnego Transportu

Gt

Gigatona (10^9 tony)

GW

Gigawat (10^9 wat)

IEA

Międzynarodowa Agencja Energetyczna

(z ang. *International Energy Agency*)

IRENA

Międzynarodowa Agencja Energii Odnawialnej

(z ang. *The International Renewable Energy Agency*)

JHFC

Japoński demonstracyjny program wykorzystania wodoru i ogniw paliwowych (z ang. *Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project*)

KE

Komisja Europejska

kWh

Kilowatogodzina, jednostka energii, używana głównie dla energii elektrycznej $1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}$

LCOH

Uśredniony koszt wytwarzania wodoru

(z ang. *Levelized cost of hydrogen*)

LHS

Linia Hutnicza Szerokotorowa

LNG

Ciekły gaz ziemny (z ang. *Liquefied Natural Gas*)

LOHC

Płynny, organiczny nośnik wodoru

(z ang. *Liquid Organic Hydrogen Carrier*)

mikro-CHP

Mikrogeneracja (z ang. *Micro Combined Heat and Power*), przyjmuje się, że obejmuje instalacje o mocy do 50 kW.

MPa

Megapaskal, jednostka ciśnienia. $1 \text{ MPa} = 10 \text{ barów}$.

MW

Megawat

MWh

Megawatogodzina, $1 \text{ MWh} = 1000 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ} = 0,086 \text{ toe}$

NFOŚiGW

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

NH₃

Amoniak

NO_x

Tlenki azotu

OCGT

Blok gazowy w cyklu otwartym (z ang. *Open Cycle Gas Turbine*)

OPEX

Wydatki operacyjne (z ang. *Operating Expenditures*)

OZE

Odnawialne Źródła Energii

P2G

Technologia magazynowania energii elektrycznej
w gazie (z ang. *Power to Gas*)

PEMFC

Ogniwo paliwowe z membraną do wymiany protonów
(z ang. *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*)

PGNiG

Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo

PKN

Polski Koncern Naftowy

PKP PLK

PKP Polskie Linie Kolejowe

PLN

Złoty polski

ppm

Liczba części na milion
(z ang. *parts per million*)

SEK

Korona szwedzka

SMR

Reforming parowy gazu ziemnego
(z ang. *Steam Methane Reforming*)

SOFC

Stałotlenkowe ogniwa paliwowe
(z ang. *Solid oxide fuel cell*)

SUC

Specjalistyczne Urządzenia Ciśnieniowe (rozporządzenie
o SUC)

SZT

Spalinowy Zespół Trakcyjny

T&E

Federacja europejskich organizacji działających w obszarze
transportu i środowiska (z ang. *Transport & Environment*)

TCO

Całkowity koszt posiadania
(z ang. *Total Cost of Ownership*)

TDT

Transportowy Dozór Techniczny

TEN-T

Transeuropejska sieć transportowa
(z ang. *Trans European Transport Networks*)

TfL

Organizator transportu publicznego w Londynie
(z ang. *Transport for London*)

toe

Tona oleju ekwiwalentnego, jednostka energii popularna
w przemyśle naftowym i w krajach o dominacji energetyki opartej
na oleju napędowym, 1 toe = 41,868 MJ = 11,630 MWh; 1 mln toe
= 11,63 TWh

TWh

Terawatogodzina, jednostka energii używana głównie
w elektro-energetyce, 1 TWh = 1 mld kWh = 0,0036
EJ = 85 984,523 toe

UE

Unia Europejska

USD

Dolar amerykański

UTK

Urząd Transportu Kolejowego

ZDG TOR

Zespół Doradców Gospodarczych TOR

Executive summary

Wyzwania związane ze zmianami klimatu, przekształceniami w otoczeniu ekonomiczno-społecznym i coraz bardziej rygorystyczną polityką klimatyczną Unii Europejskiej będą prowadziły do wzrostu znaczenia energii pozyskiwanej z odnawialnych źródeł (OZE). Jednocześnie, planowane osiągnięcie neutralności klimatycznej będzie wymagało znacznych nakładów inwestycyjnych i wdrożenia nowych technologii, w tym wodorowych. Wodór stanowi rozwiązanie uniwersalne i elastyczne. Może być nośnikiem energii niskoemisyjnej lub całkowicie wolnej od emisji CO₂ i może być efektywnie wykorzystany do pełnej transformacji w różnych gałęziach gospodarki. Polska produkuje ok. miliona ton wodoru rocznie, co daje nam trzecie miejsce w Europie. W przyszłości, po odpowiednim oczyszczeniu, wodór na cele transportowe może być sprzedawany do innych krajów.

Wodór produkowany z OZE to również sposób na magazynowanie czasowych nadwyżek energii ze źródeł odnawialnych. Zmiana systemowa wymaga jednak znacznego rozwoju zwłaszcza energetyki wiatrowej i słonecznej. Decydujące znaczenie w tym zakresie będzie miała polityka regulacyjna wspierająca technologie nisko- i zeroemisyjne. Bez odpowiedniego wsparcia, zwłaszcza finansowego, wodór nie będzie konkurencyjny wobec paliw kopalnych, a jego zastosowanie będzie niszowe.

Jednym z głównych impulsów dla rozwoju nowych technologii wodorowych w Polsce powinien stać się transport, zwłaszcza publiczny – kolejowy i miejski – autobusowy. Władze samorządowe i producenci mogą w tym zakresie skorzystać z programów rozwojowych oraz inwestycyjnych. Potrzebny jest jednak rozwój infrastruktury do produkcji, przesyłu oraz dystrybucji wodoru.

Transport kolejowy

W Polsce napęd wodorowy na kolei może okazać się opłacalny w niedalekiej przyszłości w kilku przypadkach. Po pierwsze, chodzi o zespoły trakcyjne przeznaczone do obsługi średniej długości tras całkowicie lub częściowo niezelektryfikowanych.

Po drugie - lokomotywy manewrowe wykorzystywane na dużych, niezelektryfikowanych stacjach lub bocznicach o dużym obciążeniu ruchem kolejowym i z dostępem do wodoru.

Po trzecie – być może – na niezelektryfikowanej linii towarowej, o umiarkowanej liczbie pociągów na dobę i przystosowanej do dużego obciążenia (PKP LHS). Przy analizie inwestycji w tabor kolejowy zasilany wodorem warto również uwzględnić korzyści dla gospodarki wynikające ze wzrostu potencjału eksportowego krajowych producentów pojazdów szynowych.

Transport autobusowy miejski i międzymiastowy

Według prognoz, całkowity koszt posiadania (TCO) w przypadku pojazdów zasilanych wodorowymi ogniwami paliwowymi już w ciągu najbliższej dekady może stać się niższy niż w przypadku autobusów elektrycznych i konwencjonalnych autobusów spalinowych. Wraz z rozwojem rynku maleć będą także koszty stacji tankowania wodoru, tymczasem w przypadku autobusów elektrycznych dodatkowe obciążenie sieci energetycznej wpłynie na znaczący wzrost kosztów infrastruktury.

Drogowy transport ciężarowy

Drogowy transport ciężarowy należy do perspektywicznych branż, jeśli chodzi o masowe zastosowanie wodoru. Dotyczy to zwłaszcza pojazdów obsługujących trasy długodystansowe, szczególnie międzynarodowe. Wodór eliminuje barierę, którą dla elektrycznych pojazdów bateryjnych stanowi mały zasięg wynikający z ograniczonej masy baterii i długiego czasu ładowania. Zastosowanie wodoru na długich dystansach wymaga jednak znacznych inwestycji w rozwój infrastruktury i zachęt dla użytkowników flotowych.

Inne zastosowania wodoru

Przemysł zużywa jedną czwartą światowej produkcji energii, która w 70 proc. pochodzi z paliw kopalnych. Środkiem do redukcji generowanych przy tej okazji emisji CO₂ może być szersze zastosowanie wodoru. Oprócz tradycyjnych gałęzi przemysłu – rafineryjnego, petrochemicznego, chemicznego i nawozowego – może ono rosnąć również w tych branżach, które w procesach produkcyjnych wymagają stosowania wysokich temperatur – zwłaszcza w przemyśle metalurgicznym.

Wodór może być wykorzystywany także do produkcji energii elektrycznej i ogrzewania budynków z wykorzystaniem mikroinstalacji kogeneracyjnych (mikro-CHP). Prawdopodobnie żadna z opcji wykorzystania niskoemisyjnego lub zeroemisyjnego wodoru nie zrówna się jednak w perspektywie najbliższych dekad z kosztem gazu ziemnego.

Z kolei kotły wodorowe mogłyby konkurować z ogrzewaniem gazem ziemnym tylko wtedy, gdy koszt wodoru spadnie poniżej 1 USD/kg. Dlatego podstawowe znaczenie dla rozwoju technologii wodorowych w tym zakresie będą miały systemy wsparcia i polityka regulacyjna wspierająca technologie niskoemisyjne.

Rekomendacje

Powstająca Polska Strategia Wodorowa powinna umożliwić stworzenie łańcucha wartości dla wprowadzanych technologii wodorowych. Jednocześnie poszczególne rozwiązania (jak dofinansowanie zeroemisyjnych pojazdów transportu publicznego, stacji ładowania wodorem czy projektów badawczo-rozwojowych) można wprowadzać (podobnie jak w Czechach) równolegle do prac strategicznych i regulacyjnych. Ich celem powinno być ułatwienie planowania i realizacji inwestycji przy zapewnieniu bezpieczeństwa na każdym etapie łańcucha dostaw.

Kluczem do sukcesu nowej technologii, która może być szansą umożliwiającą Polsce realizację zobowiązań klimatycznych i zmniejszenie zanieczyszczeń powietrza, będzie jednak system wsparcia, który w pierwszej kolejności warto skierować do transportu, zwłaszcza publicznego oraz infrastruktury tankowania.



WPROWADZENIE

1. Wprowadzenie

Możliwości zastosowania wodoru w przemyśle i transporcie badane były od XIX wieku¹. Wodór używany był do zasilania wczesnych silników spalinowych już ponad 200 lat temu, stosowany był także do podnoszenia balonów i statków powietrznych. Zastosowanie wodoru do produkcji nawozów umożliwiło zwiększenie globalnej produkcji żywności. Od połowy XX wieku wodór jest również stosowany w rafinacji ropy naftowej do celów uwodornienia².

Gaz ten może być spalany bezpośrednio oraz wykorzystywany w ogniwach paliwowych. Może również zapewniać magazynowanie energii z odnawialnych źródeł i dalej służyć do bilansowania systemu energetycznego. Stosowany jest także w procesach przemysłowych – w rafineriach, przemyśle metalurgicznym i nawozowym. Jako nośnik energii charakteryzuje się dużą elastycznością, ponieważ wodór może zostać przekształcony w energię elektryczną i odwrotnie – energia elektryczna może zostać zamieniona w wodór. Wodór to gaz bezwonny, bezbarwny, bez smaku i lżejszy od powietrza. Charakteryzuje się najwyższym wśród gazów współczynnikiem przewodzenia ciepła. Wysoka wartość opałowa wodoru sprawia, że jest on jednym z najefektywniejszych nośników energii. Reagując z tlenem, uwalnia energię, nie zanieczyszczając środowiska – efektem spalania czystego wodoru jest wyłącznie woda.

Wodór jest wyjątkowo efektywnym nośnikiem energii.
Efektem spalania zielonego wodoru jest wyłącznie woda.

Z drugiej strony jest najlżejszym pierwiastkiem, a zatem ma niską gęstość energii na jednostkę objętości. Gęstość energetyczna wodoru w postaci ciekłej w jednostce objętości jest porównywalna do gazu ziemnego, natomiast w postaci gazowej zależy od stopnia sprężenia. Gęstość energetyczna (ilość energii na jednostkę masy), w temperaturze pokojowej przy ciśnieniu 1013 hPa, wynosi zaś ok. 120 MJ/kg to jest 33,23 kWh/kg, a więc jest ok. dwuipółkrotnie większa niż w przypadku gazu ziemnego (49 MJ/kg, czyli 13,6 kWh/kg).

Wodór ze względu na swoje właściwości ma wiele potencjalnych zastosowań, m.in. w transporcie, energetyce, ciepłownictwie i przemyśle. Rocznie na świecie zużywa się 70 mln ton wodoru, głównie do rafinacji ropy naftowej i produkcji amoniaku w przemyśle nawozowym. Wodór jest wykorzystywany w przemyśle także bez uprzedniej separacji od innych gazów. Rocznie na świecie wytwarza się 120 mln ton wodoru, z czego dwie trzecie to wodór produkowany w dedykowanych instalacjach, a jedna trzecia w mieszaninie z innymi gazami. Odpowiada to 14,4 EJ, czyli 4 tys. TWh energii, co według Agencji IRENA stanowi ok. 4 proc. światowego zużycia na cele energetyczne i nieenergetyczne³.

Zapotrzebowanie na wodór rośnie ze względu na politykę walki z ociepleniem klimatu oraz wszechstronność zastosowań, jakie oferuje, zwłaszcza w transporcie, przemyśle i do ogrzewania budynków. Wzrost popytu będzie generował zwiększenie produkcji wodoru, w tym z odnawialnych źródeł energii.

1 J. P. Nowacki, *Wodór - nowy wektor energii*, PWN Warszawa, 1966.

2 IEA, *Energy Technology Perspectives 2020* <https://webstore.iea.org/energy-technology-perspectives-2020> (dostęp 29.09.2020).

3 *Hydrogen: a renewable energy perspective*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019 (dalej: IRENA 2019)

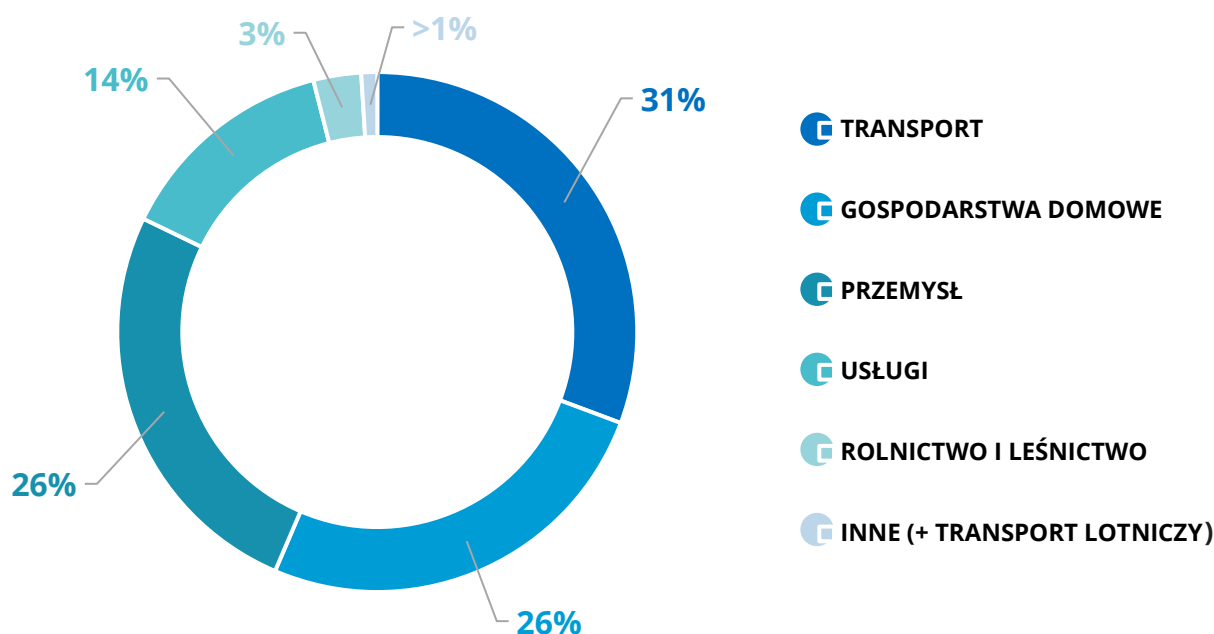
1.1. Kontekst energetyczny

Głównym źródłem energii pierwotnej na świecie jest ropa i produkty ropopochodne, na kolejnym miejscu jest węgiel kamienny. Podczas gdy udział węgla w światowym miksie energetycznym spada, zyskują na znaczeniu odnawialne źródła energii (OZE).

Unijny system energetyczny w przeważającej części opiera się obecnie na paliwach kopalnych. Zużycie energii brutto w Unii Europejskiej (27 państw) wyniosło w 2018 roku ok. 11 500 TWh (990 mln toe⁴). Największy udział w konsumpcji energii ma ropa i produkty ropopochodne – 36,7 proc., a z sektorów pierwsze miejsce zajmuje transport.

Udział energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych (OZE), liczony jako końcowe zużycie energii, wyniósł w UE, w 2018 roku 18,9 proc.

Końcowe zużycie energii z podziałem na sektory



Źródło: Eurostat, 2020⁵

W planach jest stopniowe zwiększanie udziału OZE w miksie energetycznym. Najbliższy cel – 20 proc. wyznaczony na 2020 rok⁶ – zostanie najprawdopodobniej osiągnięty solidarnie przez państwa Unii Europejskiej, choć prawdopodobnie nie wszystkie kraje zrealizują swoje indywidualne cele⁷. Cel udziału OZE na 2030 rok wynosi 32 proc.⁸.

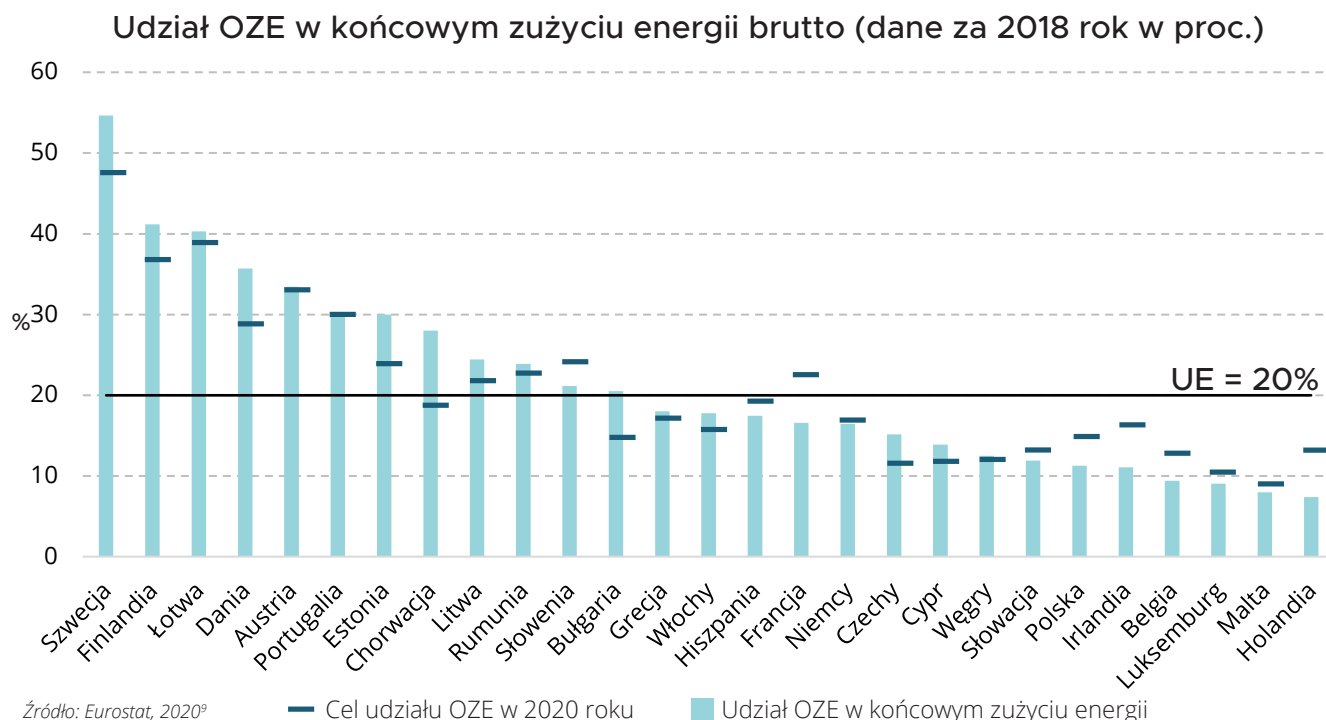
4 Dane wg Eurostat www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_34/default/table?lang=en

5 Energy statistics – an overview www.ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/29046.pdf (dostęp 29.09.2020)

6 Cel ten wyznaczono w dyrektywie w sprawie odnawialnych źródeł energii przyjętej 23 kwietnia 2009 roku w procedurze współdecyzji (dyrektywa 2009/28/WE uchylająca dyrektywy 2001/77/WE i 2003/30/WE). Ustanowiono, że do 2020 roku 20 proc. łącznego zużycia energii w UE musi obowiązkowo pochodzić ze źródeł odnawialnych.

7 Trends and projections in Europe 2019. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets, European Environmental Agency, 2019.

8 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.



Transformacja energetyczna w UE przebiega najszybciej w sektorze elektroenergetycznym, gdzie udział OZE w konsumpcji energii elektrycznej brutto przekroczył w 2018 roku 32 proc. Dla porównania, udział OZE w ciepłownictwie wyniósł 21 proc., a w transporcie – 8,3 proc.¹⁰.

1.2. Wodór jako nośnik energii

Hydrogen Council, globalna inicjatywa firm branży energetycznej, transportowej i przemysłowej, ocenia potencjał konsumpcji wodoru w 2050 roku na 78 EJ, czyli ok. 21,7 tys. TWh, co wedle jej oceny zaspokoiłoby 18 proc. światowego zapotrzebowania na energię¹¹.

Ambitny scenariusz dla Unii Europejskiej zakłada, że wodór mógłby odpowiadać w 2050 roku za 24 proc. dostarczonej energii, co przekłada się na 2250 TWh. Obecnie jest to ok. 2 proc. – 339 TWh. W scenariuszu bazowym (business as usual) w 2030 roku UE będzie zużywała 4 proc. energii z wodoru – ponad 480 TWh, natomiast przyjmując ambitniejszy rozwój rynku będzie to 6 proc. końcowego zapotrzebowania na energię – 665 TWh¹².

Wodór produkowany przy udziale OZE to sposób na magazynowanie czasowych nadwyżek energii ze źródeł odnawialnych. Zmiana systemowa wymaga jednak znacznego rozwoju energetyki wiatrowej i słonecznej. Gdyby cały obecnie produkowany wodór miał powstać w procesie elektrolizy, to zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrosłoby o 3 600 TWh – więcej niż roczna produkcja energii elektrycznej w Unii Europejskiej¹³.

⁹ Eurostat, 2020, www.ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Share_of_energy_from_renewable_sources_2018_infograph.jpg (dostęp 29.09.2020).

¹⁰ Wg danych Eurostat.

¹¹ *Hydrogen Scaling up*, Hydrogen Council, 2017.

¹² *Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*, Publications Office of the European Union, Luksemburg, 2019.

¹³ IEA 2019.

WPROWADZENIE

Według Międzynarodowej Agencji Energii Odnawialnej (IRENA) w 2050 roku w energetyce będzie wykorzystywane łącznie 19 EJ (równowartość 5280 TWh) wodoru pozyskiwanego z odnawialnych źródeł. To oznacza zainstalowanie elektrolizerów o mocy ok. 700 GW do 2030 roku i 1700 GW do 2050 roku. W 2050 roku potrzeba będzie 4 000 - 16 000 GW energii słonecznej i wiatrowej do produkcji wodoru i produktów na bazie wodoru. Dla porównania, dzisiejsza globalna moc wytwórcza wynosi 7 000 GW przy 1 000 GW mocy słonecznej i wiatrowej¹⁴.

Globalna produkcja wodoru sięga w tej chwili ok. 74 mln ton rocznie, z czego większość wytwarzają Stany Zjednoczone oraz Unia Europejska¹⁵. Aby wesprzeć koncepcję wytwarzania zielonego wodoru za pomocą elektrolizy, wymagane będzie zwiększenie produkcji energii z OZE, która w 2019 roku w Unii Europejskiej przekroczyła 1100 TWh.

1.3. Wodór w polskim systemie energetycznym

Polska jest trzecim pod względem wielkości producentem wodoru w Unii Europejskiej. Moce produkcyjne wynoszą ok. 1,3 mln ton rocznie, co odpowiada 11 proc. zdolności produkcyjnych wodoru w Unii Europejskiej¹⁶. Głównymi producentami wodoru w Polsce są: Grupa Azoty, PKN ORLEN i Grupa Lotos. Obecnie wodór jest wykorzystywany głównie w rafineriach, przemyśle nawozowym i chemicznym. Ma się to zmienić w najbliższych latach, kiedy spodziewane jest wybudowanie pierwszych stacji tankowania wodoru.

W Polsce głównym źródłem energii jest węgiel – jego udział w krajowym zużyciu energii brutto wyniósł w 2018 roku ponad 46 proc¹⁷. Jest to największy udział spośród wszystkich krajów UE. Węgiel jest stosowany jako główne paliwo w elektroenergetyce – w 2019 roku jego udział w produkcji energii elektrycznej wyniósł prawie 74 proc¹⁸. Węgiel dominuje też w sektorze ciepłowniczym – odpowiada za prawie 73 proc. produkcji ciepła systemowego i 48 proc. w ogrzewaniu indywidualnym¹⁹.

Rozwój OZE, który dokonał się w ostatnich latach, nie wystarczy prawdopodobnie do osiągnięcia obowiązkowego na 2020 rok celu, który w przypadku Polski wynosi 15 proc. W 2018 roku udział ten wyniósł 11,3 proc. Cel, który przedstawił polski rząd na 2030 rok, to udział OZE na poziomie co najmniej 21 proc²⁰. Jednym z rozwiązań, które ułatwi rozwój energetyki odnawialnej i umożliwi magazynowanie nadwyżek energii, zwłaszcza w okresowych szczytach produkcji – jest wodór.

14 IRENA 2019.

15 IRENA 2019

16 *Clean Hydrogen Monitor 2020*, Hydrogen Europe <https://hydrogeneurope.eu/events/hydrogen-europe-clean-hydrogen-monitor-2020> (dostęp 16.10.2020).

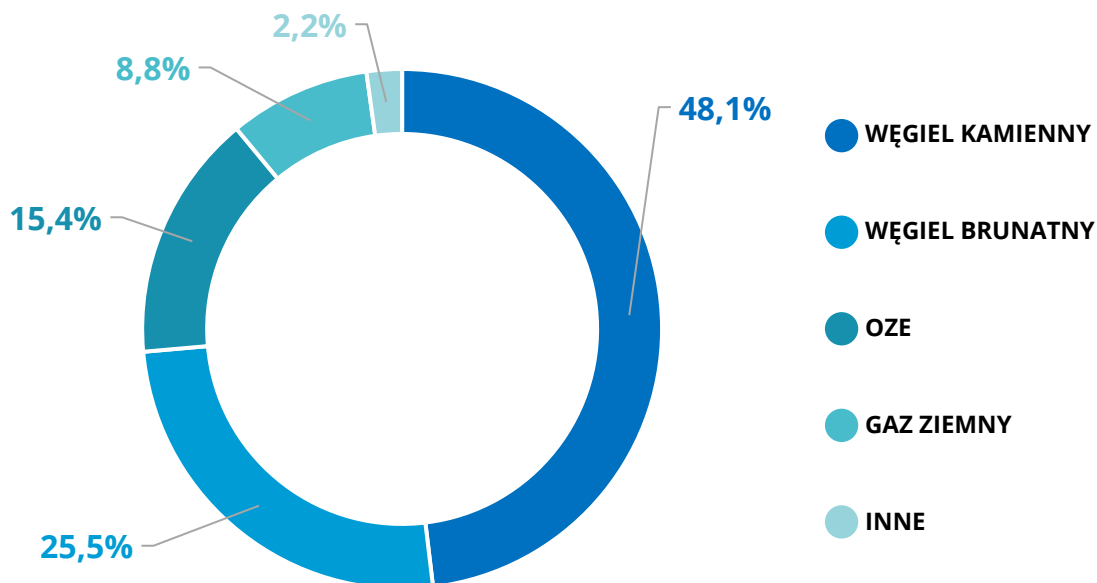
17 Eurostat.

18 *Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2020*, „Forum Energii”, 11 marca 2020.

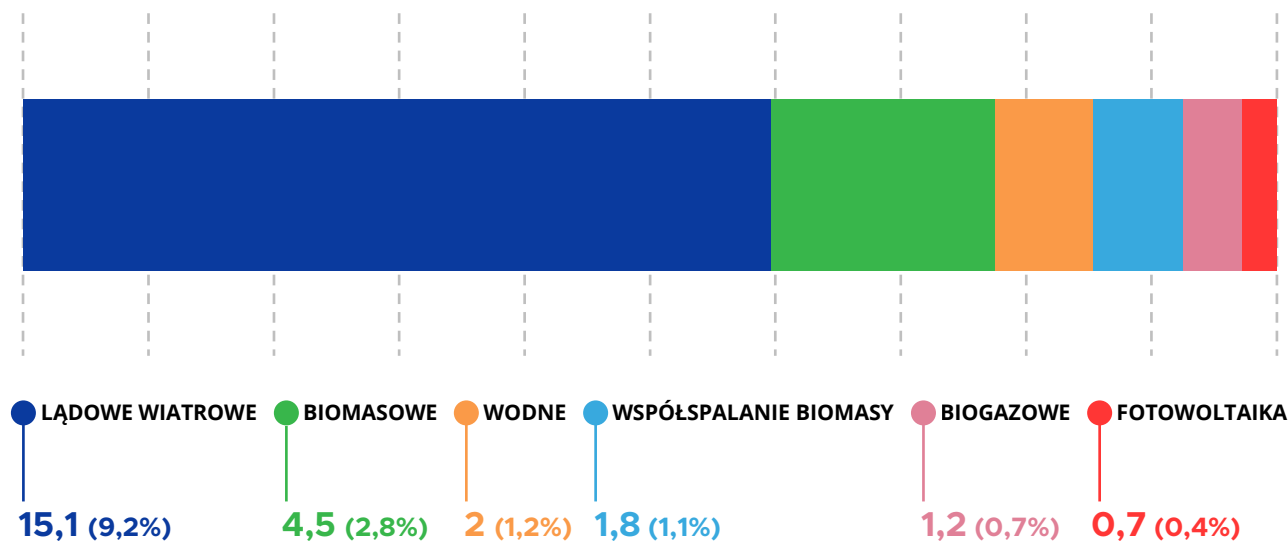
19 *Ciepłownictwo, 2019*, „Forum Energii”, 16 grudnia 2019.

20 *Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030 przekazany do KE* www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu-na-lata-2021-2030-przekazany-do-ke (dostęp 29.09.2020).

Produkcja energii elektrycznej w Polsce w 2019 roku (w TWh)



Udział OZE w produkcji elektrycznej



Źródło: Forum Energii, 2020

Zeroemisyjny wodór wpisuje się w politykę dekarbonizacyjną Unii Europejskiej i ambitny cel, jakim jest osiągnięcie neutralności klimatycznej w 2050 roku. Jeśli wprowadzone zostaną korzystne regulacje prawne oraz zachęty finansowe, które pozwolą na znaczną refundację kosztów inwestycyjnych, wdrożenie technologii wodorowych może ułatwić osiągnięcie celów klimatycznych Polski.



*Do 2030 roku 21 proc. energii
w Polsce ma pochodzić
z odnawialnych źródeł.*

*Wodór może pomóc
w osiągnięciu tego celu.*



PRODUKCJA

2. Produkcja

Wodór można wytwarzać przy użyciu wielu źródeł energii i różnych technologii. Klasyczne metody produkcji wodoru to reforming gazu ziemnego, gazyfikacja węgla i elektroliza wody. Wodór może być wytwarzany także z gazu koksowniczego, poprzez przetwarzanie zgazyfikowanych odpadów, biomasy, jak również paliw ciekłych – nafty, ciężkich olejów, odpadów porafineryjnych. Wodór, zwany odpadowym, jest z kolei produktem ubocznym powstającym w procesach chemicznych. Możliwe jest także wykorzystanie energii z elektrowni jądrowej do produkcji wodoru w procesie elektrolizy. Inną formą produkcji może być piroliza metanowa, w której metan jest rozbijany w dużych temperaturach do wodoru i węgla stałego.

Głównym źródłem energii w światowej produkcji wodoru są paliwa kopalne. Na ten cel przeznacza się 6 proc. zużywanego na świecie gazu ziemnego i 2 proc. węgla. Gaz ziemny odpowiada za ok. 76 proc. produkcji wodoru, węgiel – za 23 proc. Pozostała część uzyskiwana jest z ropy i energii elektrycznej²¹. Zdecydowana większość wodoru jest obecnie produkowana i wykorzystywana jako surowiec w przemyśle (*por. 5 Przemysł...*). W Unii Europejskiej 90 proc. wytwarzanego wodoru jest zużywane w rafineriach, przy produkcji amoniaku i do wytwarzania metanolu²².

2.1. Produkcja wodoru z paliw kopalnych

Wodór pozyskiwany z paliw kopalnych, najczęściej z gazu ziemnego, nazywany jest *szarym*. Najpopularniejszą i najtańszą metodą jego uzyskiwania jest reforming parowy gazu ziemnego (SMR – z ang. *Steam Methane Reforming*), rzadziej reformowanie autotermiczne (ATR – z ang. *Autothermal Reforming*).

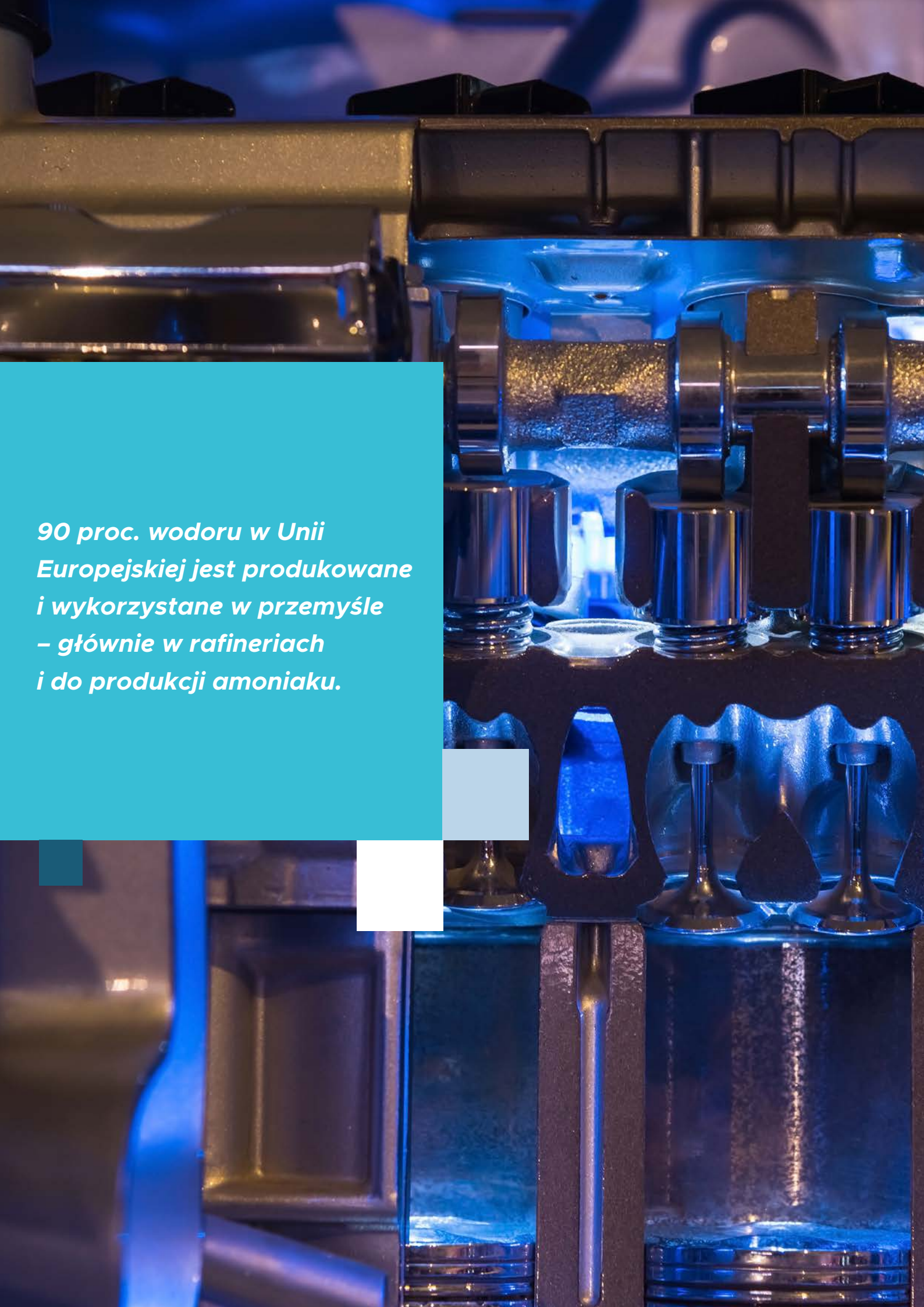
Obecnie najtańszą i najpopularniejszą metodą produkcji wodoru jest reforming parowy gazu ziemnego, ale UE zakłada, że koszty produkcji wodoru szarego i zielonego wyrównają się do 2030 roku.

Według raportu Międzynarodowej Agencji Energii, koszt produkcji wodoru w procesie SMR wynosi ok. 0,9 – 2,5 USD/kg H₂ i jest najtańszy w regionach bogatych w zasoby taniego gazu – krajach Bliskiego Wschodu i Stanach Zjednoczonych²³. Strategia wodorowa UE szacuje koszty produkcji wodoru z paliw kopalnych w Unii Europejskiej na ok. 1,5 EUR/kg. Koszt ten zależy w dużej mierze od cen gazu ziemnego, przy czym nie uwzględnia opłat za prawa do emisji CO₂.

²¹ *The future of hydrogen*, International Energy Agency, Paryż, 2019. (dalej: IEA 2019)

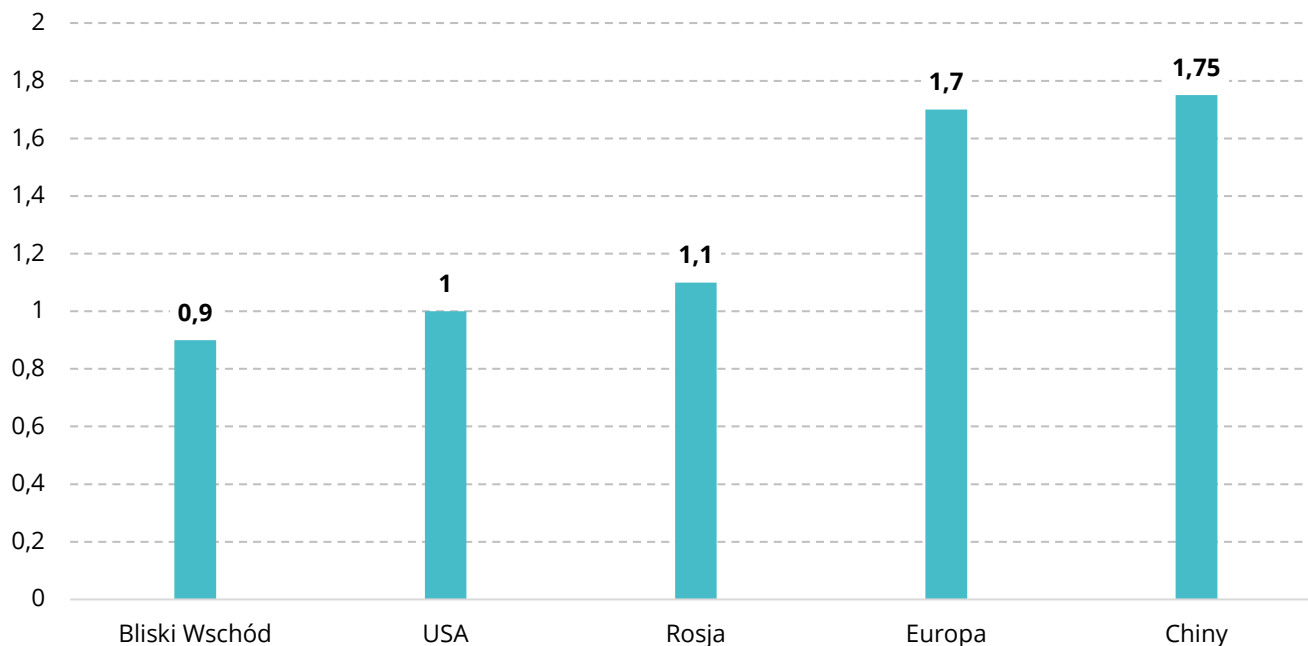
²² IRENA 2019.

²³ *Ibidem*.

A close-up photograph of industrial machinery, likely a hydrogen production or processing unit. The image is dominated by blue and white light, creating a high-tech, futuristic atmosphere. The machinery features various pipes, valves, and cylindrical components. A prominent blue light source illuminates the scene, casting strong shadows and highlighting the metallic surfaces. The background is dark, making the illuminated parts stand out. The overall composition is technical and industrial.

90 proc. wodoru w Unii Europejskiej jest produkowane i wykorzystane w przemyśle – głównie w rafineriach i do produkcji amoniaku.

Koszty produkcji wodoru z gazu ziemnego w zależności od regionu w 2018 roku (USD/kg H₂; bez kosztów CCUS)



Źródło: IEA, 2020²⁴

Przy produkcji szarego wodoru następuje znacząca emisja dwutlenku węgla: z gazu ziemnego ok. 10 t CO₂/t H₂, z produktów ropopochodnych 6-12 t CO₂/t H₂, a z węgla aż 19 t CO₂/t H₂. Wykorzystanie paliw kopalnych powoduje, że w skali świata roczna emisja CO₂ z produkcji wodoru wynosi 830 mln ton, co odpowiada ok. 2,5 proc. światowej emisji dwutlenku węgla ze spalania paliw²⁵. Dlatego, w celu uzyskania korzyści klimatycznych, wodór szary musi zostać zastąpiony - w okresie przejściowym wodorem niebieskim, a docelowo - zielonym.

2.2. Wodór odpadowy

Wodór, który powstaje w procesach przemysłowych, może mieć charakter odpadowy. Z reguły wykorzystuje się go wewnętrznie, np. jako gaz opałowy. Można go sprzedawać do celów uwodornienia. Wodór odpadowy można odzyskać, jednak aby mógł zostać wykorzystany poza zakładem, np. do zasilania środków transportu, musi przejść procedurę doczyszczania. Wodór powstaje jako produkt uboczny m.in. przy produkcji chloru, która składa się z trzech głównych procesów: oczyszczania solanki, elektrolizy i krystalizacji. Jest to proces elektrochemiczny, w którym jako surowce wykorzystuje się wysokiej jakości chlorek sodu i wodę oraz znaczną ilość energii elektrycznej do zasilania ogniw elektrolitycznych. Jako produkt uboczny w ogniwach elektrolitycznych powstaje wodór.

Wodór jest także produktem ubocznym przy produkcji styrenu i etylenu. Podstawową metodą otrzymywania styrenu jest odwodornienie etylobenzenu. Etylen jest otrzymywany głównie w procesie krakingu parowego, reakcję odwodornienia można prowadzić też metodą krakingu katalitycznego. Większość produkcji etylenu pochodzi z przerobu benzyny ciężkiej²⁶. Wodór

²⁴ Dane wg wyliczeń IEA www.iea.org/data-and-statistics/charts/hydrogen-production-costs-using-natural-gas-in-selected-regions-2018-2 (dostęp 29.09.2020).

²⁵ IEA 2019.

²⁶ M. Mihałka, *Charakterystyka technologiczna wielkotonażowych związków organicznych w Unii Europejskiej*, Ministerstwo Środowiska, 2003

stanowi główny składnik gazu koksowniczego, który jest produktem ubocznym procesu koksowania węgla. Gaz koksowniczy stanowi mieszaninę wodoru (55-65 proc.) i metanu, tlenku węgla, dwutlenku węgla i azotu. Jest wykorzystywany w hutnictwie. Tylko w rzadkich przypadkach wodór ekstrahowany z gazu koksowniczego jest używany jako oddzielny produkt²⁷.

2.3. Produkcja wodoru z paliw kopalnych z zastosowaniem technologii CCS/CCUS

Dekarbonizacja procesów produkcji wodoru opartych na paliwach kopalnych jest dużym wyzwaniem. Jedną z możliwości jest produkcja wodoru z paliw kopalnych z wychwytywaniem dwutlenku węgla i jego składowaniem – CCS (z ang. *Carbon Capture and Storage*) lub ponownym wykorzystaniem – CCU (z ang. *Carbon Capture Utilisation*) oraz wykorzystaniem i magazynowaniem, w skrócie CCUS. W ten sposób uzyskuje się, tak zwany *niebieski* wodór, uznawany za niskoemisyjny.

Wychwytywanie CO₂ może odbywać się na kilka sposobów - można oddzielić CO₂ od strumienia gazu syntezowego lub wychwycić z gazów spalinowych. W Unii Europejskiej w 2018 roku działały dwa zakłady produkcji wodoru, gdzie wykorzystuje się technologię CCUS – w Port-Jérôme we Francji i w rafinerii Shell w Rotterdamie²⁸.

Instalację w Port-Jérôme uruchomił w 2015 roku Air Liquide. Wychwytuje ona CO₂ uwalniany podczas produkcji wodoru dostarczanego do rafinerii Esso Raffinage SAF (grupa ExxonMobil). Stosowana technologia Cryocap umożliwia wychwytywanie CO₂ emitowanego podczas reformingu gazu ziemnego. Proces kriogeniczny wykorzystuje niskie temperatury do sprężania, skroplenia, a następnie podczas procesu SMR dochodzi do rozdzielenia gazów.

Pozwala to na wychwycenie ok. 97 proc. emisji oraz zwiększa wydajność produkcji wodoru o 10-15 proc. Skroplony CO₂, po oczyszczeniu, jest dostarczany do lokalnych zakładów produkcji napojów. W praktyce instalacja wychwytuje ok. 55 proc. CO₂ z powodu niewystarczającego zapotrzebowania na CO₂ u odbiorców²⁹.

Produkcja niebieskiego wodoru z paliw kopalnych jest obecnie na świecie niszowa – wynosi ok. 0,5 mln ton rocznie³⁰. Koszt produkcji wodoru z paliw kopalnych z wykorzystaniem technologii CCUS został oszacowany w unijnej strategii na ok. 2 EUR/kg. Koszty produkcji *niebieskiego wodoru* uzyskiwanego w procesie CCUS z *szarym* zrównają się, kiedy ceny uprawnień do emisji CO₂ osiągną poziom 50-90 EUR/tonę³¹.

27 Hydrogen Europe, *Clean Hydrogen Monitor*, 2020.

28 *Ibidem*.

29 *Ibidem*.

30 IEA 2019.

31 *A hydrogen strategy for climate-neutral Europe*, European Commission, Bruksela, 08.07.2020.

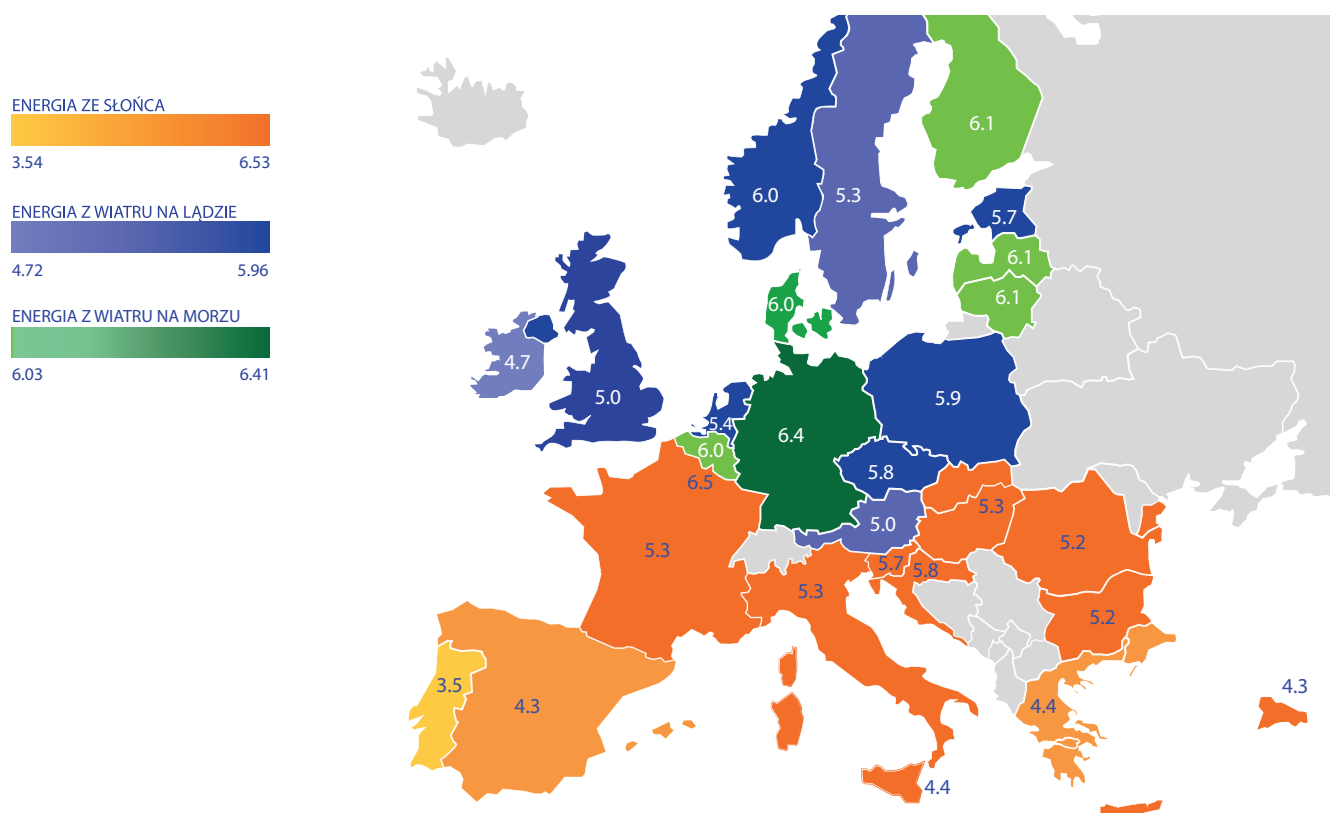
2.4. Wodór produkowany z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii

Produkcja wodoru może być wolna od emisji CO₂, jeśli wykorzystuje się do niej energię odnawialną. Odnawialny wodór może być również produkowany poprzez elektrolizę i reforming biometanu (zamiast gazu ziemnego) lub zgazowania biomasy, która spełnia wymogi zrównoważonego rozwoju. Taki wodór określa się mianem *zielonego*.

Jest wiele możliwości pozyskiwania energii odnawialnej do uzyskania *zielonego* wodoru. Zgodnie z definicją obowiązującą w Unii Europejskiej są to: energia promieniowania słonecznego, wiatru, geotermalna, spadku rzek, fal, prądów i pływów morskich, biogazu i biomasy. Wraz z rozwojem produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, jej nadmiar będzie mógł zostać skierowany do zasilania elektrolizerów, które wykorzystują energię do produkcji wodoru z wody. (por. 2.5. Elektroliza).

W unijnej strategii koszt produkcji *zielonego* wodoru na unijnym rynku został oszacowany na 2,5-5,5 EUR/kg. Coraz tańsza energia produkowana ze źródeł odnawialnych, zwłaszcza z wiatru i słońca, doprowadzi do obniżenia kosztów produkcji *zielonego* wodoru. Szacuje się, że w najkorzystniejszych geograficznie regionach świata (duże nasłonecznienie lub silne wiatry) cena zielonego wodoru może zrównać się z kosztami produkcji wodoru z paliw kopalnych w ciągu ok. pięciu najbliższych lat³². Komisja Europejska szacuje, że w Europie może to nastąpić w 2030 roku³³.

Najniższy koszt produkcji zielonego wodoru na podstawie przeciętnej pracy farm słonecznych i wiatrowych w UE (EUR/kg)



Źródło: Hydrogen Europe

³² IRENA 2019.

³³ A hydrogen strategy for climate-neutral Europe, European Commission, Bruksela, 08.07.2020.

2.5. Elektroliza

Działające obecnie na świecie elektrolizery produkujące wodór przy udziale odnawialnej energii mają z reguły niską moc, rzędu kilku megawatów. Wynika to z dotychczasowej, niewielkiej skali upowszechnienia tych rozwiązań, ale ogłoszone projekty budowy elektrolizerów do 2030 roku opiewają już na 8,2 GW mocy³⁴.

Elektrolizery produkujące wodór z wody i OZE będą stanowiły kluczową technologię, która umożliwi transformację do gospodarki zeroemisyjnej.

Elektrolizery produkujące wodór mogą działać, wykorzystując energię elektryczną dostarczaną z OZE. Przy bardzo korzystnych warunkach pogodowych energię wytwarzaną z farm wiatrowych czy elektrowni słonecznych nie zawsze udaje się rozdysponować w sieci. Wykorzystanie energii z OZE w elektrolizerach otwiera nowe możliwości z jednej strony rozwoju OZE, a z drugiej – wzrostu produkcji wodoru. Zwiększenie skali zastosowania elektrolizerów doprowadzi do wzrostu ich mocy i wydajności oraz obniżenia cen.

W całkowicie zeroemisyjnej gospodarce rola wodoru prawdopodobnie znacznie wzrośnie. Musi on być jednak wytwarzany na drodze elektrolizy wody przy wykorzystaniu czystej, zeroemisyjnej energii elektrycznej. Wodór może służyć jako magazyn energii i w ten sposób pomóc w stabilizacji systemu elektroenergetycznego wykorzystującego OZE, których wadą jest brak elastyczności³⁵.

W procesie elektrolizy pozyskuje się ok. 2 proc. wodoru na świecie, z czego większość jako produkt uboczny przy produkcji chloru³⁶. Najbardziej powszechne i dostępne są elektrolizery alkaliczne oraz z membraną elektrolitowo-polimerową (*proton exchange membrane* - PEM). Najsprawniejsze, jednak droższe i na etapie wczesnego rozwoju, są elektrolizery stałotlenkowe (*solid oxide electrolyzers* – SOE). Elektrolizery alkaliczne działają typowo przy temperaturze ok. 80°C i ciśnieniu roboczym 3 MPa (tj. ok. 30 barów). Zazwyczaj osiągają sprawność ok. 50-70 proc. Technologia jest komercyjnie dostępna, jak również sprawdzona w dużych modułach o mocy kilkadziesiąt megawatów i większych. Pod względem stopnia rozwoju, jest najbardziej zaawansowana i potencjalnie tania, ponieważ nie wymaga stosowania materiałów szlachetnych³⁷.

Zaletą elektrolizerów PEM jest prostota konstrukcji, duża elastyczność pracy, wysoka sprawność i szybkie przystosowanie do zmian obciążenia. Ponadto, w stosunku do elektrolizerów alkalicznych ich przewagą jest krótki czas uruchamiania ze stanu zimnego oraz szeroki zakres obciążenia, duża elastyczność pracy w zakresie od 0 do 100 proc. mocy znamionowej oraz możliwość krótkotrwałego przeciążenia do 160 proc.

³⁴ Wood McKenzie, *Green hydrogen pipelines more than doubles in five months*, 6.03.2020.

³⁵ Komisja Europejska *Czysta planeta dla wszystkich*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=pl> (dostęp 29.09.2020).

³⁶ IEA 2019.

³⁷ *Ibidem*.

PRODUKCJA

Elektrolizery PEM działają przy temperaturze 50-80°C i ciśnieniu roboczym 3-8 MPa (tj. ok. 30-80 barów). Jest to technologia sprawdzona i dostępna, jednak nie tak rozpowszechniona jak elektrolizery alkaliczne. Polimerowa membrana do wymiany protonów jest bezpośrednio połączona z elektrodami pokrytymi katalizatorem. Najbardziej efektywny jest katalizator platynowy, jednak ze względu na jego wysokie koszty stosuje się też elektrody z niklu. Do wad PEM należy zaliczyć wysokie nakłady inwestycyjne oraz krótszy okres eksploatacji, wynikający z trwałości elektrolitu³⁸.

Trzecia z technologii – SOE – obecnie jest jeszcze na etapie badań. Ma bardzo wysoki poziom sprawności: 80-90 proc. Jako elektrolit służy membrana ceramiczna, zazwyczaj wykonana z tlenku cyrkonu z domieszką tlenku itru. Temperatura elektrolizy wynosi 850-1200 °C, natomiast ciśnienie wynosi 1 bar.

Elektrolizery wysokotemperaturowe są drogie z uwagi na stosowane w nich materiały. Największymi wadami są wysokie koszty inwestycyjne, niski stopień dojrzałości tej technologii oraz szybka degradacja materiału i jego ograniczona trwałość ze względu na wysokie temperatury pracy. Z powodu wrażliwości materiałów ceramicznych powinny pracować w trybie ciągłym³⁹.

W obliczu zwiększającego się zainteresowania wodorem jako źródłem energii można oczekiwać, że technologia pozyskiwania go w procesie elektrolizy będzie rozwijana, co przełoży się na spadek kosztów oraz zwiększenie efektywności pracy elektrolizerów.

Spodziewany spadek kosztów elektrolizerów

	Elektrolizer alkaliczny			Elektrolizer PEM			Elektrolizer SOE		
	2020	2030	Dłuższa perspektywa	2020	2030	Dłuższa perspektywa	2020	2030	Dłuższa perspektywa
Spodziewany czas eksploatacji w godzinach*	60-90 tys.	90-100 tys.	100-150 tys.	30-90 tys.	60-90 tys.	100-150 tys.	10-30 tys.	40-60 tys.	75-100 tys.
CAPEX (USD/kW)*	500-1400	400-850	200-700	1100-1800	650-1500	200-900	2800-5600	800-2800	500-1000

Źródło: IEA, 2020.

* dane w zależności od wielkości instalacji i niepewności co do prognoz

38 J. Piskowska-Wasiak, *Doświadczenia i perspektywy procesu Power to Gas*, „Nafta-Gaz”, nr 8, 2017.

39 *Ibidem*.



LOGISTYKA I DYSTRYBUCJA

3. Logistyka i dystrybucja

Obecnie infrastruktura do magazynowania i przesyłu dużych wolumenów wodoru na duże odległości jest w Europie niewystarczająca w odniesieniu do potrzeb i planowanej w przyszłości większej roli wodoru w nowych sektorach gospodarki.⁴⁰ Wodór jest produkowany i wykorzystywany głównie na miejscu – dotyczy to ok. 85 proc. światowej produkcji. Pozostała ilość (15 proc.) jest transportowana w postaci sprężonego gazu lub cieczy kriogenicznej.⁴¹

Upowszechnienie technologii wodorowych wymaga inwestycji w infrastrukturę logistyczną do magazynowania wodoru, przesyłu w gazociągach, skraplania lub transportu w formie sprężonego gazu.

3.1. Magazynowanie wodoru

Wodór najczęściej magazynowany jest w postaci sprężonego gazu lub płynnej – kriogenicznej. Stosowane są również metody hybrydowe – wodór w postaci półpłynnej (*slush*) lub schłodzonej i sprężonej (30 MPa, -235° C). Wodór może być również mieszany z gazem ziemnym lub łączony z nośnikami organicznymi i amoniakiem. Inne sposoby magazynowania (np. w wodorkach metali lub sorbentach) znajdują się obecnie na etapie badawczo-rozwojowym. Celem badań jest zwiększenie gęstości energetycznej nośnika i zmniejszenie kosztów składowania.

Podczas magazynowania w postaci gazowej, wodór jest sprężany – najczęściej do wartości 35 lub 70 MPa (350 lub 700 barów). Do przechowywania wodoru można stosować podobne zbiorniki jak te, w których magazynuje się gaz ziemny. Skompresowany wodór w formie gazowej może być przechowywany w zbiornikach znajdujących się na powierzchni lub pod ziemią. Podobnie jak w przypadku innych gazów, koszty budowy i przechowywania wodoru w ciśnieniowych zbiornikach o dużej pojemności znajdujących się na powierzchni są wysokie. Zbiorniki podziemne pozwalają nie tylko zaoszczędzić miejsce, dodatkowa izolacja oraz brak ekspozycji na zmienne warunki atmosferyczne, wydłuża ich żywotność.

Wodór może być przechowywany w wyeksploatowanych złożach węglowodorów (gazu ziemnego i ropy naftowej), w głębokich warstwach wodonośnych oraz w kawernach solnych. Każda z powyższych form wymaga przed wykorzystaniem pogłębionych badań geologicznych i geotechnicznych. Poziom przeznaczony do jego składowania musi mieć odpowiednią porowatość i przepuszczalność, a skały nadkładu muszą zapewnić szczelność przed wyciekami gazu na powierzchnię. Kiedy skały nadkładu są nasycone wodą, stanowią praktycznie nieprzepuszczalną barierę dla wodoru⁴². Magazynowanie wodoru jest droższe niż gazu, ze względu na to, że wodór zajmuje ok. trzy razy większą objętość niż posiadający taką samą energię gaz ziemny.

⁴⁰ *Hydrogen generation in Europe: Overview of costs and key benefits*, ASSET Project, 2020.

⁴¹ IEA 2019

⁴² R. Tarkowski, *Wybrane aspekty podziemnego magazynowania wodoru*, „Przegląd Geologiczny”, vol. 65, nr 5, 2017.

Kawerny solne są obciążone niskim ryzykiem zanieczyszczenia wodoru i są od kilkudziesięciu lat wykorzystywane do magazynowania wodoru w Wielkiej Brytanii oraz Stanach Zjednoczonych, a pilotażowe projekty rozpoczęto także w Niemczech⁴³. Polska ma duży potencjał magazynowania wodoru w kawernach solnych. Projekt badawczo-rozwojowy Hestor⁴⁴, prowadzony w latach 2015-2017, pokazał jednak, że w obecnych warunkach wykorzystanie wodoru wytwarzanego w procesie elektrolizy z OZE, jego magazynowanie w kawernach solnych i dalsze wykorzystanie, jest nieopłacalne. Głównym celem projektu było zbadanie możliwości magazynowania energii z OZE w postaci wodoru w kawernach solnych oraz wykorzystania tego wodoru w procesach rafineryjnych, produkcji energii elektrycznej oraz do zasilania ogniw paliwowych. W trakcie realizacji projektu nadwyżka energii z OZE występowała tylko przez kilka dni w roku, natomiast przygotowanie odpowiedniej kawerny do magazynowania wodoru oceniono na okres ok. dwóch lat⁴⁵. Opłacalność tego typu przedsięwzięcia zależy od wielu czynników, m.in. dostępności dużej ilości taniej energii z OZE.

Inną metodą na zwiększenie opłacalności składowania i transportu wodoru jest jego skroplenie w temperaturze poniżej -253°C , co umożliwia zwiększenie jego gęstości energetycznej w jednostce objętości. Jest to jednak proces energochłonny i kosztowny. W Europie istnieje tylko kilka instalacji do skraplania wodoru. W Niemczech są to wybudowane przez Linde zakłady w Ingolstadt (4,5 tony dziennie) i Leuna (5,3 tony dziennie). We Francji w Lille działa zakład Air Liquide o wydajności 10 ton dziennie. W Holandii zaś Air Products wybudował w Rosenburgu zakład o wydajności 5 ton dziennie.

Linde wylicza, że skroplenie kilograma wodoru w najnowszych instalacjach o wydajności od 50 do 150 ton dziennie będzie wymagało 6 kWh (bez energii potrzebnej do napędu sprężarek), co pozwoli firmie osiągnąć sprawność na poziomie 45 proc. Tymczasem, w instalacjach budowanych w 2011 roku sprawność wynosiła zaledwie 28 proc⁴⁶. Zdaniem Linde, przy produkcji do 200 kg wodoru dziennie skraplanie jest nieopłacalne. Przechowywanie wodoru w ciekłej postaci wymaga stosowania wielowarstwowych zbiorników z warstwą próżni, izolacją termiczną i zaworami bezpieczeństwa.

W odróżnieniu od energii elektrycznej wodór można magazynować w dużych ilościach przez dłuższy czas. Długoterminowe, podziemne magazyny wodoru mogą mieć znaczenie dla przemysłu i odgrywać ważną rolę jako magazyn buforowy dla nadwyżek energii elektrycznej z OZE. Skroplony wodór umożliwia zwiększenie gęstości energetycznej, ale wymaga magazynowania w temperaturze -253°C , co wymaga dużego nakładu energii. Dlatego wodór w postaci skroplonej transportowany jest tylko na dłuższe odległości. Dla potrzeb użytkowników końcowych i w krótkim okresie wykorzystywany jest sprężony wodór w butlach i zbiornikach. W dłuższej perspektywie do magazynowania wodoru możliwe będzie wykorzystanie infrastruktury gazu ziemnego, w tym podziemnych magazynów gazu.

43 IEA 2019.

44 Projekt prowadzony przez konsorcjum w składzie: Grupa LOTOS S.A., Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy CHEMKOP sp. z o.o., Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A. www.lotos.pl/2491/poznaj_lotos/projekty_dofinansowane_przez_ue/hester, (dostęp 14.10.2020).

45 *The Hestor Project storing the energy from RES as hydrogen in salt caverns*, CEEP Report Q2 (57), 2019.

46 *Latest global trend in liquid hydrogen production*, www.sintef.no/globalassets/project/hyper/presentations-day-1/day1_1430_decker_latest-global-trend-in-liquid-hydrogen-production_linde.pdf (dostęp 29.09.2020).

3.2. Przesył wodoru

Zgodnie z raportem Międzynarodowej Agencji Energetycznej, najtańszą opcją przesyłu wodoru w postaci gazu do odległości 1500 km są rurociągi. Dedykowane do przesyłu wodoru gazociągi są wykorzystywane przez przemysł, m.in. we Francji, Holandii, Niemczech i Belgii⁴⁷.

Wykorzystanie do przesyłu wodoru już istniejącej infrastruktury gazu ziemnego pozwoliłoby uniknąć znacznych kosztów kapitałowych związanych z rozwojem nowej sieci przesyłowej i dystrybucyjnej. Trwałość rur metalowych może się jednak zmniejszyć, gdy są wystawione przez dłuższy okres na działanie wodoru.

Dostosowanie lub wymiana rur na nowe wymaga urządzeń do pomiaru stężenia wodoru. Turbiny gazowe, tłocznie, zbiorniki na sprężony gaz ziemny (CNG) i niektóre rodzaje magazynów mogą przyjmować tylko niskie stężenie wodoru (poniżej 5 proc.), więc także mogą wymagać modernizacji⁴⁸. Dostosowanie istniejących gazociągów do przesyłu wodoru wymaga nakładów rzędu 15 proc. wydatków, które trzeba by ponieść na nowy gazociąg⁴⁹.

Dodatek wodoru do przesyłanego gazu może przynieść redukcję emisji CO₂, ale zwiększy również koszt dostawy paliwa do konsumentów. Wynika to z mniejszej zawartości energii w danej jednostce objętości dostarczanego gazu zawierającego wodór. Dla przykładu, dodatek 3 proc. wodoru w rurociągu przesyłowym gazu ziemnego zmniejsza energię transportowaną przez ten rurociąg o ok. 2 proc⁵⁰.

Ankieta przeprowadzona przez Agencję ds. Współpracy Organów Regulacji Energetyki pokazała, że 15 spośród 23 krajowych organów regulacyjnych nie akceptuje zatłaczania czy dodawania wodoru do przesyłanego gazu ziemnego. Polski Urząd Regulacji Energetyki odpowiedział, że jest to możliwe, jednak dodawanie wodoru nie było jeszcze stosowane i operator sieci przesyłowej dopiero ocenia możliwość mieszania wodoru i jego dopuszczalne limity⁵¹.

Wykorzystanie istniejących gazociągów byłoby znacznie łatwiejsze, gdyby na szczeblu europejskim podjęte zostały kroki w celu ujednolicenia przepisów krajowych, dotyczące zawartości wodoru w gazie ziemnym oraz zharmonizowania przepisów transgranicznych⁵².

3.3. Dystrybucja wodoru

Sprężony wodór gazowy nadaje się do dystrybucji na krótkie odległości i zastosowań wymagających umiarkowanych ilości energii. Przy ciśnieniu 5 MPa, czyli 50 barów, uzyskuje się gęstość składowania 4 kg wodoru na metr sześcienny, podczas gdy ciśnienie 70 MPa (700 barów) daje 40 kg wodoru na metr sześcienny⁵³.

47 *NRA Survey on Hydrogen, Biomethane, and Related Network Adaptations*, Agency for Cooperation of Energy Regulators, Ljubljana 2020.

48 *Ibidem*.

49 *Ibidem*.

50 IEA 2019.

51 *NRA Survey...*, op. cit.

52 *Ibidem*.

53 *Ammonia – zero carbon shipping fuel?* www.maritimecleantech.no/wp-content/uploads/2020/01/Nov19-Ammonia-fuel-NCE-cleantech.pdf (dostęp 29.09.2020).

Ciśnienie wodoru zależy od środków transportu, zbiorników i przeznaczenia docelowego. W samochodach osobowych standardem jest stosowanie zbiorników, które mogą przechowywać wodór pod ciśnieniem 70 MPa czyli 700 barów⁵⁴. W autobusach stosowane jest ciśnienie 35 MPa, czyli 350 barów. Solaris Urbino 12 hydrogen wykorzystuje 5 butli o pojemności 312 litrów, które pozwalają zatankować 36,8 kg wodoru⁵⁵.

Wodór przechodzi w stan ciekły po schłodzeniu do -253 °C. Skroplenie gazu pozwala na osiągnięcie większej gęstości energetycznej, co ułatwia transport. Ciekły wodór ma gęstość składowania ok. 71 kg wodoru na metr sześcienny⁵⁶. Proces chłodzenia jest jednak energochłonny, co pociąga za sobą dodatkowe koszty w postaci 25-35 proc. wodoru niezbędnego do jego schłodzenia. Dlatego ta opcja jest opłacalna tylko przy transporcie na duże odległości.

Do typowego zestawu samochodu z cysterną można załadować 300-500 kg sprężonego wodoru gazowego (ciśnienie 200-250 bar). Najnowsze butle pozwalają załadować jednorazowo 900 kg sprężonego wodoru gazowego (ciśnienie 500 bar) lub 3500 kg wodoru ciekłego. Ciekły wodór można transportować także w skonteneryzowanych zbiornikach na statkach, pociągami i ciężarówkami.

3.4. Amoniak i ciekłe nośniki wodoru

Alternatywą dla sprężania i upłynniania gazu jest włączenie wodoru do większych cząsteczek, które mogą być łatwiej transportowane w postaci cieczy. Stosowane rozwiązania obejmują amoniak i technologie wykorzystujące płynne, organiczne nośniki wodoru – LOHC. Amoniak i LOHC są znacznie łatwiejsze w transporcie niż wodór, ale też nie można ich tak wszechstronnie używać jako produktów końcowych. Obydwie opcje pociągają za sobą straty energii, są mało efektywne i kosztowne⁵⁷. Mogą być jednak uzasadnione na trasach powyżej 1500 km, zwłaszcza w transporcie morskim.

Według producenta nawozów – firmy Yara – połączenie wodoru w postaci gazowej z azotem, które tworzy amoniak (NH_3), oznacza stratę zaledwie 13,1 proc. energii - z czego 13 proc. pochłania połączenie, a 0,1 proc. skroplenie amoniaku. Przy procesie odzyskiwania wodoru z amoniaku strata wynosi 10 proc. energii pierwotnej zawartej w gazie, co łącznie daje sprawność na poziomie 76,3 proc. Dla porównania, według Yara, skroplenie samego wodoru powoduje stratę 43,8 proc. energii, a straty podczas przechowywania wynoszą 2,3 proc. Oznacza to, że sprawność całego procesu wynosi 53,9 proc⁵⁸.

Alternatywą dla amoniaku jest zastosowanie organicznych ciekłych nośników wodoru. Są to znane ciecze, jak benzyna, olej napędowy czy glikol etylenowy. Trwają badania, jakie substancje są najlepsze, ponieważ obecnie sprawność całego procesu jest mniejsza niż skraplanie wodoru. Wodór w ciekłych organicznych nośnikach ma gęstość wynoszącą 6,5 GJ/m³, zaś ciekły wodór 8,5 GJ/m³. Zaletą ciekłych nośników wodoru jest możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury dystrybucji.

54 Norweska Strategia dot. Wodoru www.regjeringen.no/contentassets/8ffd54808d7e42e8bce81340b13b6b7d/regjeringens-hydrogenstrategi.pdf (dostęp 29.09.2020).

55 <https://www.solarisbus.com/en/busmania/uitp-global-public-transport-summit-2019-world-premiere-of-solaris-urbino-12-hydrogen-914> (dostęp 19.10.2020)

56 Norweska Strategia dot. Wodoru www.regjeringen.no/contentassets/8ffd54808d7e42e8bce81340b13b6b7d/regjeringens-hydrogenstrategi.pdf (dostęp 29.09.2020).

57 Ibidem.

58 Yara, Ammonia – zero carbon shipping fuel? www.maritimecleantech.no/wp-content/uploads/2020/01/Nov19-Ammonia-fuel-NCE-cleantech.pdf (dostęp 29.09.2020).



TRANSPORT KLUCZEM DO ROZWOJU WODORU

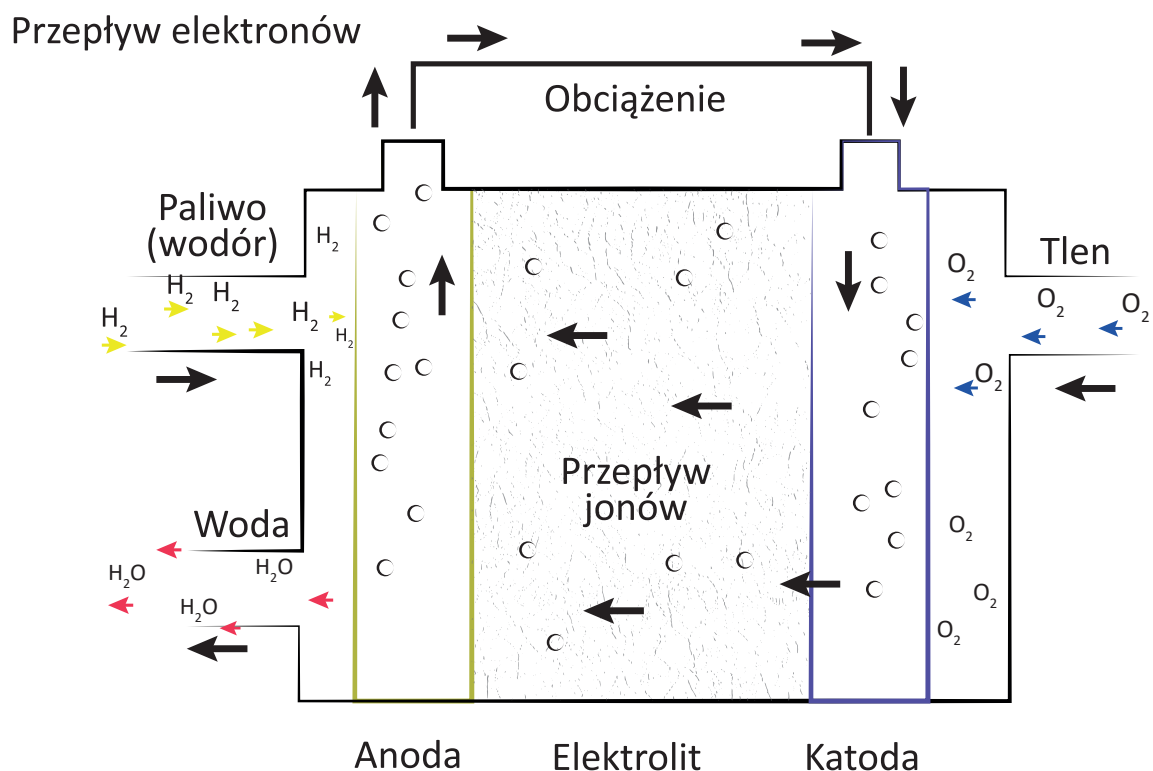
4. Transport kluczem do rozwoju wodoru

Jednym z najbardziej obiecujących zastosowań wodoru jest transport. Zeroemisyjne autobusy, regionalne pociągi, lokomotywy manewrowe czy floty taksówek będą stanowiły impuls dla zwiększenia produkcji wodoru oraz rozbudowy infrastruktury. W kolejnych podrozdziałach analizowany jest potencjał wykorzystania wodoru na kolei, w transporcie miejskim oraz drogowym.

Transport jest obszarem, w którym technologie wodorowe są sprawdzone, a dzięki finansowaniu z funduszy unijnych najszybciej pozwolą osiągnąć korzyści środowiskowe, społeczne i gospodarcze.

4.1. Ogniwo paliwowe

Wodór może być wykorzystywany w transporcie dzięki ogniwom paliwowym. Są to urządzenia, które pozwalają na uzyskanie energii elektrycznej i ciepła dzięki zachodzącym w nich procesom elektrochemicznym.



Ogniwo zamienia energię chemiczną paliwa (w tym przypadku wodoru) i utleniacza bezpośrednio w energię elektryczną. Konwersja energii chemicznej na elektryczność następuje bez występowania klasycznego procesu spalania paliwa, dzięki czemu nie ma w tym przypadku emisji szkodliwych substancji, np. węglowodorów, tlenku węgla czy tlenków azotu. Zarówno paliwo, którym jest zwykle czysty wodór, jak i utleniacz w postaci powietrza atmosferycznego, które uczestniczą w reakcjach elektrodowych, dostarczane są do ogniwa ze źródeł zewnętrznych.

Ogniwo paliwowe składa się z dwóch elektrod (anody i katody), które są odseparowane elektrolitem w formie stałej lub płynnej. Najczęściej tę rolę pełni membrana polimerowa. Na anodzie doprowadzany w sposób ciągły wodór jest rozbijany w reakcji katalitycznej na protony i elektrony, a następnie protony przenikają przez membranę do katody. Na katodę podawane jest powietrze zawierające tlen, z którego w wyniku reakcji katalitycznych powstają aniony tlenkowe.

Kationy wodorowe reagują następnie z anionami tlenkowymi, wytwarzając wodę. W wyniku tej reakcji elektrochemicznej pomiędzy anodą a katodą powstaje różnica potencjału, powodując przepływ prądu elektrycznego, a efektem dodatkowym jest powstawanie ciepła i wody.

4.2. Transport kolejowy

Zasilanie wodorowymi ogniwami paliwowymi umożliwi zastąpienie pojazdów spalinowych i ograniczenie emisji tam, gdzie do tej pory było to niemożliwe – na niezelektryfikowanych liniach i bocznicach.

Celowość wdrożenia technologii wodorowej w transporcie kolejowym należy analizować w odniesieniu do konkretnych warunków eksploatacyjnych. Rezultaty będą zależeć m.in. od efektywności napędu, popularności technologii, dojrzałości rynku, uwarunkowań technologicznych dotyczących zarówno taboru, typu przewozów, jak i obsługiwanych tras.

Dotychczas wykonane analizy pokazują atrakcyjność szynowych pojazdów wodorowych przy założeniu zmniejszania się kosztów pozyskania, składowania i tankowania wodoru oraz pod warunkiem wykorzystania na sieciach w całości lub częściowo niezelektryfikowanych. Na tych liniach technologia wodorowa może odegrać szczególną rolę w dekarbonizacji. Istotny będzie również poziom cen oleju napędowego oraz energii elektrycznej, a także możliwości wykorzystania doczyszczzonego wodoru odpadowego.

Pierwsze konstrukcje lokomotyw wodorowych powstały w USA w 2002 roku (niewielka jednostka górnicza). Prowadzone są również testy prototypowych lokomotyw (HH20B, KuMoYa E995-1, HydroFlex).

Innym obszarem wdrożenia są przewozy pasażerskie. Pierwsze testy tego typu pojazdów przeprowadzono w Japonii w latach 2006-2007⁵⁹. W Europie wodorowe pojazdy pasażerskie pojawiły się w normalnym ruchu pasażerskim 16 września 2018 roku, kiedy swoją premierę miał pociąg Coradia iLint zbudowany przez Alstom w niemieckich zakładach Salzgitter (por. 4.2.7. – Case study Coradia iLint). Od tamtej pory budowę pociągów wykorzystujących do zasilania wodór zapowiedziało i realizuje wiele krajów, w tym Stany Zjednoczone, Rosja, jak również Polska.

59 A. Hoffrichter, *Hydrogen-Rail (hydrail) Development*, Michigan State University, 2019.

4.2.1. Krótka charakterystyka taboru kolejowego

Pojazdy kolejowe dzielą się na dwie grupy: pojazdy trakcyjne (z napędem) i wagony. Wśród pojazdów trakcyjnych wyróżniamy lokomotywy (liniowe i manewrowe), wagony silnikowe (określane czasami jako autobusy szynowe) oraz zespoły trakcyjne (elektryczne i spalinowe), składające się z kilku lub kilkunastu wagonów.

W pojazdach o trakcji spalinowej energia paliwa (benzyna, olej napędowy lub gaz sprężony) zamieniana jest na energię mechaniczną (ruch pojazdu) wprost w silniku spalinowym lub za pośrednictwem energii elektrycznej. W tym drugim przypadku generator z napędem spalinowym wytwarza energię elektryczną wykorzystywaną następnie w napędzie pojazdu (napęd Diesel-elektryczny albo z *przekładnią elektryczną*). W Polsce takie rozwiązanie dominuje zarówno w ciężkich lokomotywach liniowych, jak i manewrowych.

Klasyczny napęd spalinowy występuje w przypadku najlżejszych lokomotyw manewrowych, wagonów silnikowych oraz pasażerskich spalinowych zespołów trakcyjnych (SZT). Jest to o tyle istotne, że eksperymentalne pojazdy z napędem wodorowym powstawały poprzez adaptację pojazdów spalinowych, przy czym w przypadku SZT silnik spalinowy był zastępowany silnikiem elektrycznym zasilanym przez ogniwa paliwowe. W przypadku pojazdu Diesel-elektrycznego zastąpieniu podlegał silnik spalinowy i generator.

Pojazdy o trakcji elektrycznej nie mają własnego źródła energii - prąd elektryczny czerpią za pomocą pantografów z sieci trakcyjnej. Budowa tej sieci i urządzeń towarzyszących jest podstawowym nakładem kapitałowym w przypadku wprowadzania trakcji elektrycznej. Lokomotywy przeznaczone do obsługi ruchu towarowego prowadzą zazwyczaj pociągi o masie od 1,5 do 5 tys. ton z prędkością do 120 km/h. W Polsce są to najczęściej lokomotywy elektryczne i spalinowe z przekładnią elektryczną.

Lokomotywy pasażerskie są przeznaczone głównie do obsługi ruchu dalekobieżnego. W Polsce są to najczęściej lokomotywy elektryczne, które prowadzą pociągi o masie do 700 ton i prędkości do 160 km/h. Niektóre lokomotywy (np. popularna EU07) są uniwersalne i mogą być używane zarówno w ruchu towarowym, jak i pasażerskim. Natomiast lokomotywy manewrowe zazwyczaj osiągają prędkość maksymalną do 80 km/h i mogą prowadzić pociągi o masie do 1-1,5 tys. ton, jednak ich głównym przeznaczeniem jest wykonywanie jazd manewrowych w obrębie stacji i bocznic.

Wagony silnikowe (autobusy szynowe) w polskich warunkach to zazwyczaj pojazdy spalinowe, wykorzystywane dla obsługi ruchu lokalnego i regionalnego (o prędkości do 120 km/h). Zespoły trakcyjne – w Polsce głównie elektryczne (EZT) – wykorzystywane są w ramach przewozów aglomeracyjnych, regionalnych (do 160 km/h) i dalekobieżnych (do 200 km/h).

Wyprodukowane zostały również pierwsze jednostki hybrydowe, zasilane zarówno prądem z pantografu, jak i olejem napędowym. Mogą one być wykorzystane na trasach częściowo zelektryfikowanych oraz nieelektryfikowanych bocznicach, co może uwolnić przewoźnika od konieczności utrzymywania lokomotywy manewrowej do obsługi pociągu na stacji początkowej i końcowej.

4.2.2. Jak działa pojazd kolejowy na wodór?

Aby określić konkurencyjność napędu wodorowego, najważniejsze jest zrozumienie zasad jego działania. Podstawowymi elementami konstrukcji układu napędowego pojazdu kolejowego czerpiącego z wodoru jako źródła siły trakcyjnej, są: ogniwo paliwowe, baterie, zbiorniki paliwa, silniki trakcyjne oraz przetwornice główne i pomocnicze.

Sprężony wodór przechowywany jest w zbiornikach umieszczonych zazwyczaj na dachu pojazdu. Zasób ten uzupełniany jest przy użyciu specjalistycznej infrastruktury w trakcie postoju pojazdu. Wodór dostarczany jest do ogniwa paliwowego, w którym zachodzi jego utlenianie. Efektem tej reakcji chemicznej jest energia elektryczna i woda (w dwóch postaciach – płynnej i pary wodnej).

Energia elektryczna jest magazynowana w bateriach (dotychczas stosowane są baterie litowo-jonowe). Trafiać do nich może również energia powstała w wyniku rekuperacji (odzyskiwania) energii wytwarzanej w trakcie hamowania. Zmagazynowana w ten sposób energia elektryczna służy do napędzania silników trakcyjnych oraz zasilania urządzeń pokładowych. Prąd wytworzony przez ogniwo paliwowe przechodzi przez przetwornicę główną, której zadaniem jest dostosowanie go do wartości wymaganych przez odbiorniki, czyli baterie i silnik trakcyjny.

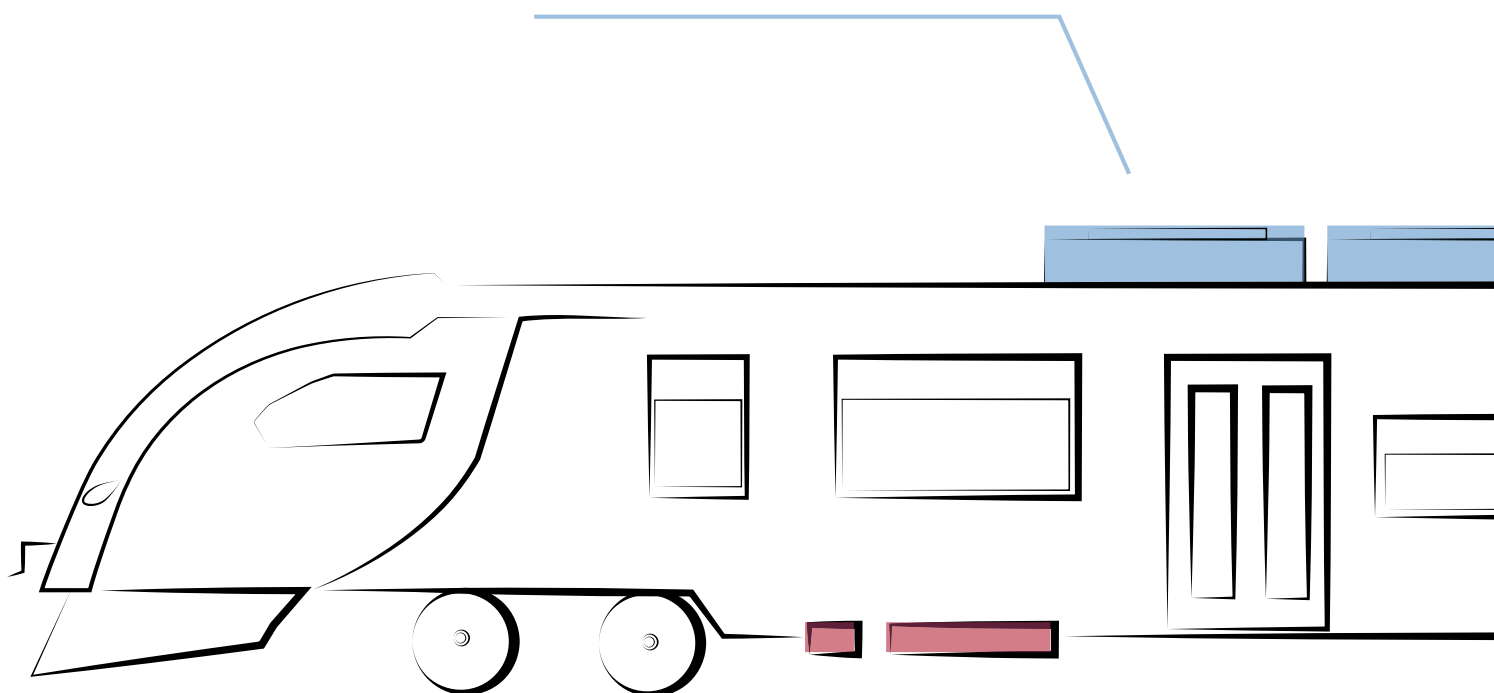
Wykorzystywane są także przetwornice pomocnicze. Ich zadaniem jest dostosowywanie parametrów prądu do potrzeb różnego rodzaju urządzeń pokładowych - np. klimatyzacji, napędu drzwi, systemów informacji pasażerskiej, oświetlenia itd.

Schemat pociągu wodorowego (Zespołu Trakcyjnego) przedstawia grafika na stronach 42-43.

Jak działa pojazd kolejowy zasilany paliwowymi ogniwami wodorowymi?

ZBIORNIKI PALIWA

Umieszczone na dachu pojazdu magazynują sprężony wodór. Jest on wykorzystywany w ogniwie paliwowym. H_2 uzupełniany jest przy użyciu specjalistycznej infrastruktury w trakcie postoju pojazdu.



SILNIK TRAKCYJNY

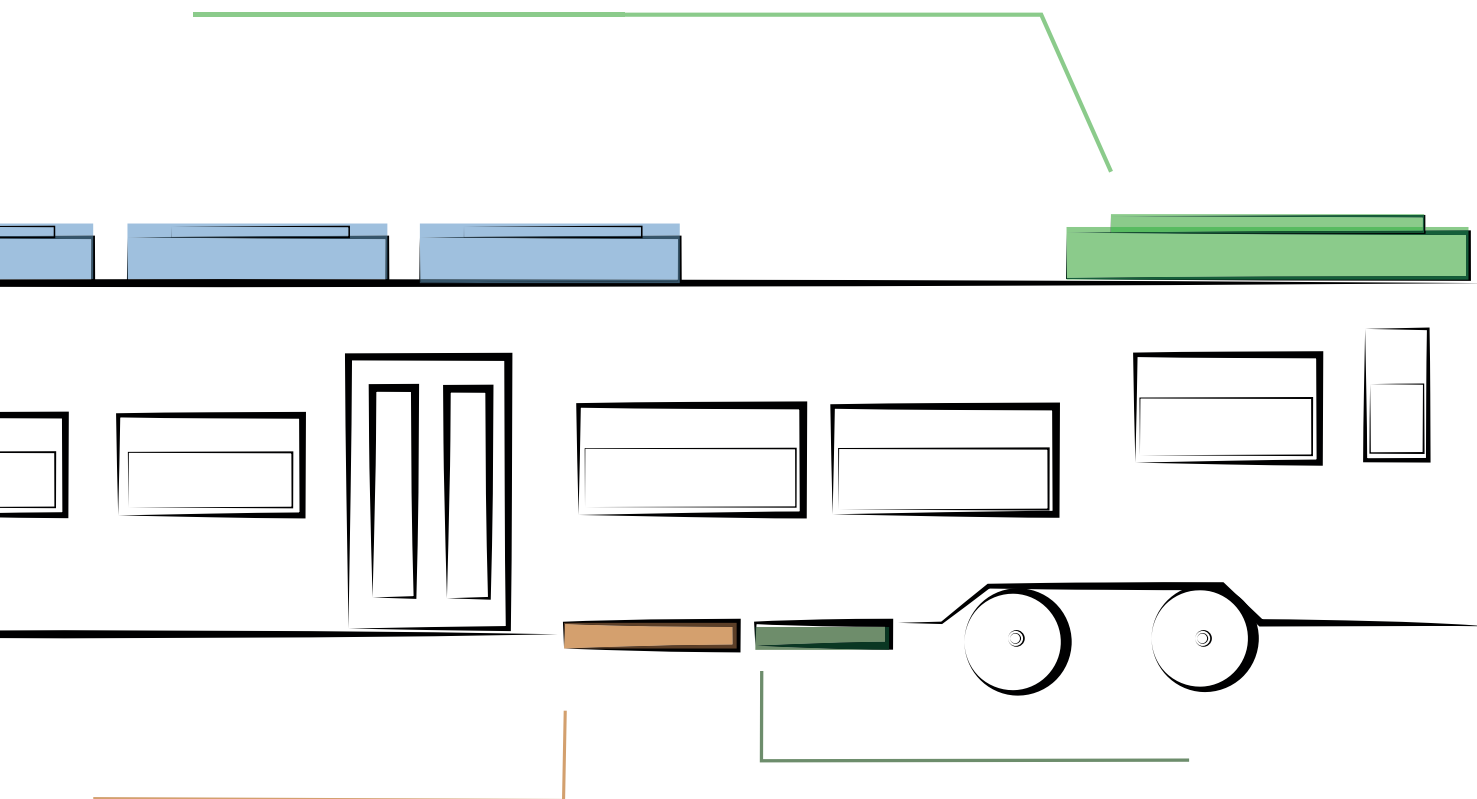
Urządzenie wykorzystujące energię elektryczną wytwarzaną w ogniwie paliwowym. Otrzymuje ją bezpośrednio lub z zasobnika po odpowiednim dostosowaniu przez przetwornicę główną. Jego celem jest wytworzenie siły pociągowej lub hamującej ruch pojazdu.

PRZETWORNICA GŁÓWNA

Urządzenie dostosowujące parametry prądu wytworzonego przez ogniwo paliwowe do wartości wymaganych przez odbiorniki, czyli w tym przypadku baterię i silnik trakcyjny. Zbiera ono także energię powstającą w trakcie rekuperacji, przekazując ją do przetwornic pomocniczych i baterii.

OGNIWO PALIWOWE

Układ wytwarzający energię elektryczną dzięki reakcji chemicznej polegającej na bezpłomieniowym spalaniu (utlenianiu) wodoru. Przebieg reakcji chemicznej wygląda tak: $2H_2 + O_2 = 2H_2O$. Jej produktami są energia elektryczna i woda w dwóch stanach skupienia (para wodna i stan ciekły).



PRZETWORNICE POMOCNICZE

Dostosowują parametry prądu otrzymanego z ogniwa paliwowego oraz zasobników energii i przekazują go do różnego rodzaju urządzeń pokładowych (klimatyzacji, napędu drzwi, systemów informacji pasażerskiej, oświetlenia itd.).

BATERIE / AKUMULATORY

Magazynują energię elektryczną wytwarzaną przez ogniwo paliwowe. Może do nich trafiać również energia elektryczna powstała w wyniku odzyskiwania energii wytwarzanej w trakcie hamowania. W dotychczas wyprodukowanych pojazdach na wodór stosowane są baterie litowo-jonowe. Energia elektryczna w nich zmagazynowana używana jest do napędzania silników trakcyjnych oraz zasilania różnego rodzaju urządzeń pokładowych. W niektórych pojazdach stosuje się ponadto superkondensatory, które umożliwiają szybkie wydatkowanie energii podczas przyspieszania.

4.2.3. Analizy kosztów napędu wodorowego w poszczególnych segmentach rynku pojazdów szynowych

Wykorzystanie wodorowych ogniw paliwowych rozpatrywane w tej części dotyczy trzech segmentów rynku pojazdów szynowych: zespołów trakcyjnych, lokomotyw manewrowych oraz lokomotyw liniowych.

Według analiz firmy McKinsey, w przypadku przewozów pasażerskich, w obecnych warunkach rynkowych, wykorzystanie zespołu trakcyjnego z ogniwem paliwowym, po uwzględnieniu kosztów kapitałowych sieci trakcyjnej jest bardziej opłacalne niż elektrycznego zespołu trakcyjnego odbierającego prąd z sieci trakcyjnej⁶⁰. Warunkiem jest jednak stosunkowo niska częstotliwość kursów, gdyż wtedy koszty budowy sieci trakcyjnej nie amortyzują się szybko, a niewielka liczba stacji tankowania pozwala obsłużyć składy i z kolei te koszty kapitałowe są względnie niskie.

Obliczenia analityków McKinseya dotyczą połączeń pasażerskich wykonywanych na dwutorowej trasie kolejowej o długości 100 km przez 4 pociągi mogące przewieźć 150 pasażerów (12 przejazdów dziennie na pociąg, 15 godzin eksploatacji na dobę) przez 30 lat. W takich warunkach wyliczono całkowity koszt posiadania (TCO, Total Cost of Ownership) pociągu z ogniwem paliwowym na 3-5 USD/km. Dla porównania, pociąg spalinowy generuje koszt w wysokości 4-5 USD/km, natomiast pociąg elektryczny wykorzystujący istniejącą infrastrukturę – ok. 7 USD/km.

Na tym tle pociąg zasilany wodorem ma TCO wyższy niż pojazd spalinowy, ale w 5. roku eksploatacji oba koszty się zrównują, a następnie TCO jednostki wodorowej maleje. W przypadku regionalnych przewozów kolejowych, w obecnych warunkach, sam koszt paliwa H₂ to ok. 40-50 proc. TCO. Według analiz McKinseya, może on zmniejszyć się do poziomu 20-30 proc. w 2030 roku, jednak konieczny jest spadek ceny wodoru przynajmniej do poziomu 4,5 USD/kg⁶¹. W ocenie ekspertów Zespołu Doradców Gospodarczych TOR, prognozy McKinsey są zaskakująco optymistyczne w odniesieniu do TCO technologii wodorowej zwłaszcza dla przypadku sieci trakcyjnej już istniejącej. Nie znajdują one również potwierdzenia w obliczeniach Roland Berger.

Roland Berger przeprowadził 10 szczegółowych analiz⁶² dotyczących wykorzystania różnych rodzajów pojazdów kolejowych o napędzie wodorowym w konkretnych europejskich lokalizacjach (m.in. w rafinerii w Gdańsku dla lokomotyw manewrowych). Uwzględniono lokalną specyfikę, otoczenie rynkowe i technologiczne, topografię tras, natężenie ruchu pasażerskiego i towarowego, ceny paliwa itd. Dane analizowano w odniesieniu do scenariusza bazowego (obecne ceny paliwa) i optymistycznego (zakładającego m.in. spadek kosztów produkcji wodoru i wzrost cen ropy). Analizy obejmowały następujące elementy:

- **Zespoły trakcyjne eksploatowane w regionalnym transporcie pasażerskim**, o zasięgu maksymalnie 1000 km na jednym tankowaniu, mogące rozwijać prędkość do 140 km/h i o okresie eksploatacji ok. 30 lat. W analizowanym scenariuszu bazowym koszt EUR/km pojazdu zasilanego wodorowymi ogniwami paliwowymi (FCH) okazał się o 6 proc. wyższy niż spalinowego, ale o 3 proc. niższy niż w przypadku elektrycznego zespołu trakcyjnego. W scenariuszu optymistycznym koszt FCH w EUR/km jest o 2 proc. niższy niż spalinowego zespołu trakcyjnego (SZT) i aż o 10 proc. od elektrycznego zespołu trakcyjnego (EZT).

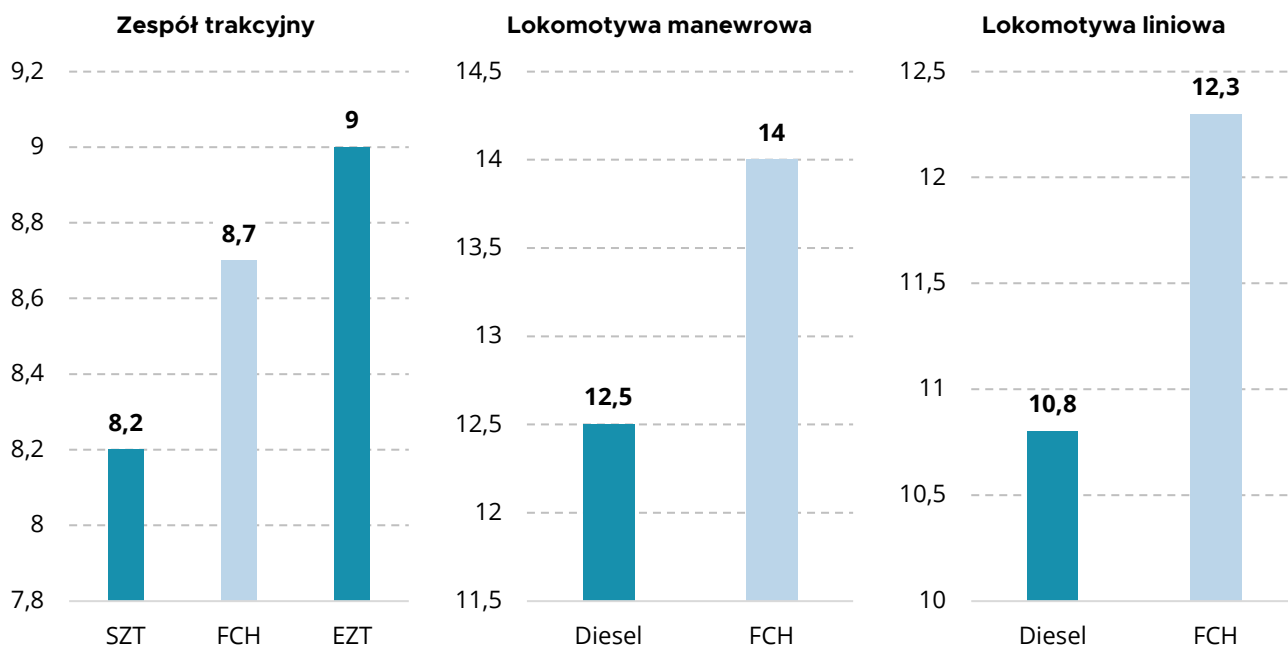
60 McKinsey & Company, *Hydrogen: The next wave for electric vehicles?*, 2017. s. 44.

61 McKinsey & Company, *Hydrogen: The next wave for electric vehicles?*, 2017. s. 44.

62 Roland Berger, *Study on use of fuel cell hydrogen in railway environment. Study overview*, 2019. <https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/01-Roland-Berger-Public.pdf> (dostęp 29.09.2020).

- **Lokomotywy manewrowe** (lub obsługujące ruch na krótkich odcinkach), o zasięgu 200-1000 km na jednym tankowaniu (w zależności od rodzaju wykonywanej pracy, liczby zatrzymań i topografii terenu), prędkości maksymalnej do ok. 50 km/h oraz o okresie eksploatacji ok. 35 lat. W bazowym scenariuszu koszty EUR/km w przypadku FCH były wyższe aż o 13 proc. niż spalinowych lokomotyw manewrowych. Jednak w scenariuszu optymistycznym FCH okazały się bardziej opłacalne – koszt EUR/km był niższy o 9 proc.
- **Lokomotywy liniowe** wykorzystywane zarówno w ruchu pasażerskim, jak i towarowym na średnich i długich dystansach, o zasięgu 500-1100 km (w zależności od rodzaju wykonywanej pracy, liczby zatrzymań i topografii terenu), prędkości maksymalnej 120 km/h oraz o okresie eksploatacji ok. 30 lat. W scenariuszu bazowym koszt EUR/km w przypadku FCH okazał się o 14 proc. wyższy niż gdyby wykorzystano lokomotywy spalinowe. Jednak w scenariuszu optymistycznym wartość wskaźnika EUR/km dla lokomotywy o napędzie wodorowym jest o 1 proc. niższa.

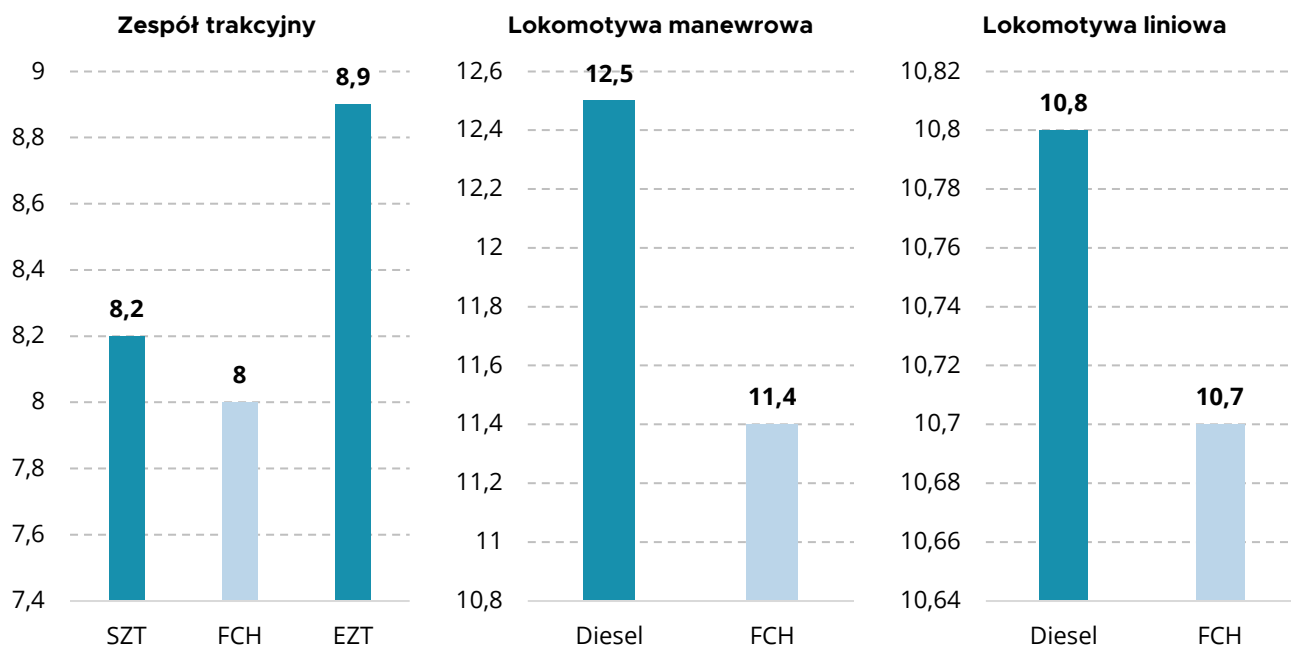
Porównanie TCO (EUR/km) dla różnych rodzajów napędów (scenariusz bazowy)



SZT – spalinowy zespół trakcyjny, FCH – pojazd z ogniwem paliwowym, EZT – elektryczny zespół trakcyjny

Źródło: Roland Berger, 2019

Porównanie TCO (EUR/km) dla różnych rodzajów napędów (scenariusz optymistyczny)



Źródło: Roland Berger, 2019

SZT – spalinowy zespół trakcyjny, FCH – pojazd z ogniwem paliwowym, EZT – elektryczny zespół trakcyjny

Oplacalność wykorzystania pojazdów szynowych z wodorowym ogniwem paliwowym wzrasta wraz ze spadkiem ceny energii elektrycznej potrzebnej do wytwarzania wodoru (mniej niż 50 EUR/MWh) oraz lepszym wykorzystaniem infrastruktury do tankowania H_2 . Na korzyść FCH w porównaniu do pojazdów akumulatorowych przemawia również krótki czas tankowania (mniej niż 20 minut) oraz stosunkowo długi okres pomiędzy uzupełnieniami paliwa (ponad 18 godzin)⁶³.

Przy analizie kosztów wdrożenia napędu wodorowego wskazane jest uwzględnienie kosztów zewnętrznych (środowiskowych, zdrowotnych i społecznych) wynikających z dużej emisyjności pojazdów spalinowych. Z analizy przeprowadzonej przez Zespół Doradców Gospodarczych TOR wynika, że ograniczenie emisji CO_2 zależy od typu pojazdu szynowego, który jest zastępowany przez analogiczny pojazd o napędzie wodorowym.

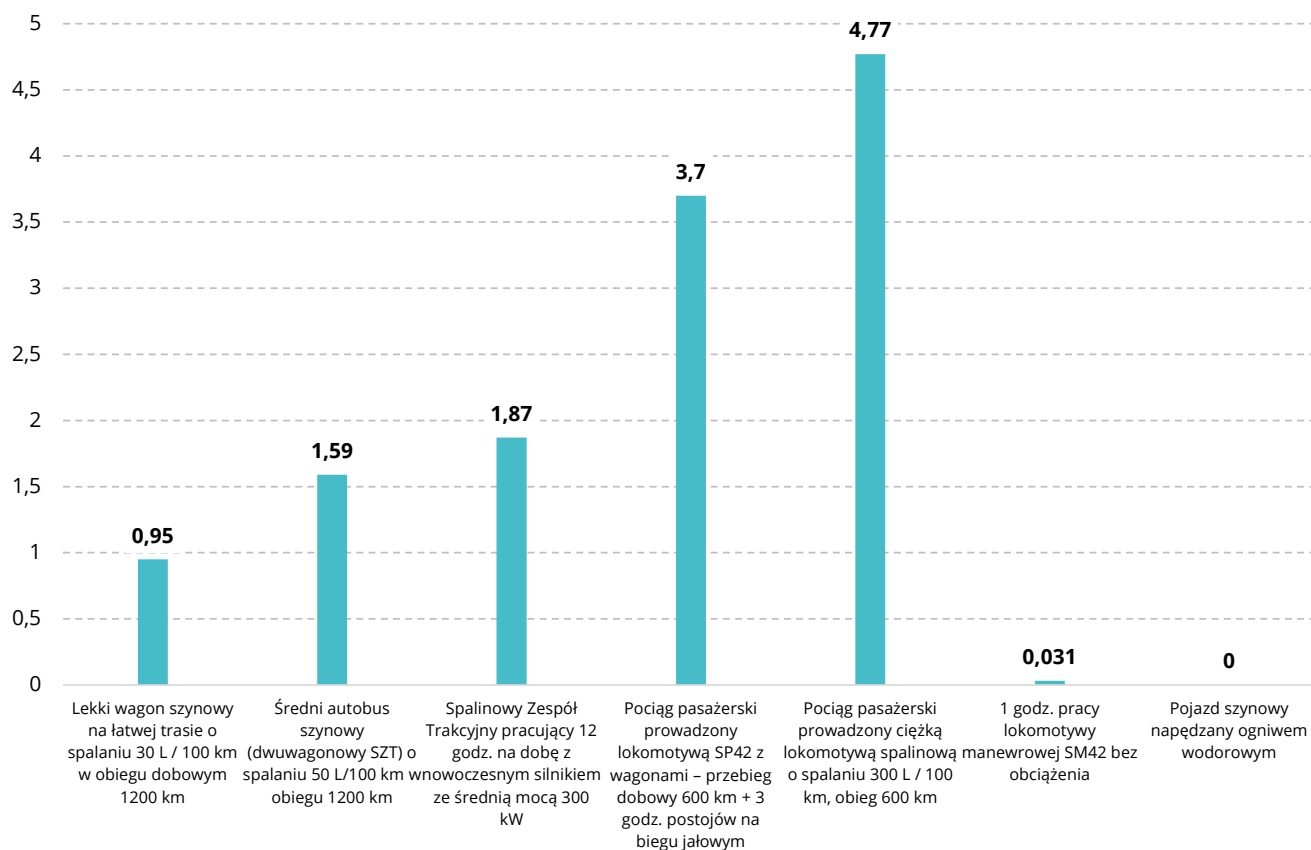
Największa różnica pojawiłaby się przy zastąpieniu ciężkiej lokomotywy spalinowej pojazdem zasilanym ogniwami wodorowymi. W ciągu doby można ograniczyć w ten sposób emisję CO_2 o 4,8 tony na jednej lokomotywie tego typu przy założeniu dobowego obiegu 600 km.

Na obecnym etapie nie jest jednak możliwe wytworzenie takiego pojazdu na bazie istniejących lokomotyw spalinowych z przekładnią elektryczną. Wynika to z faktu, że masa i rozmiary zbiorników wodoru, zasobników energii elektrycznej oraz ogniw są większe niż dopuszczalna masa pojazdu i nacisk na oś oraz przestrzeń uwolnione przez układ spalinowy.

⁶³ Roland Berger, *Study on the use...* op. cit. 12.

Wskazane byłoby jednak szczegółowe przeanalizowanie takiej możliwości w polskich warunkach, w tym także na Linii Hutniczej Szerokotorowej (LHS), gdyż większość relacji zbliżonych do analizowanych przez Roland Berger w Polsce jest zelektryfikowana, natomiast LHS nie jest zelektryfikowana. Lokomotywy spalinowe PKP LHS prowadzą pociągi od stacji granicznej w Hrubieszowie i są obecnie tankowane na stacjach Zamość Bortatycze LHS i Sławków LHS⁶⁴.

Dobowa emisja CO₂ związana z użytkowaniem pojazdów szynowych



Źródło: obliczenia własne ZDG TOR⁶⁵.

64 Na podstawie korespondencji e-mail z PKP LHS z dn. 16.10.2020.

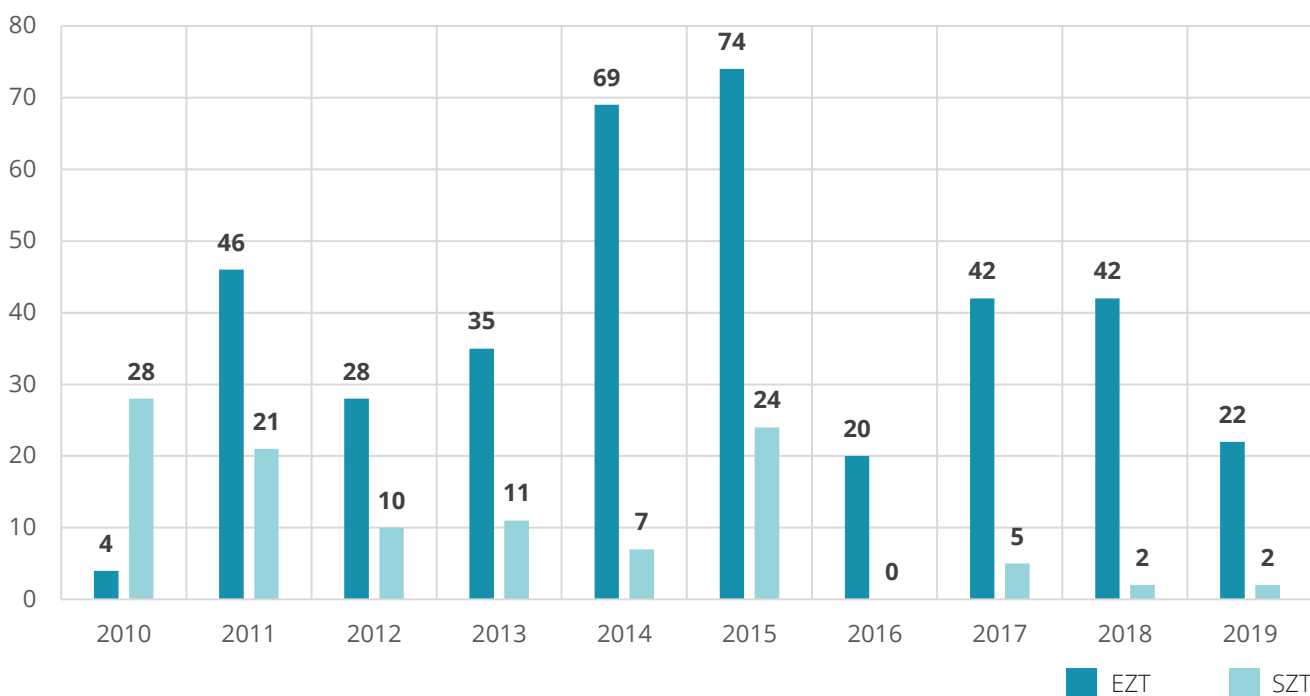
65 Według Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBIZE): www.kobize.pl/uploads/materialy/download/WO_i_WE_do_monitorowania-ETS-2020.pdf (dostęp 29.09.2020).

4.2.4. Rynek pojazdów kolejowych w Polsce

Po zastoju lat 80. i 90. XX w., w znacznym stopniu dzięki dostępności środków z Unii Europejskiej, zarówno przewoźnicy, jak i władze samorządowe zaczęły inwestować w nowy tabor kolejowy. W 2019 roku rozpoczęto w Polsce eksploatację 22 elektrycznych oraz 2 spalinowych zespołów trakcyjnych⁶⁶.

To niemal dwukrotnie mniej niż w ostatnich latach. W 2017 roku uruchomiono 42 EZT i 5 SZT, a w 2018 roku 42 elektryczne i 2 spalinowe zespoły trakcyjne. Wynika z tego, że choć dokonuje się nowych zakupów i inwestycji w tabor kolejowy, dynamika jest niewielka i nieznacznie tylko przekracza tę, która miała miejsce w rekordowo niskim pod tym względem 2016 roku. Jak dotąd rekordowe, jeśli chodzi o wprowadzanie do eksploatacji, były dwa lata: 2014 i 2015 rok. W pierwszym z nich producenci przekazali przewoźnikom 69 elektrycznych i 7 spalinowych pojazdów, a w drugim – aż 74 elektryczne i 24 spalinowe zespoły trakcyjne.

Nowe zespoły trakcyjne na polskim rynku kolejowym w latach 2010-2019



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych „Rynku Kolejowego”.

Pomimo znaczącej skali zakupów, do pełnego nasycenia rynku jest jeszcze daleko. Szczególnie jasno pokazał to ostatnio Urząd Transportu Kolejowego (UTK), który przedstawił dane na temat perspektyw polskiego rynku taborowego⁶⁷. Jak wskazuje UTK, przynajmniej przez kolejne 5 lat dostarczane będą przede wszystkim elektryczne zespoły trakcyjne.

Będą one podstawowymi pojazdami wykorzystywanymi przez przewoźników kolejowych. Potencjał wymiany zużytego taboru jest wciąż duży – średni wiek EZT w Polsce to 26,5 roku, a na szlakach w naszym kraju jeździ ich 1247.

66 PKP IC: 2019 – rok wielkich inwestycji i zwiększania przewozów www.rynek-kolejowy.pl/mobile/pkp-ic-2019--rok-wielkich-inwestycji-i-zwiekszania-przewozow-95000.html (dostęp 29.09.2020).

67 Urząd Transportu Kolejowego, *Sprawozdanie z funkcjonowania rynku transportu kolejowego w 2019 roku*, Warszawa 2020.

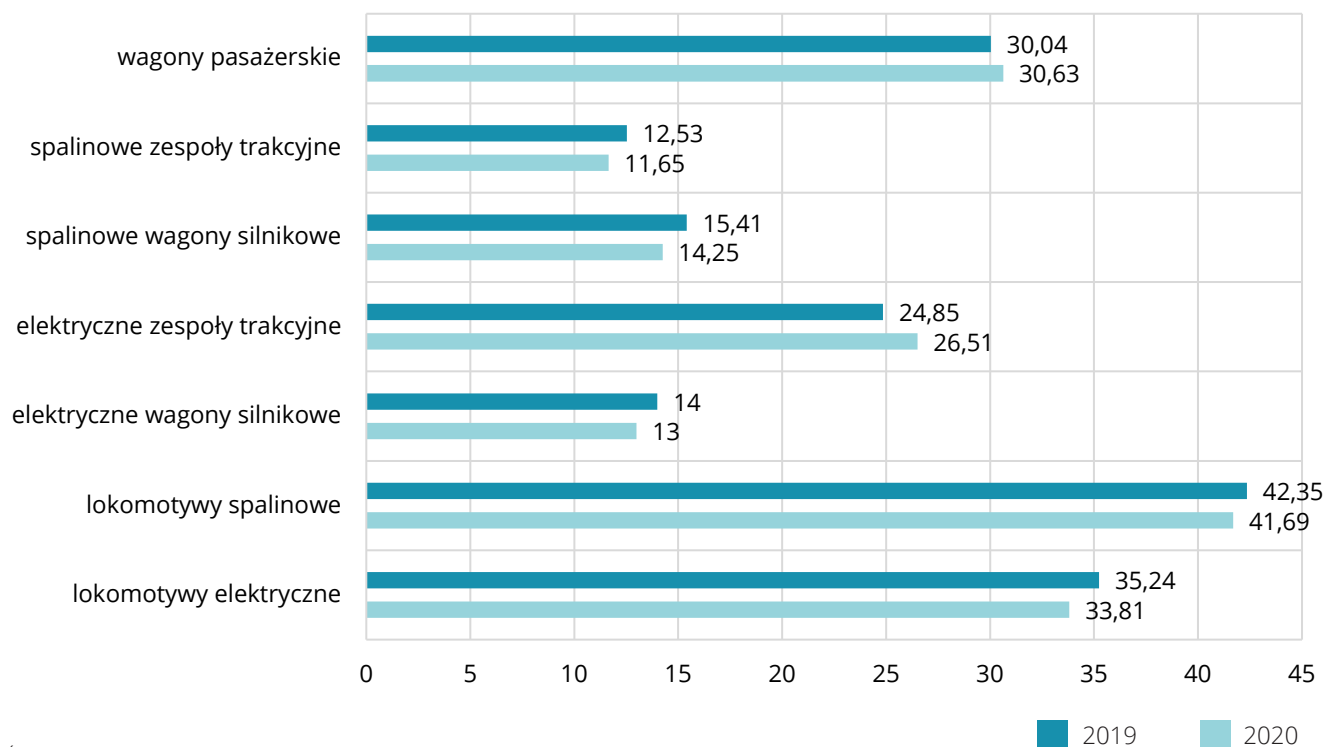
Łączna liczba pojazdów trakcyjnych w Polsce

Pojazdy trakcyjne	Rok								
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Lokomotywy	554	557	534	508	484	441	429	423	421
Elektryczne	380	412	394	363	332	322	320	314	313
Spalinowe	174	145	140	145	152	119	109	109	108
Wagony silnikowe	74	78	79	95	85	77	81	79	77
Elektryczne	8	8	8	8	8	2	2	2	2
Spalinowe	66	70	71	87	77	75	79	77	75
Zespoły trakcyjne	1 402	1 373	1 423	1 470	1 518	1 445	1 466	1 442	1 388
Elektryczne	1 248	1 216	1 256	1 321	1 341	1 268	1 279	1 250	1 192
Spalinowe	154	157	167	149	177	177	187	192	196

Źródło: Urząd Transportu Kolejowego – Sprawozdanie z funkcjonowania rynku transportu kolejowego w 2019 roku

Jeśli chodzi o pojazdy szynowe, to w Polsce najstarsze są lokomotywy spalinowe. W przypadku tych pojazdów, wykorzystywanych przez przewoźników pasażerskich w Polsce w liczbie 109 egzemplarzy, średni wiek to aż 41,7 lat. Niewiele młodsze są lokomotywy elektryczne. Statystycznie maszyna tego rodzaju ma 33,8 lata. Operatorzy pasażerscy eksploatują 314 lokomotyw o napędzie elektrycznym.

Średni wiek taboru kolejowego w Polsce w latach



Źródło: Urząd Transportu Kolejowego, 2020⁶⁸.

68 Ibidem.

Z danych UTK wynika, że do 2030 roku trzeba będzie wymienić przynajmniej 245 lokomotyw elektrycznych, 99 spalinowych, 1708 wagonów z miejscami do siedzenia, 48 wagonów z miejscami do leżenia, 861 EZT oraz jedynie 23 SZT. Spalinowe zespoły trakcyjne (SZT), których eksploatowanych jest 269 szt., są statystycznie najnowszym typem pociągów, a ich średni wiek to jedynie 12,4 lat. Jest to okoliczność niekorzystna dla wdrożenia napędu wodorowego – biorąc pod uwagę fakt wynikający z przytoczonych powyżej analiz, największe korzyści może ono przynieść w segmencie SZT, który jest stosunkowo najmniejszy i charakteryzuje się najnowszym taborem. Wskazana jest analiza pokazująca, na ile opłacalna byłaby instalacja napędu wodorowego w którymś z eksploatowanych typów SZT.

Warto także pamiętać, że na rynku krajowym zapewne pojawią się pierwsze pojazdy nazywane *hybrydowymi*, a precyzyjniej – *dwunapędowymi*. Zakupem takich pojazdów zainteresowane są województwa zachodniopomorskie i dolnośląskie. W tym pierwszym przypadku przetarg zakładający dostawę 2 pojazdów, z opcją na kolejne 10, wygrał Newag, który za pierwszą część zamówienia otrzyma 49,2 mln PLN brutto.

Zainteresowanie pozyskaniem pojazdów dwunapędowych sygnalizowały także Szybka Kolej Miejska w Trójmieście oraz Koleje Wielkopolskie. Przewoźnicy zwracają uwagę na ich zalety w ruchu aglomeracyjnym – tj. możliwość wykorzystania całej dostępnej infrastruktury, a nie tylko tej zelektryfikowanej, co może mieć ogromne znaczenie na zatykających się węzłach. Tutaj też jest potencjał na wykorzystanie napędu wodorowego.

Warto również zwrócić uwagę, że w przeszłości polscy producenci taboru szynowego (Pesa, Newag) – zdobywali pierwsze doświadczenia, dostarczając tabor dla polskiego rynku, a następnie realizując kontrakty eksportowe na rynki zagraniczne (Newag – Włochy; Pesa – Niemcy, Włochy, Ukraina, Białoruś, Litwa, Kazachstan). Od 2010 roku polscy producenci dostarczyli na zagraniczne rynki 232 SZT (w tym 224 – Pesa)⁶⁹. Wykorzystanie planowanych inwestycji w tabor na polskim rynku do zdobywania doświadczenia w obszarze technologii wodorowej może okazać się szansą dla polskich producentów i polskiej gospodarki do budowy przewagi konkurencyjnej na rynkach eksportowych.

4.2.5. Zalety wykorzystania napędu wodorowego na kolei

- **Ekologiczność.** Procesowi utleniania wodoru towarzyszy wytworzenie energii elektrycznej, ciepła oraz wody. Oznacza to, że każdy pojazd wykorzystujący ogniwo paliwowe pozwoli ograniczyć niską emisję w miejscu eksploatacji. Wykorzystanie wodoru z OZE umożliwi całkowite ograniczenie emisji szkodliwych substancji, takich jak tlenki azotu, siarki czy węgla, które powstają przy korzystaniu z tradycyjnych silników spalinowych.
- **Oszczędność.** Wykorzystanie napędu wodorowego oznacza ponadto brak konieczności kosztownej elektryfikacji szlaków kolejowych (koszt ok. 1 mln EUR/km trasy)⁷⁰. Co więcej, pojazdy na wodór emitują nieporównanie mniej hałasu i wibracji niż ich spalinowe odpowiedniki. Napęd wodorowy jest cichy, ponieważ energia elektryczna generowana jest poprzez wymianę elektronów pomiędzy anodą i katodą, a nie sprężanie i rozprężanie gazów jak w silniku spalinowym⁷¹.

69 Obliczenia własne Zespołu Doradców Gospodarczych TOR, 2020.

70 Do hydrogen and battery trains mean the end for diesel traction? www.railjournal.com/in_depth/hydrogen-and-battery-trains-end-for-diesel-traction (dostęp 29.09.2020).

71 A. Hofrichter, G. Lovegrove, K. Lannon-Paakspu, M.A. Hegazi, V. Kumar, *Hydrogen-powered trains and their benefits in noise and vibration reduction*, Global Railway Review, 2019. www.globalrailwayreview.com/article/93584/hydrogen-trains-benefits-noise-vibration-reduction/ (dostęp 29.09.2020).

- **Elastyczność i uniwersalność.** Pojazdy o napędzie wodorowym mogą obsługiwać linie zarówno zelektryfikowane, jak i nieelektryfikowane. W dalszej perspektywie czasowej i przy rozwoju rynku produkcji pojazdów na wodór oznaczać to będzie znaczące oszczędności przy zakupie taboru (jeden pojazd dla obsługi połączeń na infrastrukturze o różnej specyfice technicznej, zamiast dwóch pojazdów trakcyjnych spalinowych i elektrycznych). Według Roland Berger w 2030 roku produkcja pojazdów hybrydowych wykorzystujących wodorowe ogniwo paliwowe (FCH) stanowić będzie 30 proc. światowej produkcji taboru kolejowego (przy skumulowanym rocznym poziomie wzrostu rynku FCH na poziomie 27 proc.)⁷². Możliwe jest także wyposażanie w napęd wodorowy używanych pojazdów.
- **Zasięg i tankowanie.** Ogniwa wodorowe zapewniają relatywnie duży zasięg oraz krótki czas tankowania/ładowania w porównaniu do jednostek akumulatorowych. Na obecnym etapie rozwoju technologicznego ogniwa wodorowe są również lżejsze, przez co ich wydajność w porównaniu z bateriami jest większa. Dla przykładu, w zależności od parametrów trasy, Coradia iLint jest w stanie przejechać na jednym tankowaniu od 900 do 1100 km przy maksymalnej prędkości 140 km/h. Uzupełnienie paliwa trwa ok. 15 minut⁷³. Dla porównania, baterijny zespół trakcyjny Talent 3 (tzw. BEMU – Battery Electric Multiple Unit, o zbliżonych do Coradii iLint parametrach eksploatacyjnych) wyprodukowany przez firmę Bombardier w 2018 roku cechuje się zasięgiem jedynie ok. 100 km na jednym ładowaniu⁷⁴.

4.2.6. Wady wykorzystania napędu wodorowego na kolei

- **Koszty paliwa.** Koszt wodoru jest wciąż relatywnie duży w porównaniu do paliwa wykorzystywanego w silnikach Diesla.⁷⁵ Ponadto wykorzystanie wodoru jako nośnika energii wymaga czystości na poziomie 99,999 proc., (jakość 5.0). Według analityków w latach 2020-2030 koszt produkcji wodoru dla ogniw paliwowych wykorzystywanych przez ciężkie pojazdy pasażerskie może jednak zmniejszyć się o ok. 45 proc.⁷⁶.
- **Koszty logistyki i dystrybucji.** Wysokie koszty budowy infrastruktury przesyłowej, magazynowania i tankowania wodoru to problem wynikający głównie z konieczności spełnienia wymogów bezpieczeństwa⁷⁷.
- **Wysokie koszty produkcji taboru.** Pojazdy szynowe wykorzystujące ogniwo paliwowe są obecnie co najmniej 30 proc. droższe od tych o napędzie spalinowym⁷⁸. Przewiduje się jednak, że wraz z rozpowszechnieniem technologii i pracami nad jej rozwojem różnica ta będzie się zmniejszać.
- **Trudności techniczne dotyczące konstrukcji pojazdów.** Zbiorniki na paliwo w pojazdach wykorzystujących ogniwo wodorowe muszą być o 20-30 proc. większe niż w przypadku pojazdów napędzanych silnikiem Diesla⁷⁹. Jest to duży problem w przypadku konstrukcji wodorowych lokomotyw szlakowych – musiałyby one mieć techniczną możliwość przewożenia co najmniej 1000 kg paliwa, co jest problematyczne⁸⁰.
- **Stosunkowo niska żywotność ogniwa paliwowego.** Obecnie maksymalny okres eksploatacji, po którym ogniwo paliwowe wymaga prac utrzymaniowych to ok. 30 tys. godzin⁸¹.

72 Roland Berger, *Study on the use...* op. cit., 2019.

73 Coradia iLint – Hydrogen Fuel Cell Train, Alstom, APTA Rail Conference.

74 Bombardier Talent 3 Battery Train, „Railway Technology” <https://www.railway-technology.com/projects/bombardier-talent-3-battery-train/> (dostęp 29.09.2020).

75 D. Shirres, *Hydrail comes of age*, „Rail Engineer”, 1/2018.

76 Ibidem.

77 C. Acar, I. Dincer, *Comparative assessment of hydrogen production methods from renewable and non-renewable sources*, I, „Journal of Hydrogen Energy” 39, 2014.

78 Komisja Europejska, *Final Report of the High-Level Panel of the European Decarbonisation Pathways Initiative*, 2018, s. 57.

79 Roland Berger, *Study on the use...* op. cit. 2019, s. 14.

80 Ibidem, s. 27.

81 Ibidem, s. 20.

4.2.7. Case study – Coradia iLint

Zespół trakcyjny wykorzystujący wodorowe ogniwo paliwowe oraz baterię magazynującą energię elektryczną i silniki elektryczne (zamontowane na ramie pudła), został po raz pierwszy zaprezentowany przez producenta, firmę Alstom, podczas targów kolejowych InnoTrans w 2016 roku w Berlinie. To pierwszy tego typu pojazd na świecie, będący wodorową wersją produkowanego wcześniej Coradia Lint 54. Przeznaczony jest dla obsługi ruchu regionalnego. Projekt iLint (zapożyczony w 2014 roku) był wspierany przez niemieckie Ministerstwo Gospodarki i Mobilności jako część Narodowego Programu Rozwoju Technologii Wodorowych i Ogniw Paliwowych (NIP 2). Pojazdy wodorowe produkowane są w niemieckich zakładach Alstomu w Salzgitter.

Pojazd wykorzystuje ogniwo paliwowe bezpłomieniowo spalające wodór, z czego powstaje energia elektryczna, ciepło, woda i para wodna. Energia elektryczna trafia do baterii litowo-jonowych, a następnie jest przekazywana do elektrycznych, asynchronicznych, trójfazowych silników trakcyjnych. Gdy pojazd przyspiesza, baterie są pomijane – energia przepływa bezpośrednio z ogniwa paliwowego do silników. Natomiast w trakcie hamowania wykorzystywana jest rekuperacja energii elektrycznej – prąd wytworzony przez ogniwo paliwowe zużywany jest do zasilania urządzeń pokładowych pojazdu lub magazynowany w akumulatorach.

Coradia iLint jest w stanie rozwinąć prędkość 140 km/h, a zasięg pociągu po uzupełnieniu zasobu paliwa w zbiorniku to (w zależności od profilu trasy) 600-1000 km. Obecnie eksploatowane Coradia iLint wykorzystują mobilną stację tankowania wodoru, ale do 2021 roku mają zostać stworzone do tego celu instalacje stacjonarne. Czas tankowania to ok. 15 minut.

Wybrane dane techniczne Coradia iLint dotyczące napędu wodorowego:

- ciśnienie wodoru – 35 MPa (350 barów),
- masa zbiorników na wodór – 2x90 kg lub 1x180 kg,
- zużycie wodoru – 0,25 kg/km,
- dzienne zużycie wodoru – 150 kg na trasie 600 km, 187,5 kg przy trasie 750 km⁸².

Dwa pierwsze prototypy Coradia iLint powstały w 2016 roku. W listopadzie 2017 roku producent zawarł umowę z LNVG – niemieckim przewoźnikiem regionalnym z Dolnej Saksonii. Jej przedmiotem była dostawa 14 pojazdów Coradia iLint. We wrześniu 2018 roku pierwszy pojazd z tej serii trafił do eksploatacji – został skierowany do obsługi odcinka Buxtehude – Bremervörde – Bremerhaven – Cuxhaven w Dolnej Saksonii.

Kolejna umowa na dostawę i utrzymanie składów wodorowych została zawarta przez Alstom w maju 2019 roku ze spółką fahma, podmiotem zależnym Rhein-Main-Verkehrsbund (RMV), organizatora transportu publicznego w niemieckim Regionie Ren-Men (wartość kontraktu to ok. 500 mln EUR). Na jej mocy 27 zespołów trakcyjnych Coradia iLint zostanie dostarczonych do grudnia 2022 roku. Pojazdy będą obsługiwać trzy trasy: Frankfurt – Bad Soden; Frankfurt – Brandobendorf oraz Friedrichsdorf – Freidberg.

82 M. Graff, *Pojazdy Coradia iLint z ogniwami paliwowymi na wodór*, „Technika Taboru Szynowego”, 3/2018, s. 36-37.

W październiku 2019 roku Alstom podpisał umowę z prowincją Groningen, operatorem Arriva, holenderskim zarządcą infrastruktury kolejowej – ProRail – oraz firmą energetyczną Engie. Jej przedmiotem są testy zespołu trakcyjnego Coradia iLint na tamtejszej sieci. Pojazdy jeżdżą z prędkością do 140 km/h – nocą, bez pasażerów. Wykorzystują mobilne punkty paliwowe, dostarczone przez Engie⁸³.

4.2.8. Case study: tramwaje wodorowe

W transporcie szynowym ogniwa paliwowe mogą być również wykorzystywane w konstrukcji tramwajów. Pierwsza w tym segmencie była stolica karaibskiej wyspy Aruba. Od grudnia 2012 roku tramwaje wodorowe eksploatowane są w 35-tysięcznym Oranjestad. Cztery takie pojazdy (w tym dwa piętrowe), których konstrukcja jest oparta na amerykańskim standardzie PCC z lat 30. XX wieku, wykorzystują baterie wyposażone w ogniwa paliwowe.

Obecnie jednak ten segment najszybciej rozwija się w Chinach. W kwietniu 2015 roku zaprezentowano pierwszy tramwaj na wodór skonstruowany w Państwie Środka. Była to jednostka ForCity 15T, na licencji czeskiej spółki Skoda Transportation. Tramwaj został wyprodukowany w CRRC Qingdao Sifang – państwowej firmie zajmującej się produkcją taboru kolejowego. To pojazd dwukierunkowy, mogący pomieścić 380 osób (w tym 60 na miejscach siedzących). Wykorzystywane w nim ogniwa paliwowe zostały wyprodukowane przez kanadyjską spółkę Ballard Power Systems.

W marcu 2016 roku 7 takich tramwajów trafiło do miasta Qingdao (prowincja Szantung). Każdy z nich ma zbiorniki na wodór, w których paliwo uzupełniane jest w ciągu 3 minut. Zasięg takich tramwajów wykorzystujących energię z ogniwa paliwowego to ok. 100 km na jednym tankowaniu H₂, przy maksymalnej prędkości 70 km/h. Trasa w Qingdao ma 8,8 km długości i jest częściowo zelektryfikowana. Pojedynczy pojazd pokonuje ją w czasie 30 minut.

Kolejnym krokiem było wdrożenie tej technologii w Tangshan (prowincja Hebei). W październiku 2017 roku na tamtejsze tory trafił pierwszy trójczłonowy, niskopodłogowy tramwaj zasilany wodorowymi ogniwami paliwowymi wyprodukowany przez CRRC Tangshan. Trafił do obsługi linii o długości 13,8 km. Może on przejechać dystans 40 km pomiędzy tankowaniami, z maksymalną prędkością 70 km/h, zabierając na pokład 336 pasażerów (66 na miejscach siedzących). Uzupełnienie paliwa trwa ok. 15 min.

W grudniu 2019 roku rozpoczęła się eksploatacja tramwaju wodorowego w chińskim mieście Foshan (prowincja Guangdong), na linii Gaoming. Pojazd ten to już samodzielna produkcja CRRC Qingdao Sifang (choć również i w tym przypadku ogniwa paliwowe zostały dostarczone przez kanadyjskiego partnera). Linia Gaoming ma 17,4 km długości (20 przystanków). Pojemność trójczłonowego tramwaju to 285 pasażerów, a prędkość maksymalna – 70 km/h. Zasięg pojazdu na jednym ładowaniu to ok. 100 km. Łącznie władze Foshan zamówiły od producenta 8 takich tramwajów.

⁸³ Alstom's hydrogen train Coradia iLint completes successful test in the Netherlands, Alstom, 2020. <https://www.alstom.com/press-releases-news/2020/3/alstoms-hydrogen-train-coradia-ilint-completes-successful-tests> (dostęp 20.10.2020)

4.2.9. Podsumowanie napędu wodorowego z perspektywy kolei

Na podstawie dotychczasowych analiz, a także testowych wdrożeń na świecie, można wskazać obszary w Polsce, w których warto poddać szczegółowym analizom opłacalności wdrożenia napędu wodorowego:

- **Zespoły trakcyjne** z napędem wykorzystującym ogniwo paliwowe przeznaczone do obsługi średniej długości tras całkowicie lub częściowo niezelektryfikowanych – pojazd na H_2 może zastąpić wówczas pojedynczy, spalinowy zespół trakcyjny (tańszy, ale powodujący dużą emisję) lub dwa pojazdy: spalinowy i elektryczny zespół trakcyjny. Pojazd o napędzie wodorowym będzie konkurencyjny wobec akumulatorowego, w którym duża masa baterii doprowadziłaby do zmniejszenia liczby miejsc lub istotnego pogorszenia dynamiki pojazdu. W analizie warto również uwzględnić potencjał rozwojowy polskich producentów taboru szynowego.
- **Lokomotywy manewrowe**, pod warunkiem wykorzystania na dużej, niezelektryfikowanej stacji lub bocznicy kolejowej, o dużym obciążeniu ruchem kolejowym (przynajmniej kilka lokomotyw manewrowych) i z dostępem do doczyszczanego wodoru przemysłowego⁸⁴.
- **Niezelektryfikowane linie towarowe przystosowane do dużego obciążenia** – ze względu na dużą masę lokomotyw szlakowych (wraz ze zbiornikami na wodór i zasobnikami energii elektrycznej). Konieczna jest jednak analiza możliwości technicznych (masa, nacisk na oś, przestrzeń, ewentualne wykorzystanie tendra), uwzględniająca korzyści ekologiczne i klimatyczne oraz opłacalność ekonomiczną wdrożenia takich lokomotyw w porównaniu z klasyczną elektryfikacją linii dotychczas niezelektryfikowanej, a dedykowanej do ciężkich przewozów towarowych. W Polsce takie kryteria spełnia linia szerokotorowa nr 65, zarządzana przez PKP LHS.

⁸⁴ Roland Berger, Study on the use... op. cit. 2019, s. 67.

4.3. Miejski transport autobusowy

Autobusy stanowią najpopularniejszy środek komunikacji zbiorowej na świecie. Wykorzystywane są praktycznie w każdych warunkach, w których funkcjonuje transport publiczny. Ma to związek z dużą elastycznością systemów transportowych opartych na autobusach. Nie wymagają one budowy specjalnej i kosztownej infrastruktury transportowej, poza przystankami i infrastrukturą utrzymaniową. Umożliwiają łatwe tworzenie i uruchamianie nowych tras, mają dużą pojemność i pozwalają szybko reagować na zmiany przepływu potoków pasażerskich.



Na rynku dostępne są różne technologie napędów alternatywnych dla autobusów, których atrakcyjność będzie się zmieniać. Według prognoz, całkowity koszt posiadania (TCO) w przypadku pojazdów zasilanych wodorowymi ogniwami paliwowymi już w ciągu najbliższej dekady może stać się niższy niż w przypadku autobusów elektrycznych i konwencjonalnych autobusów spalinowych.

Wraz z rozwojem rynku maleć będą także koszty stacji ładowania wodoru, co stanowi istotną przewagę nad autobusami elektrycznymi, bowiem dodatkowe obciążenie sieci energetycznej wpłynie na znaczący wzrost kosztów infrastruktury.

4.3.1. Alternatywne napędy w miejskich autobusach

Unia Europejska planuje do 2050 roku ograniczenie zanieczyszczeń emitowanych przez transport o 60 proc. w porównaniu z 1990 rokiem. Dodatkowo, jednostki samorządu terytorialnego w Polsce mają obowiązek zapewnić udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów, w wysokości co najmniej 30 proc. do roku 2028⁸⁵. Jednym z filarów planów transportowych, ukierunkowanych na realizację tego celu, jest znalezienie alternatywy dla autobusów spalinowych w transporcie publicznym.

Mimo iż normy EURO VI wprowadziły szereg korzystnych zmian w obszarze skutków środowiskowych wywołanych przez pojazdy z silnikiem Diesla, eksperci są zgodni, że istnieje limit, do którego można jeszcze usprawniać tego typu silniki i czynić je bardziej ekologicznymi. Wiele wskazuje na to, że limit ten niebawem zostanie osiągnięty⁸⁶.

Najpowszechniejszym rozwiązaniem w obszarze napędów alternatywnych dla autobusów komunikacji miejskiej są pojazdy gazowe, napędzane sprężonym gazem ziemnym (CNG) lub skroplonym gazem ziemnym (LNG). Gaz CNG wykorzystywany jest w transporcie od ponad 30 lat. Atutem tego rozwiązania są niższe koszty paliwa w porównaniu z silnikami Diesla. Dostęp do tego paliwa jest też łatwiejszy w porównaniu z innymi napędami alternatywnymi. Do tankowania niezbędny jest dostęp do sieci gazowej i dedykowanej stacji. Na jednym tankowaniu autobus przejechać może do 400 km. Jest to mniej niż pojazd z silnikiem Diesla, ale wystarczająco dla standardowej dziennej pracy na liniach miejskich. Cena nowego pojazdu jest też o ok. 12 proc. wyższa niż autobusu spalinowego. Jednakże, pojazdy napędzane CNG nie mogą zostać uznane za zeroemisyjne z uwagi na emisję takich związków jak CO₂ i amoniaku⁸⁷.

Autobusy elektryczne funkcjonujące w Polsce to pojazdy zasilane akumulatorami. Nie spalają one paliwa, a tym samym nie emitują szkodliwych substancji do atmosfery podczas użytkowania. Pracują również znacznie ciszej niż klasyczne autobusy spalinowe, co wynika z charakteru napędu elektrycznego, w którym nie dochodzi do sprężania i rozprężania gazów, a do wymiany elektronów pomiędzy elektrodami. Z tego względu uważane są za dobre rozwiązanie na trasach z gęstą zabudową, na liniach biegnących wzdłuż terenów zielonych czy np. szpitali lub szkół.

Dobrze sprawdzają się także na trasach nocnych, liniach położonych na płaskiej powierzchni, z dużą liczbą przystanków i możliwymi dłuższymi postojami na pętłach. Za jedną z głównych zalet autobusów elektrycznych uważa się niskie koszty eksploatacji i to zarówno w obszarze wykorzystywanej jako paliwo energii elektrycznej, jak i np. mniejsze koszty napraw. Na terenie Unii Europejskiej eksploatowane są w większości autobusy o długości 9-12 metrów. Dłuższe, przegubowe, 18-metrowe pojazdy dopiero pojawiły się na rynku⁸⁸.

Problematyczna jest natomiast kwestia ładowania. W Polsce autobusy ładuje się na dwa sposoby – te z akumulatorami o dużej pojemności ładowane są zazwyczaj raz dziennie, te z mniejszymi akumulatorami są doładowywane przez pantograf, ładowarkami o wysokiej mocy podczas dłuższych postojów na przystankach krańcowych. Pełne naładowanie, na którym pojazd przejechać może do 250 km, zajmuje do kilku godzin w zależności od pojemności akumulatora i mocy ładowarki.

85 Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 roku o elektromobilności i paliwach alternatywnych

86 Komisja Europejska, *EU Transport in figures. Statistical pocketbook 2019* (www.ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2019_en) (dostęp 29.09.2020).

87 Transport & Environment https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/2020_06_CNG_particle_exec_summary_PL.pdf (dostęp 30.11.2020).

88 Dane za 2016 rok www.ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_transport_statistics/pl (dostęp 29.09.2020).

Z tego względu autobus musi być ładowany kilkakrotnie w ciągu doby, co wymusza na operatorach transportu publicznego wykorzystywanie większej liczby taboru niż miałyby to miejsce przy obsłudze linii autobusami spalinowymi. Autobusy elektryczne są też znacznie droższe od spalinowych czy np. gazowych. Pojazdy z silnikami elektrycznymi są obecnie promowane przez systemy dopłat przez większość państw Unii Europejskiej.

W Polsce, w marcu 2017 roku, Rada Ministrów przyjęła Plan Rozwoju Elektromobilności, a w lutym 2018 roku weszła w życie Ustawa z dnia 11 stycznia o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Ustawa wprowadziła też możliwość ustanowienia przez rady gmin stref czystego transportu, do których możliwy jest wjazd wyłącznie pojazdami elektrycznymi, napędzanymi gazem ziemnym lub wodorem.

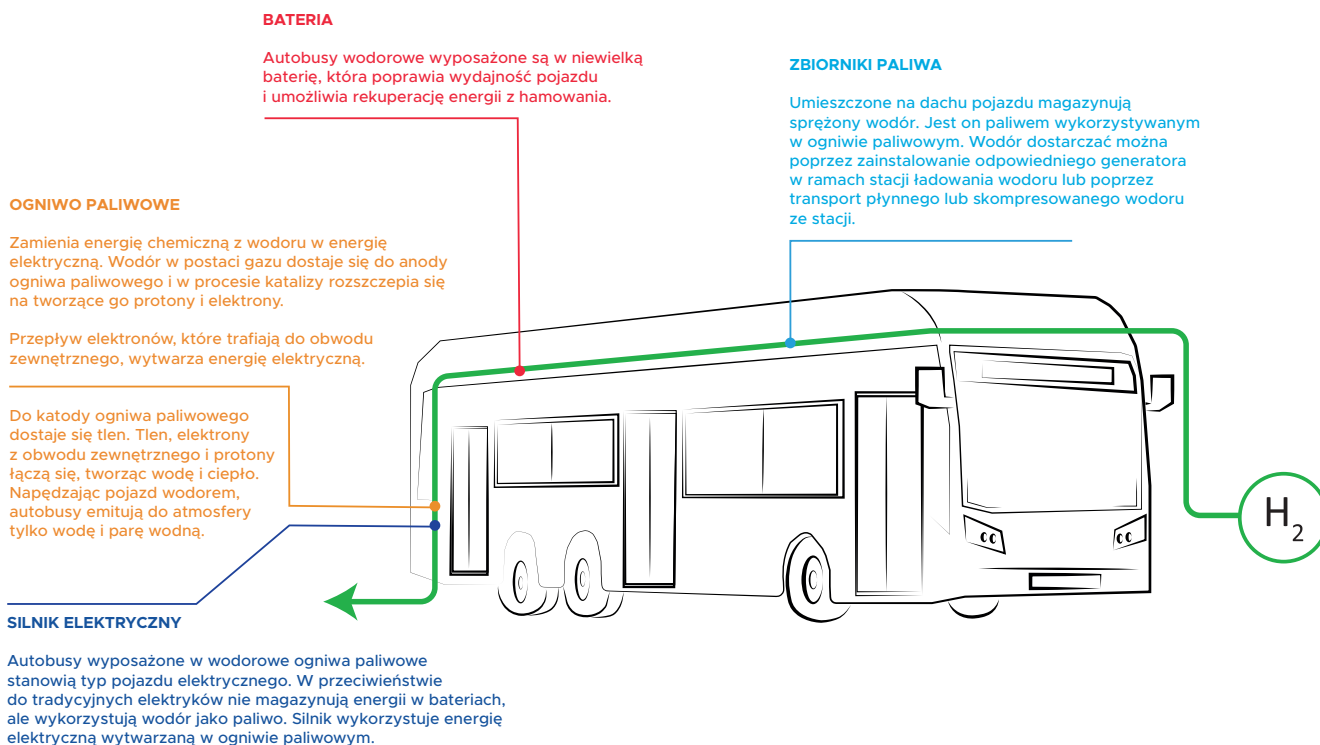
Specyficznym rodzajem autobusu elektrycznego jest autobus zasilany wodorowymi ogniwami paliwowymi (FCH). W przypadku tego typu pojazdów prąd potrzebny do zasilania pochodzi nie z baterii, a z reakcji utleniania wodoru. Autobusy FCH są szczegółowo opisane w dalszej części tego rozdziału.

Kolejnym typem pojazdów w kołowym transporcie publicznym wyposażonym w napęd alternatywny są autobusy hybrydowe. Wykorzystują one zarówno silnik spalinowy, jak i silnik elektryczny. Pierwszy autobus tego typu w Polsce pojawił się w 2008 roku we flocie MPK Poznań.

Zaletą pojazdów hybrydowych jest dużo niższe niż w klasycznych pojazdach napędzanych silnikiem Diesla zużycie paliwa, a także mniejsza emisyjność. W rejonie przystanków, podczas ruszania, hamowania i przy niewielkich prędkościach, autobusy wykorzystują silnik elektryczny, są zatem przyjazne środowisku w miejscach, gdzie pasażerowie i osoby postronne są najbardziej narażone na emisję zanieczyszczeń. Silnik spalinowy uruchamia się przy dłuższych i szybszych przejazdach. Dlatego też autobusy hybrydowe zaleca się na trasach o gęstej liczbie przystanków, pomiędzy którymi nie ma możliwości rozwinięcia dużych prędkości. Wadą autobusów hybrydowych, podobnie jak większości pojazdów wyposażonych w napędy alternatywne, jest ich stosunkowo wysoki koszt.

4.3.2. Największe zalety napędu wodorowego dla komunikacji autobusowej

Jak działa autobus zasilany wodorowymi ogniwami paliwowymi?



Źródło: opracowanie własne

- **Zeroemisyjność.** W związku z tym, że wodór może być produkowany ze źródeł w 100 proc. odnawialnych, jeden autobus wodorowy może oszczędzić nawet 800 ton CO₂ w swoim 12-letnim cyklu życia w porównaniu z autobusem spalinowym. Praktycznie zerowa jest również emisja NO_x.
- **Niski poziom hałasu.** Autobusy wodorowe są znacznie cichsze niż pojazdy napędzane silnikiem Diesla. Jak wynika z badań, autobus wodorowy w ruchu emituje hałas 69db w porównaniu z 77db emitowanymi przez autobus spalinowy. Gdy pojazdy stoją, różnica jest jeszcze bardziej znacząca, 63db do 80db na rzecz autobusu wodorowego.⁸⁹ Ograniczenie hałasu przynosi zaś zyski, w postaci oszczędności w systemie zdrowia, wydatków publicznych czy wzrostu cen wielu nieruchomości^{90,91,92}.
- **Krótki czas ładowania i zasięg.** Autobusy oparte na ogniwach paliwowych, dzięki relatywnie krótkiemu czasowi ładowania (poniżej 10 minut) i możliwości przejechania między 350 do nawet 450 km na jednym ładowaniu, pozwalają na większą elastyczność w zarządzaniu flotą w porównaniu z pojazdami baterijnymi. Ponieważ autobus wodorowy może na jednym ładowaniu funkcjonować przez cały dzień, jego wykorzystanie w praktyce niewiele różni się od pojazdu z silnikiem Diesla. Również w zakresie przyspieszenia czy osiąganych prędkości autobusy wodorowe niewiele różnią się od spalinowych⁹³.

89 Roland Berger, *Fuel Cell Electric Buses. Potential for Sustainable Public Transport in Europe*, 2015. https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/150909_FINAL_Bus_Study_Report_OUT_0.PDF (dostęp 29.09.2020)

90 A Solution for Noise Pollution in Today's Bustling Cities www.nuheara.com/news/noise-pollution-solution/#toggle-id-1 (dostęp 29.09.2020).

91 The Impact of Traffic Noise on Housing Values, 2015, Journal of Real Estate Practice and Education www.researchgate.net/publication/282994059_The_Impact_of_Traffic_Noise_on_Housing_Values (dostęp 29.09.2020).

92 Zespół Doradców Gospodarczych TOR, *Hałas komunikacyjny: źródła i metody przeciwdziałania*, 2019.

93 Roland Berger, *Fuel Cell Electric Buses ...* op. cit., 2015.

- **Duża efektywność pomimo wysokiej ceny.** O opłacalności wykorzystania autobusów wodorowych w komunikacji publicznej zadecyduje również relacja cen wodoru do cen ropy naftowej, która na razie przemawia na korzyść paliw kopalnych. Cena kg wodoru w Niemczech została ustalona na 9,5 EUR/kg, a cena litra oleju napędowego oscyluje w granicach 1,05 EUR/litr. Po przeliczeniu wg zużycia paliwa na 100 km oznacza to, że efektywność kosztowa wodoru jest ok. dwukrotnie niższa^{94,95}.

Jeżeli w przyszłości nie zostaną nałożone dodatkowe podatki czy innego typu opłaty na produkcję wodoru, a cena ropy wróci do poziomu z roku 2019, to koszty wykorzystania obu paliw w transporcie mogą zrównać się już w ciągu najbliższych 10 lat. Trzeba też w tym miejscu zaznaczyć, że autobusy FCH charakteryzują się większą efektywnością, jeżeli chodzi o masę paliwa niż autobusy spalinowe. Autobus o długości 12 m zasilany wodorowymi ogniwami paliwowymi zużywa średnio ok. 10 kg wodoru na 100 km, tymczasem pojazd napędzany silnikiem Diesla spala ok. 41 kg (49 litrów) oleju napędowego na 100 km.

- **Korzyści gospodarcze.** Na produkcji autobusów wodorowych i szerzej technologii wodorowych może skorzystać gospodarka. W samych Niemczech rozwój tego rynku może w najbliższych latach stworzyć kilkadziesiąt tysięcy nowych miejsc pracy w branży motoryzacyjnej. Wodorowy autobus Urbino 12 hydrogen ma w swoim portfolio także polsko-hiszpański producent Solaris Bus&Coach. Pojazd miał swoją premierę w 2019 roku podczas targów w Sztokholmie i już znalazł nabywców m.in. we włoskim Bolzano (12 sztuk), Wuppertalu (10 sztuk), oraz Kolonii (15 sztuk). Warto także zwrócić uwagę na dodatkową korzyść związaną z wykorzystaniem wodoru, jaką jest szansa na częściowe uniezależnienie się transportu od dostaw paliw z zagranicy.

94 h2.live podaje cenę H₂ na stacjach w Niemczech 9,50 EUR/kg, średnia cena ON w Niemczech to 1,03 EUR https://www.globalpetrolprices.com/diesel_prices/ (dostęp 16.10.2020). Przy założeniu spalania w autobusie na poziomie 41 litrów ON/100 km i zużycia 10 kg H₂/100 km.

95 CHIC, *Clean Hydrogen in European Cities, Final Report*, 2016, s. 15 www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Final%20Report_CHIC_28022017_Final_Public.pdf (dostęp 29.09.2020) oraz *Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Poznaniu autobusów zeroemisyjnych*, 2018, s. 52 www.poznan.pl/mim/public/konsultujemy/attachments.att?co=show&instance=1017&parent=91693&lang=pl&id=281670 (dostęp 29.09.2020).



Fot. Solaris Bus & Coach sp. z o.o.

4.3.3. Wady napędu wodorowego w komunikacji miejskiej

- **Wysokie koszty produkcji.** Mimo iż od pojawienia się w latach 90. pierwszych pojazdów wodorowych ich cena spadła o niemal 75 proc., to wadą autobusu wodorowego wciąż pozostaje jego wysoki koszt zakupu. Rozwiązaniem umożliwiającym rozwój tego obszaru rynku dla technologii wodorowej jest znaczące zwiększenie liczby pojazdów tego typu i zwiększenie efektywności kosztowej ich produkcji. Proces ten nie wydarzy się samoczynnie, a wymagać będzie aktywnego zaangażowania administracji publicznej i przewoźników autobusowych na całym świecie. Niezbędne jest także wprowadzenie mechanizmów wspierania finansowego zakupu autobusów wodorowych, i to zarówno na państwowym, jak i europejskim poziomie⁹⁶. (por. 8. Finansowanie inwestycji)
- **Koszty infrastruktury.** Popularyzacja wodoru w transporcie publicznym wymagać będzie znacznych nakładów finansowych w obszarze infrastruktury do tankowania i hal utrzymaniowych, które m.in. należy wyposażyć w odpowiednie czujniki. W tej chwili koszt budowy stacji tankowania wodoru dla komunikacji miejskiej jest kilkukrotnie wyższy niż tradycyjnej stacji paliw i sięga ok. 6-9 mln PLN (stacja paliw to koszt ok. 2 mln PLN)⁹⁷. Dlatego też konieczne jest stworzenie mechanizmów finansowego wsparcia dedykowanych dla budowy stacji tankowania wodoru. Takie mechanizmy funkcjonują już w sąsiadujących z Polską Czechach. Tamtejsze Ministerstwo Transportu uruchomiło programy pokrywające do 85 proc. wartości inwestycji.
- **Konieczność inwestycji w szkolenia i komunikację.** Pojawienie się dużej liczby autobusów wodorowych pociągnie za sobą konieczność inwestycji w odpowiednie szkolenia kierowców w zakresie obsługi, działania pojazdów, sytuacji awaryjnych⁹⁸ i obsługi technicznej. Niezbędne będą również działania komunikacyjne ukierunkowane na przekonanie osób sceptycznych wobec nowej technologii. Powinny one podkreślać potrzebę działań na rzecz ochrony środowiska i być realizowane przy współpracy przedstawicieli samorządu, biznesu oraz świata naukowego.

⁹⁶ Roland Berger, *Fuel Cell Electric Buses...* op. cit., 2015.

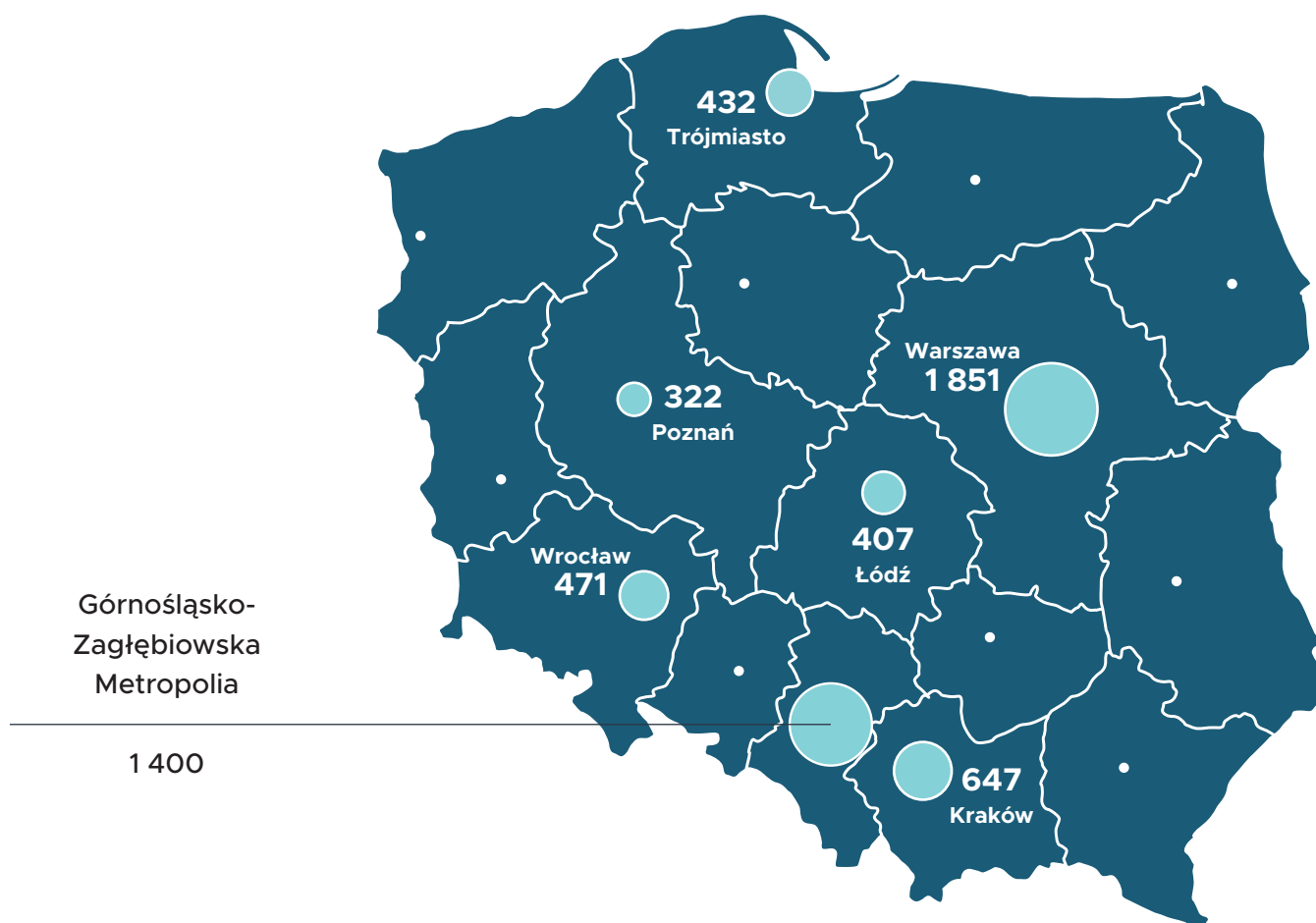
⁹⁷ Retail Station Costs www.h2stationmaps.com/costs-and-financing#retail-station-costs (dostęp 29.09.2020).

⁹⁸ Roland Berger, *Fuel Cell Electric Buses...* op. cit., 2015. s. 11.

4.3.4. Rynek autobusów miejskich w Polsce

Jak informuje Główny Urząd Statystyczny, na koniec 2018 roku w Polsce eksploatowanych było 12 058 autobusów komunikacji miejskiej. W stałej eksploatacji jest 82 proc. z nich, z których każdy średnio pokonuje dziennie ok. 197 km⁹⁹. W największych polskich aglomeracjach działa kilku, kilkunastu, a na Śląsku nawet 40 przewoźników autobusowych, którzy realizują przewozy na zlecenie miejskich organizatorów transportu.

Liczba autobusów w największych polskich miastach



Źródło: ZDG TOR wg danych podawanych przez przewoźników¹⁰⁰

Zdecydowaną większość (88,3 proc. w 2018 roku) wszystkich eksploatowanych w Polsce autobusów komunikacji miejskiej stanowiły pojazdy spalinowe. Jednak od roku 2016 wzrosła liczba rejestrowanych nowych pojazdów z napędem alternatywnym. W ciągu ostatnich 4 lat zarejestrowano w Polsce 812 tego typu autobusów. Głównym celem stosowania napędów alternatywnych w pojazdach transportu publicznego jest ograniczenie emisji szkodliwych dla zdrowia substancji, m.in. dwutlenku węgla i tlenków azotu.

⁹⁹ GUS, Transport – wyniki działalności w 2018 roku.

¹⁰⁰ Stan na 26.10.2020 roku.

Wśród nowych autobusów na rynku polskim wciąż dominują pojazdy z napędem Diesla. Istotne zmiany zachodzą w segmencie autobusów miejskich, gdzie widać już znaczącą zmianę w zakresie wybieranych napędów. Strategie miast zakładają przechodzenie na alternatywne napędy, co w wielu przypadkach jest elementem planowanego rozwoju zakładającego walkę o poprawę jakości powietrza i ograniczenie szkodliwego wpływu emisji CO₂. Musimy jednak pamiętać, że z punktu widzenia największych miast najważniejsze jest zachęcanie do korzystania z transportu publicznego jako takiego – większa część emisji CO₂ z sektora transportowego pochodzi bowiem z motoryzacji indywidualnej.

Napędy alternatywne a rynek nowych autobusów w Polsce

Lata	2016	2017	2018	2019	Q1 2020
Nowe autobusy	1 987	2 297	2 706	2 478	397
w tym miejskie	771	723	1 145	1 032	125
w tym z napędem alternatywnym:	42	160	317	293	61
- autobusy zasilane CNG	19	12	54	180	41
- autobusy elektryczne	6	63	63	55	19
- autobusy hybrydowe	17	85	200	58	1

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Polskiego Związku Przemysłu Motoryzacyjnego¹⁰¹

W roku 2019 zarejestrowano w Polsce 2478 nowych autobusów, tj. o 8,4 proc. mniej niż w rekordowym roku 2018. W roku 2019 odnotowano 1032 nowe rejestracje autobusów miejskich, również w tym przypadku liczba ta była mniejsza niż rok wcześniej, gdy na polskim rynku pojawiło się 1145 nowych autobusów miejskich. Od roku 2016 rośnie liczba rejestrowanych nowych pojazdów z napędem alternatywnym, co wynika z polityki UE i programów wsparcia czystego transportu.

Rekordowy pod tym względem był rok 2018, kiedy to zarejestrowano 317 autobusów wyposażonych w napęd inny niż Diesla. Ogółem, w ciągu ostatnich czterech lat w Polsce, zarejestrowano 812 autobusów z napędem alternatywnym, co stanowi 8,6 proc. pojazdów zarejestrowanych ogółem i 22,1 proc. nowych pojazdów komunikacji miejskiej. Spośród nowych pojazdów komunikacji miejskiej zarejestrowanych w ciągu ostatnich czterech lat dominowały hybrydy, zaś najmniej było pojazdów elektrycznych.

Pierwsze dane dla roku 2020¹⁰² wskazywały, że możliwe będzie osiągnięcie rejestracji na poziomie 2,1-2,2 tys. nowych autobusów w ciągu roku. Widoczne załamanie w pierwszym kwartale oraz kolejne miesiące, w których rynek niemal zamarł

¹⁰¹ Pierwsze rejestracje nowych autobusów styczeń – grudzień (za lata 2016, 2017, 2018, 2019 oraz marzec 2020). Analizy PZPM i JMK na podstawie danych Centralnej Ewidencji Pojazdów www.pzpm.org.pl/Rynek-motoryzacyjny/Rejestracje-autobusy/Styczen-2020-r/Pierwsze-rejestracje-autobusow-nowych-STYCZEN-2020r (dostęp 29.09.2020).

¹⁰² *Ibidem*.

ze względu na pandemię koronawirusa COVID-19, podważyły te prognozy¹⁰³. W samym roku 2020 pandemia będzie miała najmniejsze przełożenie na segment autobusów miejskich, w którym realizowane są zamówienia z lat poprzednich – można się spodziewać rejestracji ok. 800 nowych pojazdów, z których znaczna część będzie miała napęd alternatywny.

W ciągu najbliższych lat spodziewana jest również dalsza sprzedaż pojazdów CNG – które pozwalają na częściową redukcję emisji CO₂, w Europie widać już jednak trend odchodzenia od tego napędu¹⁰⁴. Wynika to z faktu, że gaz ziemny jest uznawany przez Komisję Europejską za paliwo przejściowe. Hybrydy również pozostaną pojazdami okresu przejściowego, zaś sprzedaż autobusów elektrycznych oraz autobusów wodorowych, uznanych przez UE jako ekologiczne pojazdy przyszłości, powinna sukcesywnie rosnąć.

Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na to, że chociaż do tej pory w Polsce nie zostały zamówione żadne autobusy z napędem wodorowym, to na terenie naszego kraju prowadzona jest ich produkcja. Doświadczenia zebrane podczas produkcji pojazdów dla łódzkiej stolicy (por. 4.3.9. wodorowe trolejbusy w Rydze) pozwoliły Solarisowi uzupełnić swoje portfolio o autobus wodorowy Urbino 12 hydrogen.

4.3.5. Analiza szans ekonomicznych rozwoju autobusu wodorowego

Sens wykorzystania autobusów wodorowych w transporcie publicznym analizować należy nie tylko pod kątem ich funkcjonalności operacyjnej, ale przede wszystkim wyzwań środowiskowych, jakie stawia współczesny świat i związanych z tym regulacji, które nakłada na kraje członkowskie Unia Europejska. Jeżeli nawet spełniający normy EURO VI autobus spalinowy emituje ok. 120 kg CO₂ na 100 km, to oznacza, że potrzeba alternatywnych napędów w komunikacji miejskiej jest bardzo pilna.

Systemy wsparcia będą stanowiły dla przewoźników samorządowych impuls do inwestycji w nowe autobusy zeroemisyjne, redukując różnicę pomiędzy kosztem zakupu autobusu FCH i spalinowego (por. 8. Finansowanie). Głównym generatorem kosztów są bowiem systemy napędowe, a pozostała część pojazdu nie różni się istotnie od standardowych autobusów. Jak pokazują dane firmy McKinsey¹⁰⁵, korzyści wynikające z wykorzystania autobusów wodorowych rosną wraz z czasem.

W każdym z trzech przedstawionych poniżej wariantów całkowity koszt posiadania (TCO) w USD/km w przypadku pojazdów na ogniwa paliwowe przedstawia się korzystniej niż w przypadku konwencjonalnych autobusów spalinowych. Na dłuższych trasach autobusy wodorowe generują też niższe koszty od autobusów elektrycznych. Konieczne jest jednak również zapewnienie – przynajmniej na początkowym etapie – dostępu do paliwa w konkurencyjnej cenie. Pozwoli to zlikwidować barierę zbyt wysokich kosztów eksploatacyjnych autobusów wodorowych. Należy też założyć, że opłacalność zakupu autobusu wodorowego będzie można dostrzec dopiero analizując cały cykl życia pojazdu i zewnętrzne koszty (np. zdrowotne, środowiskowe)¹⁰⁶.

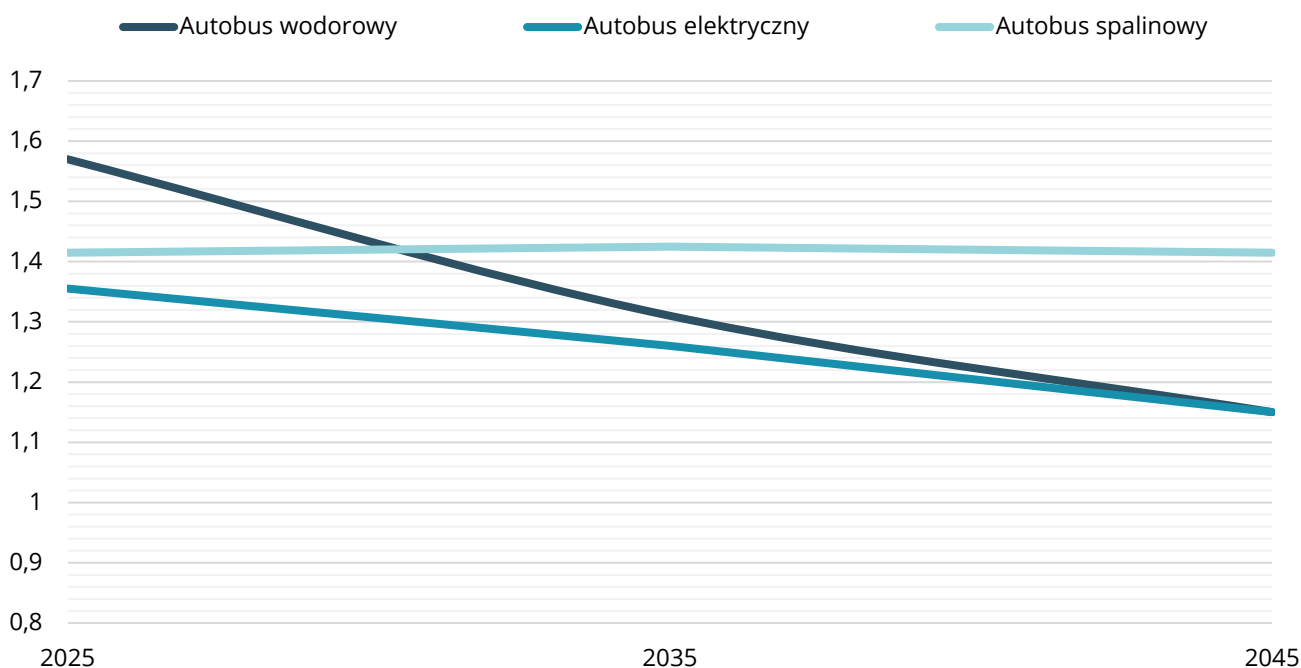
103 <https://www.money.pl/gospodarka/koronawirus-rynek-autobusow-moze-sie-zalamac-6513145806640769a.html> (dostęp 15.10.2020)

104 <https://www.petroleum-economist.com/articles/technology/vehicles/2019/ngvs-battle-zero-emissions-rivals-in-eu-transport-sector> (dostęp 15.10.2020)
Tak wynika również z decyzji Ministerstwa Klimatu i Środowiska, które wesprze jedynie autobusy zeroemisyjne (por. 8. Finansowanie).

105 McKinsey & Company, *Hydrogen: The next wave for electric vehicles?*, 2017.

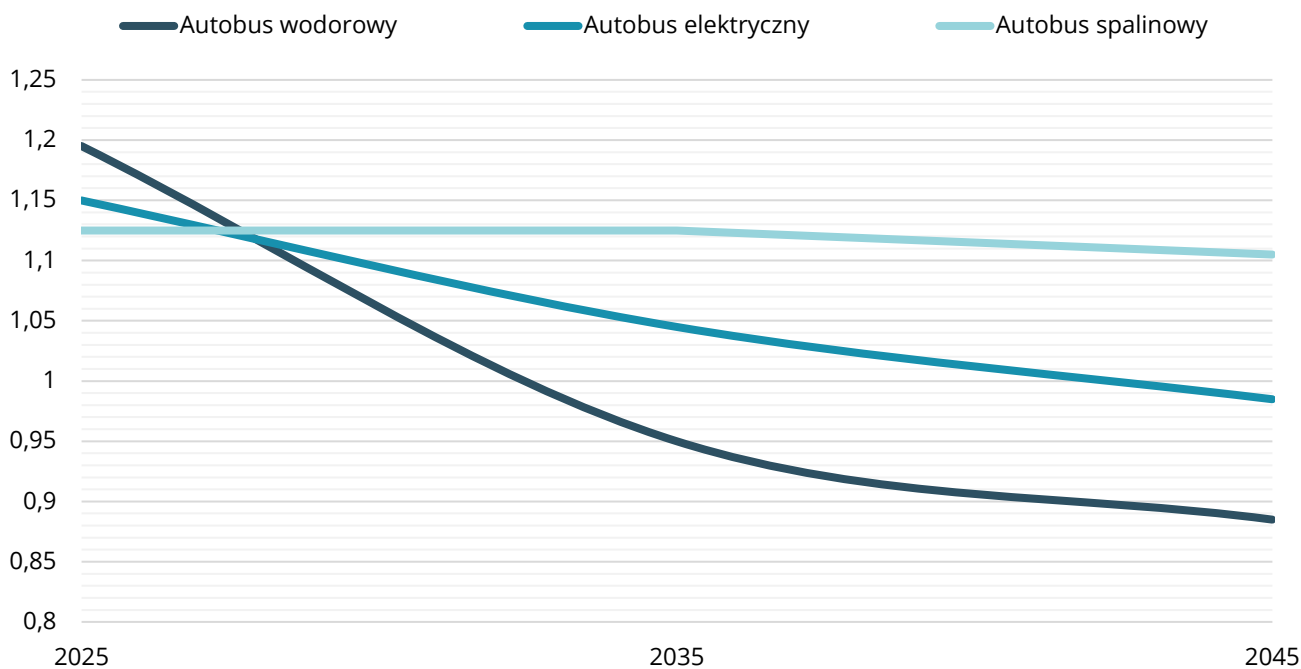
106 Zero Emission HGV Infrastructure Requirements (Ricardo Energy and Environment) www.theccc.org.uk/publication/zero-emission-hgv-infrastructure-requirements/ (dostęp 29.09.2020). Zobacz również Forschungszentrum Jülich, 2018 https://user.fz-juelich.de/record/842477/files/Energie_Umwelt_408_NEU.pdf (dostęp 29.09.2020).

Proгноza TCO autobusu komunikacji miejskiej na krótkim dystansie (150 km), USD/km



Źródło: Hydrogen Council, 2020¹⁰⁷

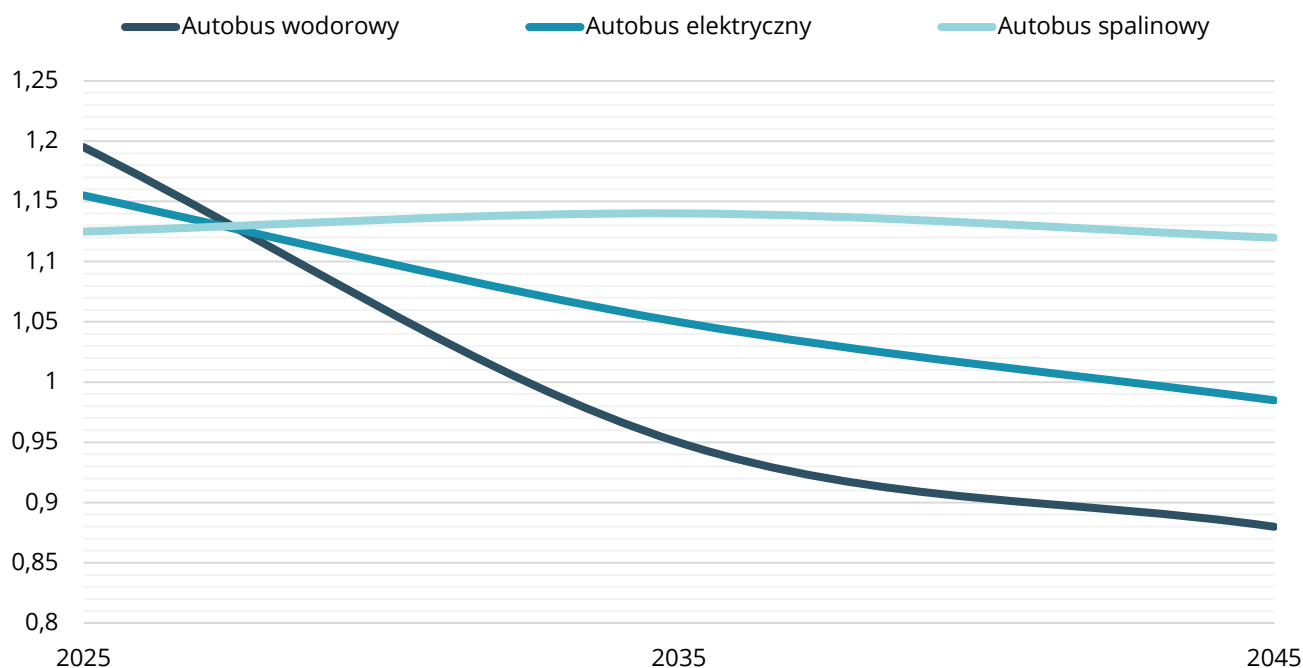
Proгноza TCO autobusu komunikacji miejskiej na długim dystansie (450 km), USD/km



Źródło: Hydrogen Council, 2020

¹⁰⁷ Hydrogen Council, *Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective*, 2020. Wg McKinsey, 2017. Analiza uwzględnia koszty inwestycji w stacje tankowania H₂ i ładowania autobusów elektrycznych.

Proгноza TCO autobusu dalekobieżnego (500 km), USD/km



Źródło: Hydrogen Council, 2020

Należy też zwrócić uwagę na to, że rozwój rynku autobusów na wodorowe ogniwa paliwowe jest ściśle powiązany z rozwojem rynku samochodów osobowych wykorzystujących ten sam rodzaj napędu (por. 4.4. Możliwości i perspektywy zastosowania wodoru w transporcie drogowym).

Szeroka, seryjna produkcja takich pojazdów zwiększyłaby potencjał technologiczny wielu firm motoryzacyjnych, co również wpłynęłoby na zmniejszenie kosztów końcowych (m.in. poprzez znaczącą redukcję kosztów baterii i systemów ogniwo paliwowych) i zwiększenie funkcjonalności autobusów zasilanych ogniwami paliwowymi. Przy produkcji 200 000 sztuk baterii rocznie koszt jednej wyniósłby 324 EUR/kWh, a przy 450 000 sztuk rocznie – już tylko 220 EUR/kWh¹⁰⁸. Co ważne, szanse na dynamiczny rozwój tej gałęzi branży motoryzacyjnej są zdaniem ekspertów bardzo duże¹⁰⁹.

Również w obszarze transportu publicznego powstają koalicje miast i firm technologicznych, które ukierunkowane są na popularyzację wodoru. Wskazują one, że pełne przejście na pojazdy zeroemisyjne jest procesem i rozpoczęcie konkretnych działań już teraz może uchronić budżety samorządów przed kosztowną adaptacją do nowych warunków w niedalekiej przyszłości.

¹⁰⁸ Roland Berger, *Fuel Cell Electric Buses...* op. cit, 2015.

¹⁰⁹ McKinsey & Company, *Hydrogen: The next wave for electric vehicles?*, 2017.

4.3.6. Potencjał rynkowy

Urbanizacja i rozwój metropolii na całym świecie wiąże się z szeregiem wyzwań, którym należy sprostać. Szacuje się, że procent mieszkańców miast wśród Europejczyków wzrośnie z 71 proc. w 2014 do 80 proc. do 2030 roku¹¹⁰. Jednocześnie o 1,4 proc. wzrosnąć ma popyt na transport pasażerski, którego 80 proc. stanowi transport drogowy. To sprawia, że niezwykle pilne staje się zarówno zwiększenie udziału transportu publicznego w szeroko pojętej mobilności, jak i ograniczenie niekorzystnych zjawisk będących efektem transportu. Chodzi tu m.in. o hałas i zanieczyszczenie powietrza.

To właśnie w dużych miastach, z gęstą zabudową i dużym natężeniem ruchu, istnieje największy potencjał rynkowy dla autobusów wyposażonych w ogniwa paliwowe. Jak pokazują analizy¹¹¹, pojazdy tego typu są najbardziej efektywne wtedy, gdy pokonują dziennie ok. 400 km lub więcej. Na krótszych trasach (ok. 150 km) ich opłacalność w całym cyklu życia porównywalna jest do autobusów elektrycznych. Nie bez znaczenia jest tu też potencjał finansowy największych samorządów, które mogą pozwolić sobie na inwestycje w tabor i towarzyszącą mu infrastrukturę. Duże miasta mogą również zapewnić odpowiednią skalę wykorzystania autobusów wodorowych, co uzasadniałoby poniesione koszty.

Obiecująco przedstawiają się także perspektywy wykorzystania pojazdów wodorowych na trasach międzymiastowych (ok. 500 km). Pilotażowe projekty tej technologii w Europie są jednak dopiero na etapie planowania. Analizując potencjał rynkowy dla autobusów wodorowych, należy też zwrócić uwagę na zbieżność rozwoju tego rynku z planami Unii Europejskiej (por. 6. Strategie wodorowe...).

4.3.7. Niezbędna infrastruktura

W przeciwieństwie do trolejbusów czy niektórych autobusów elektrycznych, autobusy wodorowe nie wymagają tworzenia dodatkowej infrastruktury na trasie poza punktami tankowania na zajezdniach lub w ich pobliżu. Mogą bowiem poruszać się cały dzień na jednym ładowaniu, które na dodatek trwa relatywnie krótko. Jest to, podobnie jak w przypadku samych pojazdów, efektem rozwoju technologii wodorowych na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat. W ciągu 15 lat udało się bowiem zredukować czas tankowania z 25 do niecałych 10 minut. Dalsze skracanie tego czasu nie jest konieczne, pod warunkiem, że możliwe będzie jednoczesne ładowanie i mycie pojazdu na zajezdni.

Aby operatorzy mogli inwestować w autobusy wodorowe, niezbędne będą w najbliższych latach programy dofinansowań. W 2021 roku na dofinansowanie autobusów zeroemisyjnych przeznaczone będzie 1,3 mld PLN¹¹², natomiast muszą się pojawić inwestycje infrastrukturalne w stacje tankowania wodoru w zajezdniach autobusowych lub w ich pobliżu. Większość stacji ładowania wykorzystywanych jest wyłącznie na potrzeby przewoźników autobusowych, ale np. w Hamburgu infrastruktura jest ogólnie dostępna na potrzeby wszystkich pojazdów, również prywatnych samochodów. Stacje mogą zaopatrywać się w paliwo na dwa sposoby. Wodór może być produkowany na miejscu w stacji ładowania poprzez instalację generatora, w którym zachodzi proces elektrolizy (por. 2.5. Elektroliza). Może być również dostarczony do niej z zewnątrz. Możliwe jest również podejście hybrydowe, łączące oba powyższe sposoby.

¹¹⁰ United Nations, *World Urbanization Prospect*, 2014.

¹¹¹ Ricardo Energy and Environment, *Zero Emission HGV Infrastructure Requirements* www.theccc.org.uk/publication/zero-emission-hgv-infrastructure-requirements/ (dostęp 29.09.2020).

¹¹² Minister Kurtyka: do samorządów trafi 1,3 mld zł na zeroemisyjne autobusy www.portalkomunalny.pl/minister-kurtyka-do-samorzadow-trafi-13-mld-zl-na-zeroemisyjne-autobusy-409951/ (dostęp 29.09.2020).

Niezależnie od tego, z której z powyższych opcji skorzysta operator, wodór podlega następnie kompresji i zasila dystrybutor. Wyzwaniem, nad którym wciąż trwają prace, jest takie zaplanowanie zajezdni autobusowej, które umożliwiłoby przyjęcie 100 lub więcej pojazdów wodorowych dziennie.

Jak wynika z analiz¹¹³, w przeciwieństwie do autobusów elektrycznych, wraz z rozwojem rynku koszt inwestycji w infrastrukturę do ładowania wodoru znacząco maleje. Koszt stacji ładowania spadnie o 60 proc., jeśli udział w rynku wzrośnie z obecnych 0,1 proc. do poziomu 20 proc¹¹⁴. Ze względu na wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną, analogiczny wzrost udziału w rynku stacji elektrycznych wygenerowałby wzrost kosztów o 200 proc. W takim scenariuszu koszty urządzeń do kompresji wodoru spadłyby o połowę, w analogicznej sytuacji w przypadku autobusów elektrycznych zwiększone zapotrzebowanie na energię powiększyłoby koszty siedmiokrotnie.

Przy dużym udziale autobusów elektrycznych we flotach polskich przewoźników, niezbędne mogłoby się także okazać takie skoordynowanie procesów ładowania, aby nie były one realizowane w szczytach dobowego obciążenia sieci energetycznej, co mogłoby skutkować jej przeciążeniem.

W obszarze infrastruktury konieczne jest także odpowiednie zaadaptowanie hal utrzymaniowych do stacjonowania pojazdów wodorowych. Wymaga to zainstalowania m.in. czujników wodoru, odpowiedniego oświetlenia i wentylacji, a także platform umożliwiających pracę na dachu pojazdu. Kompleksowe przystosowanie zajezdni do obsługi autobusów wodorowych jest procesem, którego nie da się przeprowadzić w krótkim czasie. Uczestnicy programów pilotażowych zwracają uwagę, że inwestycje w infrastrukturę powinny być sukcesywnie wdrażane wraz z rozwojem floty taborowej¹¹⁵.

4.3.8. Case study – Transport w Londynie

Londyn jest miastem, w którym zarówno obecny stopień wykorzystania technologii wodorowych w transporcie publicznym, jak i plany związane z rozwojem tego obszaru są najbardziej zaawansowane ze wszystkich miast europejskich. Władze Londynu zdecydowały, że wszystkie nowe piętrowe autobusy wykorzystywane przez miasto będą hybrydowe, elektryczne lub napędzane wodorem. Najpóźniej do 2037 roku stolica Wielkiej Brytanii chce mieć w swojej flocie 9 200 autobusów zeroemisyjnych¹¹⁶. Obecnie posiada łącznie 9 500 pojazdów.

W mieście funkcjonuje już 12 *Low Emission Bus Zones* (Niskoemisyjnych Stref Autobusowych), w których poruszają się wyłącznie najnowsze autobusy wyposażone w ekologiczne napędy. Władze Londynu widzą ogromny potencjał w napędach wodorowych i chcą promować tę technologię zarówno w publicznym, jak i prywatnym transporcie w mieście. Autobusy wyposażone w ogniwa paliwowe jeżdżą już po mieście, a w 2020 roku na ulicach Londynu mają pojawić się pierwsze z 20 zamówionych piętrowych autobusów wodorowych.

¹¹³ Hydrogen Council, *Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective*, 2020.

¹¹⁴ Hydrogen Council, *Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective*, 2020.

¹¹⁵ CHIC, *Clean Hydrogen in European Cities*, 2016.

¹¹⁶ <https://www.london.gov.uk/what-we-do/transport/green-transport> (dostęp 6.11.2020)

Są to pierwsze pojazdy tego typu na świecie. Jak poinformował Transport for London (TfL), koszt jednego autobusu to ok. 500 000 funtów, a całociowy koszt 20 nowych pojazdów wraz z towarzyszącą im infrastrukturą do ładowania to 12 mln funtów. Autobusy dostarczy północnoirlandzki producent Wrightbus. Pojazdy te są znacznie droższe od spalinowych (koszt piętrowego autobusu spalinowego to ok. 200 000 funtów), ale zdaniem TfL inwestycja zwróci się dzięki ograniczeniu zewnętrznych kosztów transportu, takich jak emisje szkodliwych substancji czy hałas. Mimo iż Wielka Brytania opuściła Unię Europejską w styczniu 2020 roku, projekt zdążył jeszcze otrzymać unijne dofinansowanie na poziomie 5 milionów funtów.

Burmistrz Londynu Sadiq Khan zapowiedział, że wymiana taboru jest jednym z głównych punktów na drodze do oczyszczenia powietrza w brytyjskiej stolicy. Stwierdził także, że obecnie Londyn dysponuje największą flotą zeroemisyjnych autobusów w Europie.

4.3.9. Wodorowe trolejbusy w Rydze

W marcu 2020 roku Rigas satiksme, operator transportu publicznego w stolicy Łotwy, poinformował, że działalność rozpoczęło dziesięć zamówionych trolejbusów wspomaganych napędem wodorowym (poprzez tzw. range extender). W marcu wystartowała też pierwsza w mieście stacja ładowania wodoru umożliwiająca produkcję 300 kg wodoru dziennie i ładowanie 5 pojazdów na godzinę. Zbiorniki pozwalają zaś na przechowywanie do 600 kg wodoru.

Dostarczone pojazdy są efektem umowy podpisanej w 2016 roku pomiędzy Rygą a Solaris Bus&Coach. Trolejbusy wyposażone są w ogniwa paliwowe i akumulatory umożliwiające jazdę nawet do 150 km bez zasilania z sieci trakcyjnej. Pojazdy będą wykorzystywane na trasach, które nie są wyposażone w sieć trakcyjną, np. na dojeżdżie do zajezdni. Dostawa pojazdów dla Rygi stanowi część międzynarodowego projektu H₂Nodes. Połowa kosztów projektu pokryta została ze środków Unii Europejskiej w ramach programu Connecting Europe Facility (CEF)¹¹⁷.

4.3.10. Nie tylko miasto: autobusy wodorowe w komunikacji międzymiastowej

Ogniwa paliwowe mogą być wykorzystywane nie tylko w miejskim transporcie publicznym, ale także w podróżach dalekobieżnych. Udowodnić to chce firma FlixBus, spółka-matka marek FlixBus i FlixBus, która rozpoczęła już rozmowy z producentami pojazdów na temat opracowania autobusu zasilanego ogniwami paliwowymi do przewozów dalekobieżnych. Byłby to pierwszy projekt tego typu w Europie.

Projekt, prowadzony we współpracy z firmą Freudenberg Sealing Technologies, ma być częścią planów FlixBus na rzecz ochrony klimatu, które zakładają osiągnięcie 100 proc. neutralności pod względem emisji CO₂ do 2030 roku. Na wspomniany plan składają się m.in.: zapewnienie jak najbardziej wydajnej pod kątem paliwa i technologii floty, inwestowanie w technologie neutralne dla klimatu – np. elektryczne autobusy, autobusy zasilane wodorem lub biogazem oraz opracowanie modelu kompensacji za pozostałą emisję CO₂. W 2018 roku FlixBus uruchomił testowo dwie linie – we Francji, i w Niemczech – obsługiwane autokarami z napędem elektrycznym.

¹¹⁷ Hydrogen trolleybuses running on trolleybus route No. 4 <http://www.rigassatiksme.lv/en/news/hydrogen-trolleybuses-running-on-trolleybus-route-no-4/> (dostęp 29.09.2020).

Według obecnych założeń technicznych, pojazdy napędzane ogniwami paliwowymi planowo będą mogły przejechać na jednym tankowaniu co najmniej 500 km, a samo tankowanie autobusu dedykowanego do komunikacji międzymiastowej ma zajmować maksymalnie 20 minut. Cechy wydajności autobusów napędzanych ogniwami paliwowymi, takie jak moc i przyspieszenie, mają odpowiadać obecnym standardom autobusów dalekobieżnych.

4.3.11. Wodór w transporcie miejskim – podsumowanie

Do głównych wyzwań miast w zakresie transportu należą zanieczyszczenie powietrza, hałas i rosnące koszty komunikacji miejskiej. Zastosowanie wodoru jako paliwa, ze względu na zeroemisyjność, duży zasięg pojazdów i krótki czas tankowania, może stanowić odpowiedź na te wyzwania. Co istotne, w Polsce istnieje już krajowe zaplecze w postaci producenta autobusów z ogniwami paliwowymi.

Rozwój wodorowego transportu publicznego musi mieć dla samorządów sens ekonomiczny. Odpowiedzią na wyższy koszt zakupu autobusów FCH są dotacje na zakup taboru zeroemisyjnego. Natomiast wysoki koszt produkcji i sprzedaży wodoru oraz brak odpowiedniej infrastruktury do tankowania są obecnie poważnymi przeszkodami w upowszechnieniu tego paliwa.

Potencjał wdrożenia wodoru w transporcie publicznym należy ocenić jako wysoki, ale potrzebny do tego jest dalszy rozwój technologii i spadek kosztów oraz finansowe wsparcie samorządów we wdrożeniach.

4.4. Możliwości i perspektywy zastosowania wodoru w transporcie drogowym

Zastosowanie wodoru w transporcie drogowym na długich dystansach, zwłaszcza w transporcie ciężarowym, ma duży potencjał, ale wymaga znacznych inwestycji w rozwój infrastruktury i zachęt dla użytkowników flotowych. Dotyczy to zwłaszcza firm obsługujących ruch międzynarodowy, gdzie wodór eliminuje barierę małego zasięgu i długiego czasu ładowania pojazdów elektrycznych bateryjnych.

Transport drogowy stanowi podstawę systemu transportowego Unii Europejskiej. Rozbudowana sieć dróg to efekt m.in. świadomej polityki UE w zakresie inwestycji w transeuropejską sieć transportową (TEN-T) oraz działań, których celem jest zapewnienie swobodnego przepływu osób oraz towarów¹¹⁸. Transport drogowy odpowiada za nieco ponad połowę rynku przewozu towarów oraz ponad 82,9 proc. przewozu osób¹¹⁹. Odpowiada również za największą (73,2 proc.) emisję CO₂ spośród wszystkich rodzajów transportu w Unii Europejskiej¹²⁰. Niezaprzeczalną zaletą pojazdów drogowych zasilanych wodorem w porównaniu do samochodów wyposażonych w silniki spalinowe jest ich mała lub zerowa emisyjność. Jeśli wodór do ich zasilania jest produkowany z wykorzystaniem OZE (por. 2.4.: Wodór produkowany z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii), to faktyczny ślad węglowy z ich użytkowania wynosi zero.

¹¹⁸ EU Transport in figures. Statistical pocketbook 2019 www.ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2019_en (dostęp 29.09.2020).

¹¹⁹ Dane za 2016 rok www.ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_transport_statistics/pl (dostęp 29.09.2020).

¹²⁰ ICCT, CO₂ emissions and fuel consumption standards for heavy-duty vehicles in the European Union, 2018, s. 3 www.theicct.org/sites/default/files/publications/Efficiency_standards_HDVs_EU_Briefing_20180504.pdf (dostęp 29.09.2020).



*Uruchomienie sieci stacji
tankowania wodoru umożliwi
rozwój rynku pojazdów zasilanych
wodorowymi ogniwami paliwowymi.*

4.4.1. Infrastruktura – bariera w rozwoju mobilności opartej na wodorze

Największym wyzwaniem dla rozwoju mobilności opartej na wodorze jest brak odpowiedniej infrastruktury do tankowania. Na koniec sierpnia 2020 roku w Unii Europejskiej funkcjonowały 124 stacje tankowania wodoru, z czego 84 w Niemczech (w tym dwa punkty ładowania na stacjach star należących do Grupy ORLEN), 14 we Francji oraz 8 w Danii¹²¹. W Polsce budowa pierwszej stacji tankowania wodoru ma ruszyć w 2021 roku.

PKN ORLEN, lider w obszarze technologii wodorowych w Polsce, prowadzi już sprzedaż wodoru na dwóch stacjach paliw w Niemczech. W planach jest, że w 2021 roku ruszy sprzedaż wodoru na kolejnych trzech stacjach w Czechach. Odbiorcami wodoru z instalacji PKN ORLEN mają również być zakłady transportu publicznego w Krakowie, Płocku oraz Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii.

LOTOS planuje uruchomić dwie stacje tankowania wodoru (w Gdańsku i w Warszawie). Podpisał także 6 czerwca 2020 roku list intencyjny z władzami Tczewa, Gdyni i Wejherowa dotyczący dostaw wodoru w pierwszym etapie (do 2024 roku) dla 10-15 autobusów miejskich, zaś w drugim (do 2028 roku) – dla dodatkowych 41 pojazdów. W maju 2020 roku PGNiG podpisała umowę z polsko-brytyjskim konsorcjum na zaprojektowanie i budowę stacji badawczej tankowania pojazdów napędzanych wodorem. Uruchomienie stacji planowane jest w pierwszej połowie 2021 roku na warszawskiej Woli, przy ul. Prądzyńskiego, w sąsiedztwie istniejącej stacji tankowania CNG (sprężonego gazu ziemnego).

W październiku 2020 roku o zamówieniu od norweskiego dostawcy stacji tankowania pojazdów wodorem poinformował ZE PAK. Spółka planuje uruchomienie w 2021 roku farmy fotowoltaicznej o mocy szczytowej 70 MW, która będzie zasilala elektrolizer w Koninie. Stamtąd zielony wodór trafi do stacji w Koninie i Warszawie. Wartość zamówienia wynosi 3,2 mln EUR, spółka nie podała jakiej liczby stacji dotyczy inwestycja¹²².

4.4.2. Porównanie kosztów inwestycji w infrastrukturę dla paliw alternatywnych

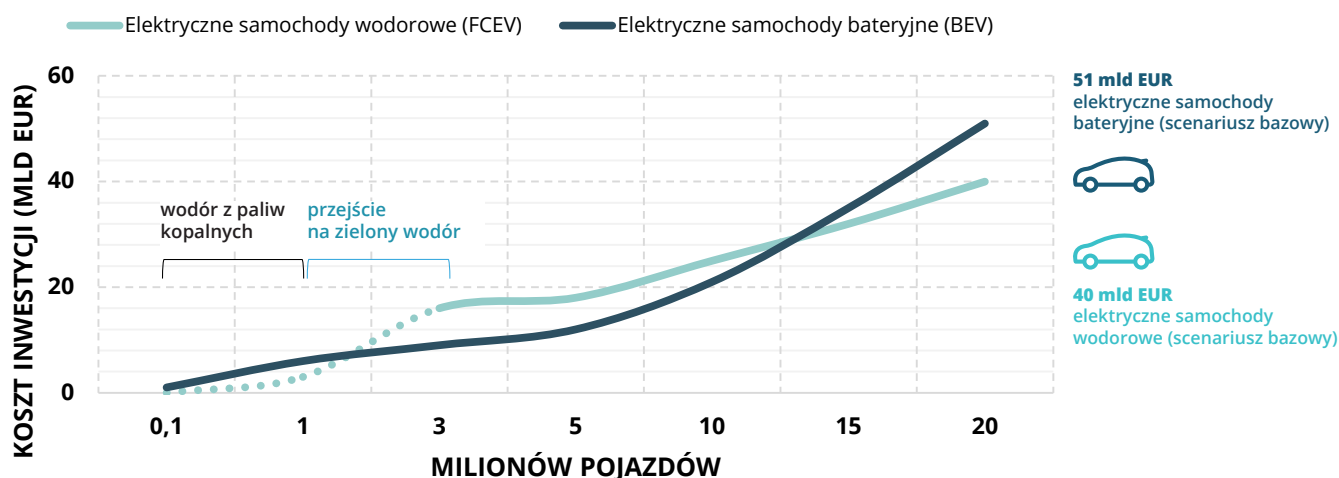
W analizie optymalnych źródeł napędów alternatywnych dla transportu istotne jest całościowe porównanie kosztów infrastruktury. Przewagą technologii wodorowej jest fakt, że wraz z osiągnięciem efektu skali możliwe jest jednak uzyskanie mniejszych kosztów niż przy budowie analogicznej sieci ładowania dla samochodów elektrycznych bateryjnych. Przy flocie wynoszącej co najmniej 1 mln pojazdów koszt budowy niezbędnej sieci stacji tankowania wodorem jest o 900 mln EUR mniejszy niż dla odpowiedniej sieci ładowarek elektrycznych. Przy poziomie niższym i flocie do 100 tys. pojazdów przewagę kosztową ma infrastruktura dla pojazdów bateryjnych¹²³.

¹²¹ Według danych Europejskiego Obserwatorium Paliw Alternatywnych www.eafo.eu/alternative-fuels/hydrogen/filling-stations-stats# (dostęp 29.09.2020).

¹²² Komunikat prasowy ZE PAK S.A., <https://zepak.com.pl/pl/o-firmie/biuro-prasowe/aktualnosci/11641-ze-pak-kupuje-pierwsze-stacje-tankowania-wodorem-samochodow-osobowych-i-autobusow.html> (dostęp 15.10.2020).

¹²³ Forschungszentrum Jülich, 2018 https://user.fz-juelich.de/record/842477/files/Energie_Umwelt_408_NEU.pdf (dostęp 29.09.2020).

Porównanie kosztów infrastruktury dla samochodów elektrycznych bateryjnych i wodorowych



Źródło: Forschungszentrum Jülich, 2018¹²⁴.

W raporcie opracowanym przez Instytut Ricardo na zlecenie Komitetu ds. Zmian Klimatu (Committee on Climate Change), opublikowanym na początku 2020 roku, autorzy wyliczają efektywność przygotowania infrastruktury dystrybucji paliw alternatywnych na przykładzie Wielkiej Brytanii¹²⁵. Ricardo oszacował koszt budowy infrastruktury do tankowania wodoru na 7,7 mld funtów do 2060 roku.

Stworzenie sieci szybkich ładowarek kosztowałoby 11,4 mld funtów, zaś mieszany system ładowarek i zasilania napowietrznego wymagałby inwestycji wartiej 10,4 mld funtów. Z analizy wynika, że do 2060 roku koszty społeczne¹²⁶ napędów alternatywnych byłyby od 38 do 52 proc. mniejsze od poniesionych na transport zasilany paliwami kopalnymi, mimo dużych kosztów na początku. Oszczędności wynikają z większej sprawności napędów wodorowych i elektrycznych oraz spadku cen paliw alternatywnych o zerowym śladzie węglowym wraz z osiągnięciem odpowiedniej skali.

W zależności od wybranego scenariusza konieczne jest wybudowanie do 2060 roku w Wielkiej Brytanii 4,1 tys. stacji tankowania wodorem, 908 stacji szybkich ładowarek lub 3850 km linii trakcyjnych wzdłuż autostrad. Instytut podkreśla, że zarówno napęd elektryczny, jak i wodorowy zapewni podobny do obecnego poziom jakości usług. Według Instytutu Ricardo, moc elektrolizera na stacji zależy od rodzaju źródła energii. Do produkcji ok. 200 kg wodoru dziennie potrzeba elektrolizera o mocy 1 MW. Typowa ciężarówka będzie jednorazowo tankować od 10 do 60 kg wodoru.

Ricardo podlicza, że wodór wymaga mniejszych inwestycji kapitałowych od budowy sieci ładowarek (7,7 mld funtów wobec 11,4 mld funtów), ale roczne koszty użytkowania infrastruktury elektrycznej są niższe niż wodorowej (w 2060 roku 860 mln funtów w stosunku do 1 mld 300 mln funtów). Również bateryjne pojazdy będą wymagały mniejszej ilości dostarczonej energii – 67 PJ w 2060 dla elektryczności i 97 PJ dla wodoru. Mieszane systemy (ładowarkowo-sieciowe lub sieciowo-wodorowe) również odznaczają się mniejszym zużyciem energii od samej technologii wodorowej.

¹²⁴ Ibidem.

¹²⁵ Zero Emission HGV Infrastructure Requirements (Ricardo Energy and Environment) www.theccc.org.uk/publication/zero-emission-hgv-infrastructure-requirements/ (dostęp 29.09.2020).

¹²⁶ Koszt społeczny w ujęciu rocznym nie uwzględnia podatków. Zakłada się, że finansowanie zakupu infrastruktury (CAPEX) ma społeczną stopę dyskontową 3,5 proc., a jej roczny koszt jest dodawany do kosztów eksploatacji i utrzymania (OPEX) infrastruktury w celu obliczenia kosztów całkowitych.

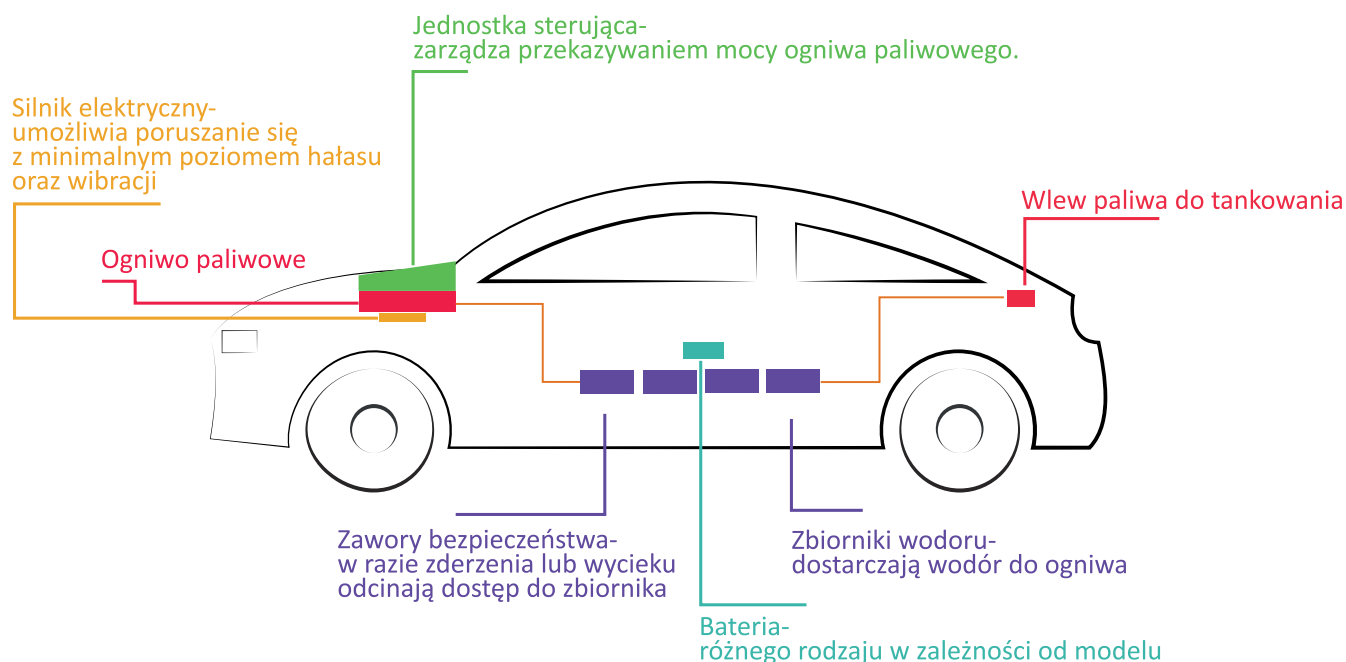
4.4.3. Transport osobowy

Niewielka liczba pojazdów osobowych zasilanych wodorem w skali globalnej, jak i w samej Unii Europejskiej wynika z ograniczonej sieci stacji tankowania, niewielkiej gamy dostępnych pojazdów i ich dużych cen zakupu. Gama seryjnie produkowanych aut osobowych na wodór ogranicza się do zaledwie kilku producentów i modeli. Wśród nich należy wymienić Toyotę Mirai, Hondę Clarity oraz Hyundaią Nexa. Modele Mirai oraz Nexa są dostępne w sprzedaży na wybranych rynkach UE, jednak ich ceny są na razie bardzo wysokie.

Przykładowo Hyundai Nexa w lipcu 2020 roku był wyceniony na rynku niemieckim na ponad 77 tys. EUR, czyli 3-4 razy więcej niż podobnej wielkości samochód typu SUV z silnikiem spalinowym oraz ok. 2-2,5 razy więcej niż inny, nieco mniejszy model tego producenta w wersji z napędem elektrycznym bateryjnym (np. Hyundai Ioniq)¹²⁷. Wysoka cena zakupu, a co za tym idzie mała atrakcyjność samochodów osobowych na wodór, wynika z niewielkiego wolumenu produkcji oraz małej liczby stacji tankowania, co przekłada się na mały popyt.

¹²⁷ Cena wg strony niemieckiego importera marki Hyundai www.hyundai.de/downloads/modelle/preisliste/hyundai-nexo-preisliste-juni-2020.pdf (dostęp 28.08.2020).

Jak działa pojazd drogowy zasilany wodorowym ogniwem paliwowym?



Źródło: opracowanie własne ZDG TOR

Z analizy efektywności napędu wodorowego w transporcie drogowym przeprowadzonej przez Hydrogen Roadmap for Europe wynika, że dla samochodów osobowych wodór jako paliwo ma uzasadnienie jedynie w przypadku pojazdów terenowych, użytkowych i segmentu SUV¹²⁸.

W przypadku aut osobowych pojazdy bateryjne w segmentach od A do C (mini, miejskie, kompaktowe) mają większą efektywność niż przy zastosowaniu wodorowych ogniw paliwowych. Jedynie w przypadku segmentu D (klasa średnia) wodór może być brany pod uwagę jako alternatywa dla baterii pod względem efektywności.

Dzienne przebiegi pojazdów w segmentach od A do C są na tyle małe, że bateria w zupełności wystarczy na zaspokojenie potrzeb. Samochody zasilane wodorem mają przewagę w przypadku częstej eksploatacji na dłuższych trasach (powyżej 300-400 km dziennie) nad ich baterijnymi odpowiednikami, ponieważ na jednym tankowaniu mogą przejechać ok. 700 km. Warto podkreślić, że obecnie w przypadku transportu indywidualnego dominującą pozycję mają pojazdy z silnikiem benzynowym lub Diesla – stanowią one 95,9 proc. całej floty pojazdów¹²⁹.

Według danych Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Pojazdów (ACEA – *European Automobile Manufacturers Association*) udział samochodów o napędzie alternatywnym w UE wynosi zaledwie 3,8 proc., w tym pojazdów elektrycznych bateryjnych i wodorowych jest 0,3 proc.¹³⁰. W grupie tej udział pojazdów wodorowych jest obecnie marginalny. Na koniec października 2019 roku w 5 krajach z największą liczbą pojazdów na wodór (Niemcy, Wielka Brytania, Francja, Holandia, Belgia) zarejestrowanych było ich łącznie zaledwie 247¹³¹.

¹²⁸ Analiza została przygotowana przez organizację branżową Hydrogen Europe. W momencie publikacji zrzeszała ona 17 członków: Air Liquide S.A., BMW Group, Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband, Enagás, Engie, Equinor ASA, N.V. Nederlandse Gasunie, Hydrogenics, ITM Power, Michelin, NEL Hydrogen, Plastic Omnium, Salzgitter AG, Solid Power, Total SA, Toyota Motor Europe oraz Verbud.

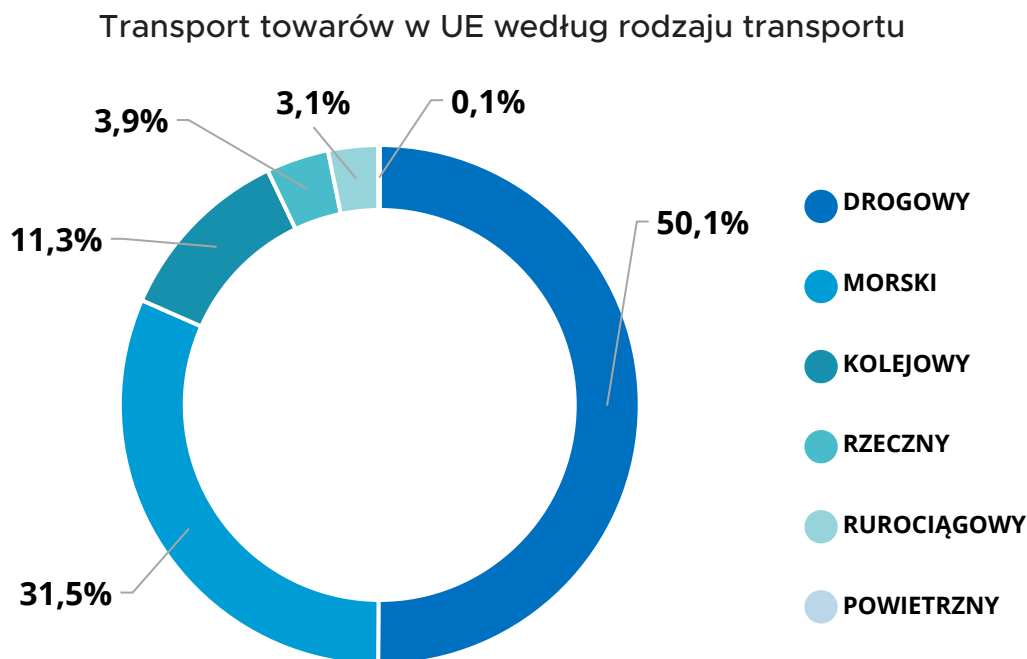
¹²⁹ Report: *Vehicles in Use* www.acea.be/statistics/tag/category/report-vehicles-in-use (dostęp 29.09.2020).

¹³⁰ *Ibidem*.

¹³¹ www.acea.be/press-releases/article/sales-of-zero-and-low-emission-cars-highly-unbalanced-across-eu-alerts-auto

Na świecie pod względem liczby pojazdów na wodór najbardziej rozwinięte są Japonia¹³² (ok. 3,6 tys.) oraz Kalifornia¹³³ (ok. 8 tys. pojazdów na 44 dostępne publicznie stacje tankowania). W Polsce zarejestrowany został 1 samochód napędzany wodorowymi ogniwami paliwowymi, należący do jednego z koncernów motoryzacyjnych promujących tę technologię.

4.4.4. Drogowy transport towarowy



Źródło: EU Transport in figures. Statistical pocketbook 2019.

Ze względu na skalę wymiany handlowej wewnątrz UE, transport należy do bardzo perspektywicznych branż, jeśli chodzi o masowe zastosowanie wodoru. Warto również zaznaczyć, że transport drogowy odgrywa istotną rolę w polskiej gospodarce. Z raportu *Road freight market size in Europe* wynika, że w 2018 roku wartość europejskiego rynku transportu drogowego była szacowana na 341,5 miliardów EUR, z czego aż 16,4 proc. stanowiły obroty polskich przewoźników¹³⁴.

Transport towarowy na trasach długodystansowych w przeważającej większości realizowany jest za pomocą ciężarówek z silnikami Diesla. W 2019 roku stanowiły one 97,9 proc. wszystkich zarejestrowanych w Unii Europejskiej pojazdów o Dopuszczalnej Masie Całkowitej powyżej 3,5 tony. Pozostałe pojazdy to ciężarówki podzielone na 4 typy: zasilane gazem ziemnym, LPG, biopaliwami lub etanolem (1,7 proc.), elektryczne akumulatorowe oraz zasilane wodorem (0,2 proc.), z napędem hybrydowym (0,1 proc.) lub jednostką benzynową (0,1 proc.).

W 2019 roku zarejestrowano na terenie UE 747 ciężarówek elektrycznych, co stanowi wzrost o 109,2 proc. w porównaniu do 2018 roku. W Unii Europejskiej jest zarejestrowanych 6,5 mln ciężarówek, a do tej pory roczna sprzedaż oscylowała w granicach blisko 400 tys. sztuk¹³⁵.

¹³² Number of new fuel cell vehicle (FCV) registrations in Japan from 2014 to 2019 www.statista.com/statistics/682128/japan-fuel-cell-vehicle-new-registrations/ (dostęp 29.09.2020).

¹³³ The plug-in electric car is having its moment. But despite false starts, Toyota is still trying to make the fuel cell happen www.washingtonpost.com/technology/2020/02/26/hydrogen-fuel-cell-cars/ (dostęp 29.09.2020).

¹³⁴ Size of the road freight market in Europe from 2010 to 2019 www.statista.com/statistics/1068472/road-freight-market-size-europe/ (dostęp 29.09.2020).

¹³⁵ The Automobile Industry Pocket Guide www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2019-2020.pdf (dostęp 29.09.2020).

Barierą w szerszym zastosowaniu pojazdów na wodór do transportu ciężarowego jest słaba dostępność infrastruktury. Szacuje się, że do 2030 roku w Europie potrzebnych będzie ok. 1000 stacji tankowania przeznaczonych do obsługi ciężarówek. Na koniec 2018 roku tego typu punktów było mniej niż dziesięć, przy czym większość z nich przystosowana była do ciśnienia 350 barów, co jest wystarczające do tankowania autobusów¹³⁶. Dla ciężarówek zasilanych wodorem, ze względu na dłuższe trasy, optymalne jest ciśnienie 700 barów, co pozwala zwiększyć pojemność zbiornika o 45 proc. względem tankowania przy ciśnieniu 350 barów¹³⁷.

W kontekście dekarbonizacji europejskiej gospodarki szczególnie duży potencjał posiada segment ciężarowego transportu drogowego. Jest on źródłem ponad 25 proc. unijnej emisji CO₂ w transporcie¹³⁸. Według Hydrogen Council do 2030 roku koszt samochodów ciężarowych z ogniwami wodorowymi ma się zrównać kosztowo z napędzanymi silnikami spalinowymi. Jednocześnie, pojawienie się 10 tys. ciężarówek spowoduje wzrost popytu o 100 tys. ton wodoru rocznie¹³⁹. Rozwój ciężarowego transportu drogowego opartego na wodorze istotnie zwiększyłby popyt na to paliwo, co ma duże znaczenie dla rozwoju całego rynku.

Aktualnie w Europie flota samochodów ciężarowych zasilanych wodorem obejmuje jedynie kilkadziesiąt sztuk eksploatowanych głównie w Szwajcarii, Belgii, Niemczech, Francji i Holandii. W zdecydowanej większości są to krótkie serie pojazdów, z których część to jeżdżące prototypy wyprodukowane w jednym egzemplarzu.

W lipcu 2020 roku w Szwajcarii rozpoczęły się dostawy zasilanego wodorem seryjnego samochodu ciężarowego Hyundai Xcient. 50 egzemplarzy ma zostać dostarczonych do końca 2020 roku, natomiast do roku 2025 flota ta ma powiększyć się do 1600 sztuk. Hyundai Xcient posiada siedem zbiorników, co umożliwia tankowanie ok. 32 kg wodoru, pozwalającego na pokonanie dystansu ok. 400 km. Napełnienie zbiorników wodorem zajmuje 7 minut¹⁴⁰. Pierwsze egzemplarze ciężarówek Xcient mają trafić do klientów we wrześniu 2020 roku w modelu wynajmu długoterminowego od spółki joint venture Hyundai Hydrogen Mobility, założonej w 2019 roku przez Hyundai oraz szwajcarską firmę H₂ Energy. Samochody ciężarowe Xcient nie będą dostępne w sprzedaży, aby klienci końcowi nie ponosili dużych kosztów wstępnej inwestycji¹⁴¹.

Z analizy organizacji pozarządowej Transport & Environment wynika, że samochody ciężarowe na wodór po wprowadzeniu do sprzedaży będą kosztować 139 tys. EUR, czyli o 28 tys. EUR mniej od analogicznych pojazdów z napędem bateryjnym. Ciężarówki wodorowe będą miały o 50 proc. większy zasięg niż analogiczne pojazdy z napędem elektrycznym bateryjnym.

Całkowity koszt cyklu życia (TCO) w okresie 5 lat będzie jednak większy o 66 tys. EUR w przypadku ciężarówek zasilanych wodorem ze względu na koszt paliwa.

Na korzyść tego typu ciężarówek przemawia znacznie szybszy czas tankowania (od 10 do 20 minut w porównaniu do 60 minut dla tzw. szybkich ładowarek oraz 8h w przypadku nocnego ładowania pojazdów bateryjnych). Jednocześnie, jak wskazuje

136 *Truck CO₂ targets: no public charging points for electric or hydrogen trucks available, data reveals* www.acea.be/press-releases/article/truck-CO2-targets-no-public-charging-points-for-electric-or-hydrogen-trucks (dostęp 29.09.2020).

137 *Liquid Hydrogen on-board storage tanks*, dane z ogłoszenia o przetargu www.ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/fch-01-3-2020 (dostęp 29.09.2020).

138 ICCT, *CO₂ emissions and fuel consumption standards for heavy-duty vehicles in the European Union*, 2018, s. 3.

139 Założenia: roczny przebieg 120 tys. km przy średnim zużyciu wodoru na poziomie 8 kg/100 km, Joint call for the deployment of hydrogen fuel cell trucks. A needed shift towards a carbon-neutral society www.hydrogeneurope.eu/sites/default/files/2020-02-12%20Joint%20call%20for%20deployment%20of%20FC%20trucks_final%20version%20with%20logos.pdf (dostęp 29.09.2020).

140 *Hyundai Motor and H₂ Energy Will Bring the World's First Fleet of Fuel Cell Electric Truck into Commercial Operation* www.h2energy.ch/en/hyundai-motor-and-h2-energy-will-bring-the-worlds-first-fleet-of-fuel-cell-electric-truck-into-commercial-operation/ (dostęp 29.09.2020).

141 *Hyundai delivers the first H₂ trucks in Switzerland* www.electrive.com/2020/07/06/hyundai-delivers-the-first-h2-trucks-in-switzerland/ (dostęp 29.09.2020).

organizacja Transport & Environment (T&E), 62 proc. przejazdów ciężarówek w Unii Europejskiej odbywa się na dystansie do 400 km i w tym przypadku pojazdy elektryczne bateryjne w zupełności wystarczą do obsługi tego ruchu. Wodór będzie optymalnym wyborem, jeśli chodzi o nisko- i zeroemisyjny transport w przypadku długich tras krajowych i międzynarodowych¹⁴². T&E zakłada, że samochody ciężarowe z silnikami Diesla i na ogniwa wodorowe zrównają się pod względem cen dopiero w połowie lat 40. Jest to znacznie bardziej odległa perspektywa niż szacunki organizacji Hydrogen Council, która przewiduje, że stanie się to już w 2030 roku¹⁴³.

Porównanie całkowitych kosztów posiadania (TCO) samochodów ciężarowych – napęd elektryczny wodorowy i bateryjny

PARAMETRY	SAMOCHÓD CIĘŻAROWY Z NAPIĘDEM ELEKTRYCZNYM WODOROWYM	SAMOCHÓD CIĘŻAROWY Z NAPIĘDEM ELEKTRYCZNYM BATERYJNYM
Całkowity koszt zakupu i użytkowania w ciągu 5 lat na podstawie rynku we Francji	459 000 EUR	393 000 EUR
Koszt zakupu pojazdu	139 000 EUR	167 000 EUR
Roczny koszt paliwa odnawialnego*	38 000 EUR	22 000 EUR
Zrównanie kosztów bez dopłat z ciężarówką z silnikiem Diesla	Połowa lat 2040	Początek lat 2030
Ekonomia skali z samochodami osobowymi	Niski poziom	Wysoki poziom
Maksymalny zasięg na 1 tankowaniu lub ładowaniu	1 200 km	800 km

*Roczny koszt paliwa odnawialnego uwzględnia podatki, opłaty, dopłaty, transport oraz koszt dystrybucji elektryczności i paliwa przy założeniu ich produkcji z OZE.

Źródło: Transport & Environment, 2020

Oprócz Europy pojazdy ciężarowe z ogniwami paliwowymi są testowane we flotach kilkunastu firm działających na rynku amerykańskim. W USA jest blisko 50 publicznych stacji sprzedających wodór. Średnia cena tego paliwa w Kalifornii, gdzie jest najwięcej pojazdów zasilanych wodorem, wynosiła w 2019 roku 16,51 USD za kg¹⁴⁴. Eksperci uważają, że ceny muszą spaść poniżej 8 USD za kg, aby ta technologia była opłacalna.

Firma Nikola, amerykański producent ciężarówek zasilanych wodorem, deklarował, że do 2028 roku stworzy 700 takich obiektów. Z kolei Air Liquide zainwestowało 150 mln dol. w zakład produkcji wodoru zdolny zaspokoić potrzeby użytkowników 40 tys. samochodów.

W USA technologia zastosowania ogniw paliwowych szybciej rozwija się w eksploatacji wózków widłowych. Tylko w Kalifornii na koniec 2019 roku zasilanych wodorem było 8300 sztuk. Największy producent takich pojazdów, spółka Plug Power szacowała, że w połowie 2020 roku w całych Stanach Zjednoczonych było ponad 32 tys. takich pojazdów, jednak nie korzystają one z publicznych stacji paliw.

¹⁴² Comparing hydrogen and battery electric trucks www.transportenvironment.org/publications/comparing-hydrogen-and-battery-electric-trucks (dostęp 29.09.2020).

¹⁴³ Path to hydrogen competitiveness... op. cit.

¹⁴⁴ California Fuel Cell Partnership, Cost to refill www.cafcp.org/content/cost-refill (dostęp 29.09.2020).

4.4.5. Podsumowanie – transport drogowy

Liczba obecnie zarejestrowanych w Europie pojazdów drogowych z ogniwami wodorowymi (FCEV) jest marginalna. W rezultacie aktualnie użytkowane stacje tankowania są wykorzystywane w sposób nieefektywny, co z kolei przekłada się na małe przychody dla ich operatorów. Bez wsparcia finansowego przy budowie stacji oraz zakupie pojazdów napędzanych wodorem, rozwój całego rynku będzie bardzo ograniczony.

Biorąc pod uwagę aktualny stan rozwoju rynku pojazdów drogowych przeznaczonych do transportu indywidualnego i ciężarowego, należy uwzględnić następujące aspekty przy planowaniu ich wprowadzenia do użytkowania:

- Pojazdy drogowe na wodór są kilkukrotnie droższe od ich odpowiedników z jednostkami spalinowymi, a nawet od bateryjnych pojazdów elektrycznych. Na obecnym etapie i bez wsparcia finansowego mogą one być opłacalne tylko w określonych zastosowaniach, np. jako flota taksówek¹⁴⁵ albo samochody ciężarowe na wynajem. Różnicę tę mogą zniwelować zachęty finansowe np. w formie dopłat do zakupu samochodów osobowych oraz ciężarówek. Ze względu na wysoki poziom ceny dla klienta końcowego, wsparcia na obecnym etapie rozwoju rynku będzie też wymagał zakup samego paliwa oraz budowa stacji tankowania.
- W transporcie drogowym szczególnie duży potencjał ma segment międzynarodowego transportu ciężarowego. Samochody ciężarowe zasilane wodorowymi ogniwami paliwowymi można szybko zatankować, a ich zasięg jest znacznie większy niż bateryjnych wersji analogicznych pojazdów. Według organizacji branżowej Hydrogen Council w 2030 roku ciężarówki z ogniwami zrównają się kosztowo z analogicznymi pojazdami napędzanymi silnikami spalinowymi.
- Pojazdy na wodór, w odróżnieniu od pojazdów wyposażonych w konwencjonalne silniki spalinowe, są zeroemisyjne. Jeśli wodór do ich zasilania jest produkowany z wykorzystaniem OZE, to faktyczny ślad węglowy z ich użytkowania wynosi zero. Osiągnięcie zeroemisyjności przez pojazd z ogniwami wodorowymi będzie wymagało wcześniejszych lub równoległych inwestycji w OZE. Bez tego osiągnięcie faktycznej zeroemisyjności będzie praktycznie niemożliwe.

¹⁴⁵ ZEFER project launches to demonstrate the benefits of zero emission fuel cell cars for large urban fleets www.fch.europa.eu/sites/default/files/ZEFER%20Launch_Press%20Release%20May%202018%20%28ID%203377491%29.pdf (dostęp 29.09.2020).

4.5. Inne rodzaje transportu

Wodorowe ogniwa paliwowe mogą być stosowane w praktycznie każdym środku transportu. Pociągi, autobusy, samochody osobowe, a także samochody ciężarowe, wózki widłowe, o czym mowa w poprzednich rozdziałach, osiągnęły już stopień rozwoju umożliwiający produkcję seryjną i komercjalizację. W wielu krajach prowadzone są badania, których celem jest wdrożenie technologii wodorowych w nowych środkach transportu – od skuterów śnieżnych po łodzie podwodne.

Najbardziej dojrzałym technologicznie obszarem wykorzystania wodoru jako paliwa jest transport kosmiczny. Ciekły wodór jest stosowany od lat 50. XX wieku, jako paliwo w silnikach rakietowych oraz w ogniwach paliwowych jako źródło energii elektrycznej. Jeden z największych na świecie zbiorników ciekłego wodoru (LH₂), który obsługuje stację lotów kosmicznych na Florydzie, ma pojemność 3800 m³ i umożliwia magazynowanie 245 ton wodoru¹⁴⁶.

Ogniwa paliwowe mogą być wykorzystane jako dodatkowe źródło energii w transporcie lotniczym do zasilania urządzeń pokładowych, czy do poruszania samolotów podczas kołowania. We wrześniu 2020 roku Airbus ogłosił, że pierwszy pasażerski samolot napędzany wodorem będzie gotowy w 2035 roku¹⁴⁷.

Kolejnym obszarem wdrożenia wodoru jest transport wodny. Rhine Hydrogen Integration Network of Excellence (RH2INE) wykorzysta wodór do zasilania żeglugi śródlądowej na Renie między Holandią i Niemcami. Projekt zakłada, że do 2024 roku między portami rzecznyymi Rotterdam, Duisburg, Düsseldorf i Kolonia będzie kursować 10 barek zasilanych wodorem obsługiwanych przez sieć stacji tankowania¹⁴⁸.

Analizowana jest również możliwość wykorzystania wodoru w transporcie morskim. Większość handlu międzynarodowego odbywa się właśnie przy wykorzystaniu tego środka transportu za sprawą wysokiej efektywności, czyli możliwości przewożenia dużej ilości towarów na znaczne odległości. O ile pod względem emisji CO₂ transport morski odpowiada za ok. 3-4 proc. emisji, to już pod względem produkcji tlenków azotu oraz siarki wskaźnik ten wynosi odpowiednio 18-30 proc. oraz 9 proc¹⁴⁹. Z tego względu również i tutaj prowadzone są prace nad zastosowaniem bardziej ekologicznego paliwa. Jednym z rozwiązań może być zastosowanie wodoru lub produkowanego z niego amoniaku (por. 3.4. Amoniak i ciekłe nośniki wodoru).

Produkowane są również wodorowe jednoślady: skutery i hulajnogi¹⁵⁰. Ten segment rynku zdominowały jednak pojazdy bateryjne, których zasięg jest wystarczający do codziennych, miejskich podróży, a przewagą jest dostępność infrastruktury do ładowania.

146 J.W. Sheffield, R. Folkson, *Electricity and hydrogen as energy vectors for transportation vehicles*, 2014.

147 <https://www.airbus.com/newsroom/stories/these-new-Airbus-concept-aircraft-have-one-thing-in-common.html> (dostęp 3.11.2020).

148 <http://gashd.eu/2020/07/29/dofinansowanie-do-wodoru-projekt-rh2ine-ze-wsparciem-cef> (dostęp 26.10.2020).

149 <https://mlodytechnik.pl/technika/29907-masowiec-na-wodor-kontenerowiec-na-baterie> (dostęp 18.10.2020).

150 <https://fuelcellsworld.com/news/the-worlds-1st-hydrogen-scooter-comes-from-arnhem> (dostęp 3.11.2020).



**PRZEMYSŁ, ENERGETYKA,
BUDYNKI. INNE OBSZARY
WYKORZYSTANIA WODORU**

5. Przemysł, energetyka, budynki. Inne obszary wykorzystania wodoru

Wodór może być sposobem na ograniczenie emisji generowanych przez przemysł i ogrzewanie budynków.

Według IEA, przemysł zużył w 2019 roku 3900 mln ton ekwiwalentu energii (toe¹⁵¹), tj. jedną czwartą całości dostaw¹⁵². Paliwa kopalne zaspokajają 70 proc. zapotrzebowania energetycznego przemysłu, z czego 60 proc. wykorzystuje przemysł chemiczny, cementownie i hutnictwo. Sam węgiel pokrywa ponad 40 proc. potrzeb przemysłu i jego udział zmaleje według prognoz IEA do 2070 roku o 50 proc. Natomiast, ropa naftowa i gaz dostarczają obecnie 30 proc. energii wykorzystywanej w przemyśle.

Pomimo pandemii COVID-19, należy się spodziewać dalszego rozwoju globalnej produkcji i rosnących emisji CO₂ z przemysłu ciężkiego. O ile w pierwszej połowie 2020 roku światowy popyt na cement w stosunku do roku wcześniejszego zmniejszył się o 6 proc., na stal o 5 proc., zaś na chemikalia o 2 proc., to w kolejnych miesiącach produkcja powróciła do stanu sprzed pandemii. Szczególnie wyraźnie było to widoczne w Chinach¹⁵³.

Opierając się na historycznych danych, IEA podkreśla, że w nadchodzących dekadach produkcja przemysłowa będzie się zwiększać. Od 1970 roku światowa populacja wzrosła dwukrotnie, produkcja stali trzykrotnie, cementu siedmiokrotnie, a plastików ponad dziesięciokrotnie¹⁵⁴.

Rosnące zapotrzebowanie na podstawowe produkty i półprodukty przemysłu ciężkiego wynika z dużych, państwowych projektów infrastrukturalnych. Do globalnej emisji CO₂ dokłada się również wodór. Skutkiem ubocznym jego światowej produkcji jest roczna emisja wynosząca aż 830 mln ton dwutlenku węgla¹⁵⁵.

IEA przyznaje, że przemysłowe emisje CO₂ będzie trudno zmniejszyć z uwagi na długi okres amortyzacji inwestycji w przemyśle ciężkim oraz małe marże osiągane na wielu wyrobach, a zwłaszcza półproduktach, np. cemencie.

Z drugiej strony, w technologiach wymagających wysokiej temperatury (np. krakowanie parowe służące produkcji etylenu, propylenu i związków aromatycznych BTX, będących składnikami większości chemikaliów), potrzebna jest temperatura sięgająca 1000 °C. Używanie energii elektrycznej do otrzymania takiej ilości ciepła jest nieracjonalne. W tym przypadku bardziej opłacalne może być użycie zielonego lub niebieskiego wodoru (por. 1. Wprowadzenie).

151 1 mln toe = 11,63 TWh.

152 IEA, *Energy Technology Perspectives 2020*, op. cit.

153 *Ibidem*.

154 IEA, *Transforming Industry through CCUS* www.iea.org/reports/transforming-industry-through-ccus (dostęp 29.09.2020).

155 *The Future of Hydrogen* www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen (dostęp 29.09.2020).

Za 60 proc. zużycia wodoru odpowiada rafinacja ropy naftowej i produkcja amoniaku, na kolejnych miejscach jest produkcja metanolu i stali¹⁵⁶. Zmiany na rynku produktów naftowych doprowadziły do zwiększenia zapotrzebowania na wodór, który wykorzystywany jest do hydrotorafinacji w celu oczyszczania parafin oraz do hydrokrakingu do produkcji wysokiej jakości komponentów paliwowych.

5.1. Przemysł rafineryjny

Rafinerie odpowiadają za zużycie 33 proc.¹⁵⁷ produkowanego na świecie wodoru. Stosują go m.in. do hydrokrakingu, czyli przeróbki ciężkich frakcji ropy naftowej oraz do usuwania siarki. The Oxford Institute for Energy Studies w raporcie *Hydrogen and decarbonization of gas: false dawn or silver bullet?* podaje, że ilość wodoru używanego rocznie przez rafinerie do hydrokrakingu wynosi 40 mln ton¹⁵⁸.

Rafinerie podlegają coraz ostrzejszym regulacjom ochrony środowiska. Narzucane limity, zwłaszcza dotyczące zawartości siarki w produktach zmuszają do coraz szerszego wykorzystania wodoru.

W przyszłości, jak przewiduje IEA, wodór będzie stosowany do produkcji syntetycznych paliw – metanu, oleju napędowego, kerozyny i metanolu. W tym obszarze dostępnych jest kilkanaście technologii, ale wszystkie wymagają dostarczenia dużych ilości energii. IEA oblicza, że do wyprodukowania 1 litra syntetycznej kerozyny z udziałem produkowanego w elektrolizerze wodoru i wychwytywania dwutlenku węgla potrzeba 25 kWh energii.

Ponad 80 proc. z tego potrzebne jest do elektrolizy, 15 proc. na wychwycenie CO₂, a resztę zużywa synteza Fischera-Tropscha. Oznacza to, że w produkcji końcowym osiąga się sprawność procesu na poziomie zaledwie 40 proc. Ulepszenie technologii (np. zwiększenie wydajności i trwałości elektrolizerów) może sprawić, że sprawność dojdzie do 45 proc.

IEA prognozuje, że w 2070 roku w gospodarce o obiegu zamkniętym produkcja syntetycznych paliw sięgnie 250 mln toe, zaś produkcja amoniaku 130 mln toe¹⁵⁹. Syntetyczna kerozyna zapewni 40 proc. zapotrzebowania lotnictwa na paliwa odnawialne, zaś amoniak zaspokoi ponad połowę potrzeb żeglugi na ten typ paliwa.

Autorzy raportu IEA podkreślają, że rozpowszechnienie syntetycznych paliw zależy od ich konkurencyjności cenowej. Na przykład, żeby syntetyczna kerozyna mogła konkurować z paliwem z ropy naftowej kosztującej 50 USD za baryłkę, koszt emisji dwutlenku węgla powinien wynosić 375 USD/t. Tymczasem, ceny dwutlenku węgla jako surowca wynoszą ok. 30 USD za tonę z zakładów produkujących etanol do 135-340 USD za tonę przy wykorzystaniu technologii wychwytywania CO₂ z powietrza¹⁶⁰.

156 IEA 2019.

157 *Shaping tomorrow's global hydrogen market via de-risked investments* www.bakermckenzie.com/-/media/files/insight/publications/2020/01/hydrogen_report.pdf?la=en (dostęp 29.09.2020).

158 Oxford Energy, *Hydrogen and decarbonisation of gas: false dawn or silver bullet?* www.oxfordenergy.org/publications/hydrogen-and-decarbonisation-of-gas-false-dawn-or-silver-bullet/ (dostęp 29.09.2020).

159 IEA, *Energy Technology Perspectives...* op. cit.

160 *Ibidem*.

5.2. Amoniak - zastosowanie w przemyśle nawozowym i transporcie morskim

Obecnie producenci amoniaku zużywają ok. 27 proc. światowej produkcji wodoru¹⁶¹. Połowa amoniaku wykorzystywana jest do produkcji mocznika, który służy do wytwarzania nawozów azotowych. IEA prognozuje, że produkcja amoniaku osiągnie szczyt w okolicach roku 2040. Postępy w technologii produkcji nawozów sztucznych oraz malejące ich zastosowanie, dzięki precyzyjnemu nawożeniu zmniejszą popyt na nawozy. IEA szacuje, że w 2070 roku zapotrzebowanie na mocznik zmaleje o 40 proc. w stosunku do obecnego¹⁶².

Amoniak może być alternatywą dla paliw kopalnych, zwłaszcza w transporcie morskim i zapewnić zerową emisję dwutlenku węgla, podobnie jak wodór. Stosowanie amoniaku ma pewne zalety w stosunku do wodoru. Amoniak w normalnych temperaturach i ciśnieniu atmosferycznym jest gazem, ale przechodzi w stan ciekły pod działaniem ciśnienia 10 barów i 25 °C lub -33 °C pod działaniem ciśnienia atmosferycznego. Dla porównania, czysty wodór musi mieć temperaturę -253 °C, aby stał się ciekły. Amoniak ma również większą gęstość energetyczną w jednostce objętości. W związku z tym wymagana jest mniejsza przestrzeń do przechowywania. Wadą jest jednak toksyczność amoniaku. (por. 3.4. Amoniak i ciekłe nośniki wodoru).

5.3. Przemysł metalurgiczny

Hutnictwo żelaza i stali konsumuje 22 proc. globalnych dostaw energii. W przeważającej części (75 proc.) jej źródłem dla tego sektora jest węgiel. Powoduje to, że hutnictwo rocznie uwalnia do atmosfery 3,6 Gt dwutlenku węgla, co stanowi 28 proc. emisji całego przemysłu. Na każdą tonę wytopionej stali przypada ponad 1,8 tony wyemitowanego dwutlenku węgla. Konieczność zmniejszenia emisji CO₂ sprawia, że atrakcyjny staje się wodór, pozyskiwany z OZE. Może on być używany na szerszą skalę w metalurgii, która obecnie konsumuje 3 proc. wodoru¹⁶³.

W 2019 roku huty wytopiły 1 870 mln ton stali, z czego 7 proc. w technologii bezpośredniej redukcji w elektrycznych piecach łukowych, gdzie do redukcji tlenków żelaza wykorzystywany jest m.in. wodór¹⁶⁴. Wodór łączy się z zawartym w tlenkach żelaza tlenem, tworząc wodę.

IEA przyznaje, że wykorzystanie paliw alternatywnych w procesach wymagających temperatur powyżej 1600 °C jest trudne. Wymaga to kosztownych zmian w instalacjach, zaś energia elektryczna może okazać się zbyt droga. Raport IEA wskazuje, że w 2070 roku jedna czwarta stali produkowana będzie z wykorzystaniem zielonego wodoru. Do bezpośredniej redukcji rud żelaza potrzeba będzie w 2070 roku aż 30 mln ton wodoru.

W 2035 roku stal otrzymywana w procesie bezpośredniej redukcji zapewni 35 proc. podaży. Resztę zapotrzebowania wypełnią huty wyposażone w magazyny CO₂¹⁶⁵.

¹⁶¹ Norweska Strategia dot. Wodoru, op. cit.

¹⁶² Energy Technology Perspectives 2020, op. cit.

¹⁶³ Shaping tomorrow's global hydrogen market via de-risked investments www.bakermckenzie.com/-/media/files/insight/publications/2020/01/hydrogen_report.pdf?la=en (dostęp 29.09.2020).

¹⁶⁴ Oxford Energy, op. cit.

¹⁶⁵ Energy Technology Perspectives 2020, op. cit.

5.4. Przemysł hutniczy w Szwecji – case study

Pierwsza na świecie huta, która będzie produkować stal bez udziału paliw kopalnych rozpoczęła działalność 31 sierpnia 2020 roku. Ulokowany w północnej Szwecji w Svartön pilotażowy zakład, znany pod skrótem HYBRIT (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology), jest inwestycją SSAB, LKAB i Vattenfalla¹⁶⁶.

Te trzy spółki wpłaciły łącznie 1,1 mld koron szwedzkich (SEK), a Szwedzka Agencja Energii dofinansowała projekt sumą 599 mln SEK. Vattenfall dostarczy 15 TWh energii (10 proc. zużycia prądu elektrycznego w Szwecji) do celów bezpośredniej redukcji tlenków żelaza zielonym wodorem. W ramach projektu w pobliskim Lulea powstanie podziemny (25-35 m poniżej poziomu gruntu), ciśnieniowy magazyn wodoru o objętości 100 m³. Zajmie skalne wyrobisko wyłożone stalą i uszczelnione¹⁶⁷.

Projekt, którego celem jest zastąpienie koksu wodorem, rozpoczął się w 2016 roku. Budowa pilotażowej huty ruszyła 2 lata później. Instalacja będzie używana przez 4 lata, a w razie powodzenia już w 2025 roku rozpocznie działalność zakład demonstracyjny. Pierwotnie planowano jego ewentualny start w 2028 roku, ale obiecujące prognozy zachęciły do przyspieszenia projektu. SSAB oblicza, że przy obecnych cenach energii elektrycznej oraz koszcie emisji CO₂ otrzymana dzięki tej technologii stal będzie o 20-30 proc. droższa od obecnej. Powodzenie projektu pozwoli natomiast Szwecji obniżyć emisję dwutlenku węgla o 10 proc. Szwecja planuje, że hutnictwo stanie się niezależne od paliw kopalnych w 2035 roku.

5.5. Energetyka i ciepłownictwo

Wodór może odegrać znaczącą rolę w transformacji systemu energetycznego, zwłaszcza w powiązaniu z odnawialnymi źródłami energii. Jest to możliwe dzięki uniwersalności zastosowań, które dają unikalną szansę łączenia sektorów (*sector coupling*) – wodór może być wykorzystany jako magazyn energii, paliwo i surowiec.

Producenci turbin gazowych pracują nad stworzeniem konstrukcji, które będą w 100 proc. napędzane wodorem. W porównaniu z gazem ziemnym, technicznym wyzwaniem związanym ze spalaniem wodoru jest zmniejszenie mocy silnika i jego wydajności. Pod względem masy wodór ma blisko trzykrotnie większą gęstość energetyczną niż metan. W ujęciu objętościowym jednak do zapewnienia takiego samego wkładu energii potrzebny jest trzykrotnie większy przepływ wodoru. Kolejnym wyzwaniem jest szybkość spalania i zapewnienie bezpieczeństwa stosowania wodoru.

Pytanie o konkurencyjność takich rozwiązań pozostaje otwarte. Według analizy Komisji Europejskiej, z powodu większych o ok. 20 proc. kosztów inwestycyjnych, turbiny gazowe zasilane wodorem zamiast gazem ziemnym w blokach szczytowych otwartego cyklu spalania OCGT (ang. *Open Cycle Gas Turbine*) i w blokach gazowo-parowych CCGT (ang. *Combined Cycle Gas Turbine*) nie będą konkurencyjne¹⁶⁸. Tymczasem – zdaniem Hydrogen Council – w perspektywie 2030 roku konkurować będą pod względem kosztów inwestycyjnych z turbinami gazowymi¹⁶⁹.

166 Fossil-free steel project ready for operation www.h2-view.com/story/fossil-free-steel-project-ready-for-operation/ (dostęp 29.09.2020).

167 HYBRIT: SSAB, LKAB and Vattenfall to start up the world's first pilot plant for fossil-free steel www.ssab.com/news/2020/08/hybrit-ssab-lkab-and-vattenfall-to-start-up-the-worlds-first-pilot-plant-for-fossil-free-steel (dostęp 29.09.2020).

168 Komisja Europejska, *Study on energy storage – Contribution to the security of the electricity supply in Europe*, Luksemburg, 2020.

169 *Path to hydrogen competitiveness...* op. cit.

Obecnie na rynku są już producenci, którzy mają w portfolio turbiny gazowe pracujące z domieszką wodoru:¹⁷⁰

- **GE** – turbiny typu Aeroderivative z pojedynczym palnikiem pierścieniowym mogące pracować na paliwie zawierającym objętościowo 30-85 proc. wodoru. Turbiny typu Heavy Duty mogą pracować na paliwie o zawartości ok. 90 proc. wodoru.
- **Ansaldo** – turbina gazowa GT36 klasy H może pracować z zawartością wodoru w gazie ziemnym od 0 do 50 proc. Testy wykazały możliwość stosowania domieszki do 70 proc. H₂ bez zmniejszania mocy i wydajności, trwają również prace nad stosowaniem 100 proc. wodoru.
- **Siemens** zobowiązał się do stopniowego zwiększania wydajności wodorowej swoich turbin gazowych do co najmniej 20 proc. do 2020 roku i 100 proc. do 2030 roku. Dwie turbiny SGT-600 w Braskem w Brazylii będą pracowały z dodatkiem 60 proc. wodoru.

Turbiny dedykowane do pracy ze 100 proc. zawartością wodoru znajdują się obecnie na etapie demonstracyjnym:

- **Kawasaki** – instalacja demonstracyjna w Kobe (Japonia) zasilana w 100 proc. H₂¹⁷¹.
- **Mitsubishi** – projekt Hydrogen-to-Magnum w Eemshaven, Holandia – istniejący blok CCGT o mocy 440 MW ma zostać dostosowany do zasilania 100 proc. H₂ do 2023 roku.

Obecne wykorzystanie wodoru w sektorze energetycznym polega głównie na jego spalaniu w kotłach lub jednostkach kogeneracyjnych. Dotyczy to zwłaszcza zakładów, w których powstaje on jako produkt uboczny z procesów przemysłowych (np. produkcji chloru). Wodór jest stosowany także do chłodzenia generatorów.

W najbliższych latach w Polsce, jak i na całym świecie, przewidywany jest rozwój energetyki odnawialnej. Rozwój ten jest jednak ograniczony brakiem odpowiednich systemów magazynowania energii. Elektrolizery wykorzystujące OZE mogą pełnić rolę magazynów energii oraz dostarczać zielony wodór. Szczególnie istotne będzie to przy współpracy z wielkoskalowymi elektrowniami słonecznymi, farmami wiatrowymi na lądzie i farmami na morzu, gdzie nadwyżka taniej energii może być wykorzystana do zasilania dużych instalacji elektrolizy.

Tym samym wodór przyczyni się do bilansowania systemu energetycznego, działając jako magazyn dla nadwyżek energii z OZE oraz jako źródło energii, np. dla elektrowni szczytowych zasilanych wodorem.

¹⁷⁰ D. Bhambhani, *Sinking Oil Prices can open the door for „green hydrogen”*, Forbes, 20 marca 2020.

¹⁷¹ Obayashi Corporation, www.obayashi.co.jp/en/news/detail/news20200807_2_en.html (dostęp 29.09.2020).

5.6. Energia dla budynków

Gospodarstwa domowe pochłaniają 26 proc. zużycia energii w UE¹⁷². Aż trzy czwarte energii zużywanej do ogrzania i chłodzenia budynków pochodzi z paliw kopalnych, głównie gazu ziemnego¹⁷³.

Wodór w UE mógłby zastąpić do 2030 roku 7 proc. (objętościowo) gazu ziemnego zużywanego do ogrzewania budynków, co odpowiada ok. 30 TWh energii. Do 2040 roku w europejskiej sieci gazowej mógłby zastąpić gaz ziemny nawet w 40 proc. (120 TWh energii). Ilość ta pokrywałaby zapotrzebowanie na ciepło ok. 2,5 mln gospodarstw domowych w 2030 roku i 11 mln w 2040 roku.¹⁷⁴ Wystarczyłoby to odpowiednio dla 4 i 6 proc. obecnej liczby gospodarstw domowych¹⁷⁵.

Równoległe wdrożenie ponad 2,5 mln mikro-CHP (z ang. *Combined Heat and Power*, równoczesne wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej w trakcie tego samego procesu technologicznego) z ogniwami paliwowymi do 2040 roku zredukowałoby zapotrzebowanie na energię elektryczną z sieci o ok. 15 TWh¹⁷⁶.

5.7. Kotły na wodór

Planowane rozpoczęcie dodawania wodoru do sieci gazowej stwarza dla producentów urządzeń okazję do wprowadzenia nowej generacji kotłów gazowych *gotowych na wodór*. Urządzenia wykorzystywane do ogrzewania domu i podgrzewania ciepłej wody użytkowej zasilane teraz gazem ziemnym będą mogły zostać przestawione na mieszaninę wodoru i gazu z sieci, a – w przyszłości – na czysty wodór¹⁷⁷.

Kondensacyjny kocioł gazowy nie wymaga w tym przypadku dużych zmian, zarówno w sposobie obsługi przez użytkownika końcowego, jak i w sposobie jego instalacji. Konieczne jest natomiast dostosowanie palnika, czujnika płomienia, licznika oraz przeszkolenie instalatorów.

Przyjmuje się, że dodanie wodoru na poziomie do 20 proc. w sieci gazu ziemnego będzie możliwe bez potrzeby poważnych modyfikacji rur lub urządzeń gospodarstwa domowego, co minimalizuje koszty inwestycji. Co więcej, bezpieczeństwo pozostaje na takim samym poziomie jak w przypadku gazu ziemnego. Przy poziomie mieszania wynoszącym 5 proc. można by zaoszczędzić od 32 do 58 kg CO₂ na gospodarstwo domowe zużywające od 10 do 18 MWh energii rocznie¹⁷⁸.

Konkurencyjność takich urządzeń zależeć będzie od kosztów wodoru w odniesieniu do gazu ziemnego, cen urządzeń oraz zdolności wykorzystania istniejącej infrastruktury do dystrybucji wodoru. W 2030 roku możliwe jest osiągnięcie konkurencyjności ogrzewania wodorowego z rozwiązaniami opartymi na biometanie i porównywalnych cen z pompami ciepła w nowych budynkach.

172 *Energy statistics – an overview* www.ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/29046.pdf (dostęp 29.09.2020).

173 *Heating and Cooling Facts and Figures* www.ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling_en (dostęp 29.09.2020).

174 *Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*, Publications Office of the European Union, Luksemburg, 2019.

175 Dane Eurostat www.ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/29071.pdf (dostęp 29.09.2020).

176 *Hydrogen Roadmap Europe...*, op. cit.

177 Worcester Bosch, *The future of fuel*, www.worcester-bosch.co.uk/img/documents/hydrogen/The_Future_of_Fuel.pdf (dostęp 29.09.2020).

178 *Ibidem*.

Ogrzewanie wodorowe stałoby się również konkurencyjne w stosunku do pomp ciepła w istniejących budynkach, ponieważ nie pojawią się wtedy koszty związane z koniecznością adaptacji budynku¹⁷⁹. Zdaniem Hydrogen Council, kotły wodorowe będą mogły konkurować z ogrzewaniem gazem ziemnym wtedy, gdy koszt wodoru spadnie poniżej 1 USD/kg. Podstawowe znaczenie w tym zakresie będzie miała polityka regulacyjna wspierająca technologie niskoemisyjne¹⁸⁰.

5.8. Stacjonarne urządzenia mikrokogeneracyjne z ogniwami paliwowymi

Kolejnym obszarem wykorzystania wodoru w domach i przedsiębiorstwach są stacjonarne systemy mikrokogeneracyjne (mikro-CHP) z ogniwami paliwowymi. Technologia polega na jednoczesnej produkcji energii elektrycznej i ciepła. Mikro-CHP mogą być zasilane wodorem lub gazem ziemnym, przetwarzanym w procesie reformingu. W ogniwie paliwowym wytworzona zostaje energia elektryczna, a ciepło z pary wodnej jest wykorzystywane do podgrzewania domowej wody oraz ogrzewania budynku.

Obecnie najpopularniejsze w mikro-CHP są układy wykorzystujące ogniwa PEM (polimerowe) i SOFC (stałotlenkowe). Ich sprawność elektryczna netto wynosi ok. 40 proc. dla układów z PEM oraz ok. 50 proc. dla układów z SOFC. Sprawność całkowita wynosi ok. 90 proc. dla obu układów przy zakładanych potrzebach własnych na poziomie 250 W. Ilość ciepła generowanego z mikrokogeneracyjnych układów stacjonarnych z wykorzystaniem ogniw paliwowych PEM i SOFC o mocy elektrycznej netto 1 kW wynosi ok. 1 kW (SOFC) oraz 1,5 kW (PEM). Ze względu na niższą sprawność elektryczną instalacji z PEM układy takie wytwarzają więcej ciepła w stosunku do układów z SOFC.

Układ mikro-CHP z ogniwami paliwowymi jest dobrze dostosowany do zmieniającego się trendu w budynkach w kierunku większego zużycia energii elektrycznej i niskiego zapotrzebowania na ogrzewanie pomieszczeń. Takie układy mikrokogeneracyjne mogłyby ewentualnie zastąpić tradycyjne kotły gazowe, zapewniając jednocześnie energię elektryczną, ogrzewanie pomieszczeń i ciepłą wodę. W systemach mikro-CHP z ogniwami paliwowymi sprawność całkowita przekracza 90 proc., co jest porównywalne z najbardziej wydajnymi elektrociepłowniami gazowymi. Produkcja energii na miejscu zapewnia jej wykorzystanie bez strat podczas przesyłu, co daje kolejne oszczędności rzędu 5-10 proc. w porównaniu do transportu energii elektrycznej i ciepła z dużych elektrociepłowni¹⁸¹.

Nadmiar energii elektrycznej produkowany w domowych instalacjach mikro-CHP może być wykorzystany do stabilizacji sieci, przy wzrastającym udziale niestabilnej produkcji energii z OZE. Domowe instalacje mogą wejść w skład wirtualnej elektrowni za pomocą czujników przesyłających dane pomiędzy sobą. Zdalnie sterowane jednostki mikro-CHP mogą (w temperaturze roboczej) w ciągu kilku sekund dostosować się do zewnętrznego zapotrzebowania na ciepło i moc. Aby jednak przyczyniły się do stabilności sieci, szacuje się, że potrzeba tysięcy jednostek zagregowanych w wirtualną elektrownię o mocy ok. 1 MW¹⁸².

¹⁷⁹ Hydrogen Council, *Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective* www.hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness-Full-Study-1.pdf (dostęp 29.09.2020).

¹⁸⁰ *Ibidem*.

¹⁸¹ *Learning points from demonstration of 1000 fuel cell based micro-CHP units*, Technical University of Denmark, 2017. www.enefield.eu/wp-content/uploads/2017/10/ene.field-Summary-Report.pdf (dostęp 29.09.2020).

¹⁸² *Ibidem*.

Systemy mikrokogeneracyjne z ogniwami paliwowymi stosowane w domach mają z reguły moc kilkuset watów. W 2019 roku moc instalacji komercyjnych powyżej 200 kW przekroczyła na świecie 800 MW. Najwięcej z nich znajduje się w Japonii, Korei Południowej i Stanach Zjednoczonych. W Unii Europejskiej było to 16 MW¹⁸³.

W 2019 roku łączna moc ogniw paliwowych w dostarczonych urządzeniach stacjonarnych, przenośnych i transportowych na całym świecie przekroczyła 1 GW. Na rynku pojawiają się nowe urządzenia mikrokogeneracyjne z ogniwami paliwowymi SOFC o mocy w zakresie od 400 W do 4,2 kW oferowane przez firmy SOLIDpower (Niemcy), Kyocera (Japonia), Miura (Japonia), Sunfire (Niemcy).

Barierą w rozwoju układów mikrokogeneracyjnych z ogniwami paliwowymi są w przypadku domowych instalacji wyższe koszty w porównaniu z kotłami gazowymi. Opłacalność zależy od ilości zużywanego ciepła, profilu zapotrzebowania na energię elektryczną, lokalnych kosztów energii elektrycznej i ogrzewania oraz od ostatecznych cen urządzeń wraz z montażem. Impulsem dla inwestycji gospodarstw domowych w instalacje mikro-CHP na wodór mogą być wyższe ceny energii elektrycznej, zapewnienie niezawodności dostaw energii oraz systemy wsparcia na wzór tych, które funkcjonują m.in. w Niemczech czy Japonii.



¹⁸³ E. Weidner, R. Ortiz Cebolla and J. Davies, *Global deployment of large capacity stationary fuel cells – Drivers of, and barriers to, stationary fuel cell deployment*, Publications Office of the European Union, Luksemburg, 2019.



**STRATEGIE WODOROWE
W EUROPIE I NA ŚWIECIE.
JAK WDROŻYĆ TECHNOLOGIĘ
WODOROWĄ NA SZEROKĄ SKALĘ?**

6. Strategie wodorowe w Europie i na świecie. Jak wdrożyć technologię wodorową na szeroką skalę?

6.1. 18 lat działań UE w obszarze wodoru

Komisja Europejska już w październiku 2002 roku powołała grupę specjalistów, która opracowała drogę dojścia do gospodarki wodorowej. Efektem ich pracy był opublikowany w czerwcu 2003 roku raport *Hydrogen Energy and Fuel Cells. A vision of our future*¹⁸⁴. Wskazano w nim na potencjał wodoru jako nośnika energii, który zapewni regionowi bezpieczeństwo energetyczne przy jednoczesnej odnawialności źródeł pozyskiwania paliwa.

W raporcie podkreślono też zaawansowanie prac w Japonii i USA. Amerykański rząd już w 2003 roku przeznaczył 1,7 mld USD na dofinansowanie prac nad technologiami wodorowymi w ramach 10-letniego projektu. W Japonii tylko w 2003 roku wydatki na badania i komercjalizację technologii wodorowych sięgnęły 240 mln USD.

Komisja Europejska optymistycznie założyła wówczas, że w 2020 roku już 5 proc. fabrycznie nowych samochodów osobowych rejestrowanych w UE będzie napędzanych wodorem. W UE rejestruje się każdego roku łącznie 13-16 mln aut osobowych, co dawałoby wynik na poziomie 650-800 tys. tego typu samochodów.

Raport wskazywał, że jeśli europejski przemysł i gospodarka mają pozostać konkurencyjne, to inwestycje w badania nad wodorem muszą znaleźć wsparcie podobnej wielkości, co w USA czy Japonii. Zakładano w nim, że kolejne lata będą służyły dościsgnięciu Japonii oraz USA. Stąd też już w 2003 roku Komisja powołała platformę do badań nad głównymi technologiami wodorowymi w ramach European Research Area (ERA).

W 2008 roku Unia Europejska stworzyła ponadto partnerstwo publiczno-prywatne *Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking* (FCHJU), którego celem jest opracowanie i wdrożenie technologii wodorowych. W sierpniu 2020 roku FCHJU opublikowało raport o perspektywach zastosowania wodoru w gospodarce krajów członkowskich¹⁸⁵. Autorzy oszacowali, że zapotrzebowanie na wodór w UE sięgnie w 2030 roku 42 lub 183 TWh (w zależności od scenariusza), a w Polsce 2-6 TWh. Dla porównania zapotrzebowanie Holandii szacowane jest na 3-12 TWh, Włoch na 4-20, zaś Hiszpanii na 4-17 TWh¹⁸⁶. Dla większości państw wzrost zużycia wodoru ma wynikać z zastosowań w transporcie drogowym i kolejowym.

184 www.fch.europa.eu/sites/default/files/documents/hlg_vision_report_en.pdf

185 www.fch.europa.eu/sites/default/files/file_attach/Final%20Report%20Hydrogen%20in%20NECPs%20%28ID%209501746%29.pdf

186 *Ibidem*.

6.2. Założenia strategii UE i przeszłość zielonego wodoru

Osiągnięcie ambitnych celów klimatycznych wyznaczonych przez Komisję Europejską (KE) w listopadzie 2018 roku, czyli neutralności emisyjnej do 2050 roku¹⁸⁷, nie będzie możliwe bez głębokiej transformacji sektora energetycznego, który odpowiada aż za 75 proc. emisji gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej¹⁸⁸. Wodór może odegrać w rozwiązaniu tego problemu znaczącą rolę. Jak wynika z raportu serwisu analitycznego Bloomberg New Energy Finance, szerokie zastosowanie technologii wodorowych oraz tzw. zielonego wodoru może obniżyć światową emisję CO₂ nawet o jedną trzecią do 2050 roku¹⁸⁹.

Na początku lipca 2020 roku Komisja Europejska ogłosiła plan przebudowy systemu energetycznego, w którym główną rolę ma odgrywać wodór. Ambitny plan KE składa się z dwóch strategii: pierwsza dotyczy integracji systemu energetycznego (Strategia UE na rzecz integracji systemu energetycznego), zaś druga obejmuje szczegółowo wodór (Strategia UE w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu). Oba dokumenty mają zbieżne cele, przy czym integracja definiuje je na poziomie ogólnym, zaś strategia wodorowa w sposób bardziej konkretny pokazuje, jak wdrożyć zmiany w zakresie tego paliwa.

Integracja systemu energetycznego zakłada, że jest on planowany i eksploatowany w ujęciu całościowym, czyli z uwzględnieniem różnych nośników energii, odmiennych rodzajów infrastruktury oraz poszczególnych sektorów gospodarki, które zużywają energię. Dokument ten wskazuje na istotną rolę wodoru, który może być źródłem energii w tych branżach, gdzie koszt elektryfikacji jest zbyt duży. Ponadto, szerokie wykorzystanie wodoru i jego magazynowanie umożliwi stabilizację pracy sieci elektroenergetycznej zachwianą wzrostem ilości niestabilnych OZE w miksie energetycznym.

Z kolei *Strategia UE w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu* pokazuje, że wodór wraz z elektryfikacją, energią z odnawialnych źródeł i bardziej efektywnym wykorzystaniem zasobów w obiegu zamkniętym, będzie odgrywał istotną rolę w zintegrowanym systemie energetycznym przyszłości¹⁹⁰.

Stworzenie efektywnego i wzajemnie połączonego sektora energetycznego jest zgodne z ogłoszonym wcześniej planem *European Green Deal*¹⁹¹ oraz antykrzysowym *Next Generation EU*¹⁹², czyli tymczasowym programem stymulowania inwestycji będącym odpowiedzią na kryzys gospodarczy wywołany pandemią COVID-19.

Uzgodniony podczas unijnego szczytu w lipcu 2020 roku program zakłada budżet w łącznej wysokości 750 mld EUR na lata 2021-2027, z czego Polsce ma przypaść łącznie 32,8 mld EUR z tej puli, podzielone na Instrument na rzecz Odbudowy i Zwiększania Odporności (26,8 mld EUR) oraz Fundusz na rzecz Sprawiedliwej Transformacji (6 mld EUR)¹⁹³.

187 Długoterminowa wizja strategiczna Komisji do 2050 roku: [www.ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_pl](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_pl) (dostęp 29.09.2020).

188 *Powering a climate-neutral economy: Commission sets out plans for the energy system of the future and clean hydrogen*. Informacja prasowa. [www.ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1259](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1259) (dostęp 29.09.2020).

189 *Hydrogen-Fueled Climate Goals Need Radical Carbon Price Hike* www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-30/hydrogen-fueled-climate-goals-need-radical-carbon-price-hike (dostęp 29.09.2020).

190 *Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu* https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf (dostęp 14.10.2020); *Strategia UE na rzecz integracji systemu energetycznego* https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/energy_system_integration_strategy.pdf (dostęp 14.10.2020).

191 *Europejski Zielony Ład* https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pl (dostęp 29.09.2020).

192 *Filary Next Generation EU* www.ec.europa.eu/info/live-work-travel-eu/health/coronavirus-response/recovery-plan-europe/pillars-next-generation-eu_pl (dostęp 29.09.2020).

193 *Ibidem*. Kwoty dla Polski według cen z 2018 roku.

W ramach Next Generation EU wodór jest wymieniany jako paliwo, dzięki któremu będzie można osiągnąć zrównoważony wzrost gospodarczy oraz stworzyć miejsca pracy w nowym łańcuchu dostaw. Strategia integracji systemu energetycznego wskazuje, że rozwiązania korzystne dla energetyki mogą być bowiem nieefektywne dla innych gałęzi przemysłu, np. sama elektryfikacja to rozwiązanie dobre dla transportu drogowego, jednak niekoniecznie dla przemysłu ciężkiego czy chemicznego.

Komisja Europejska jasno wskazuje, że elektryfikacja wszystkich gałęzi gospodarki nie jest rozwiązaniem realnym, więc wodór i inne niskoemisyjne źródła energii będą potrzebne do ograniczenia emisji z tych sektorów przemysłowych, których nie da się zelektryfikować z przyczyn kosztowych i technologicznych. Przykładowo, pełna elektryfikacja ciepłownictwa oznaczałaby znaczny wzrost produkcji energii oraz konieczność zwiększenia pojemności sieci przesyłowej, która w dodatku byłaby wykorzystywana w pełni tylko w sezonie grzewczym¹⁹⁴.

W tym kontekście wodór stanowi rozwiązanie bardziej uniwersalne i elastyczne. Umożliwia magazynowanie energii niskoemisyjnej lub całkowicie wolnej od emisji CO₂ i może być efektywnie wykorzystany do pełnej transformacji gospodarki w różnych gałęziach – przemyśle ciężkim, chemicznym, transporcie drogowym, lotnictwie czy transporcie morskim.

Ponadto, do szerokiego wdrożenia wodoru można po odpowiedniej modernizacji wykorzystać część już istniejącej infrastruktury do przesyłania gazu ziemnego, który jest stosowany jako źródło ogrzewania w 40 proc. gospodarstw domowych w Unii Europejskiej¹⁹⁵. Trwa szacowanie, jaką część istniejącego systemu gazowego można w tym celu wykorzystać. Zgodnie z szacunkami do 2050 roku wodór może zapewnić od 10 do nawet 18 proc. energii cieplnej oraz elektrycznej zużywanej w budynkach¹⁹⁶. Wizja KE zakłada pełną integrację systemu energetycznego, która ma zapewnić podstawę do ekologicznej transformacji wszystkich sektorów.

**Według Komisji Europejskiej wartość inwestycji
w produkcję wodoru ze źródeł odnawialnych
może do 2050 roku wynieść 470 mld EUR.**

Zgodnie z wyliczeniami podanymi w *Strategii UE w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu*, łączna wartość inwestycji w wodór pozyskiwany ze źródeł odnawialnych może wynieść od 180 do 470 mld EUR do 2050 roku i jedynie od 3 do 18 mld EUR dla niskoemisyjnego (niebieskiego) wodoru¹⁹⁷.

¹⁹⁴ *Hydrogen Roadmap Europe – A sustainable pathway for the European energy transition*, s. 4. www.fch.europa.eu/sites/default/files/20190206_Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Keynote_Final.pdf (dostęp 29.09.2020).

¹⁹⁵ *Ibidem*.

¹⁹⁶ *Ibidem*, s. 12.

¹⁹⁷ *Strategia UE w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu*, s. 8. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf (dostęp 14.10.2020).

Upowszechnienie wodoru to szansa na stworzenie do 1 mln nowych miejsc pracy (zatrudnionych bezpośrednio lub pośrednio) w Unii Europejskiej do 2030 roku, a w perspektywie do 2050 roku nawet 5,4 mln. Szacuje się, że wtedy ten rodzaj paliwa może zaspokajać do 24 proc. unijnego zapotrzebowania na energię (co odpowiada 2250 TWH), a wartość rocznej sprzedaży ma wynieść 630 mld EUR, z czego na UE ma przypadać 55 mld EUR.¹⁹⁸ Łączne obroty całej branży w 2050 roku wyniosą 820 mld EUR¹⁹⁹.

6.3. Trzy filary unijnej strategii integracji systemu energetycznego oraz założenia strategii w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu

W planie Komisji Europejskiej przedstawionym w dokumencie *Strategia UE na rzecz integracji systemu energetycznego*²⁰⁰ wodór ma przyspieszyć proces dekarbonizacji przemysłu, transportu, wytwarzania energii i ogrzewania budynków. Plan ten zakłada 3 filary:

- 1. Bardziej zamknięty obieg systemu energetycznego** – w aktualnym modelu poszczególne branże zużywają energię w *silosach*. Oznacza to funkcjonowanie różnych rodzajów łańcuchów dostaw, regulacji, infrastruktury oraz modeli działalności dla poszczególnych rodzajów energii czy też branż, co nie jest optymalne kosztowo. Dlatego należy znaleźć nowe obszary współpracy pomiędzy poszczególnymi branżami oraz sposoby zagospodarowania nadwyżek pomiędzy nimi.
- 2. Bezpośrednia elektryfikacja sektorów zastosowań końcowych.** Sektor energetyczny, ze względu na to, że jednocześnie wytwarza i zużywa energię, ma największy potencjał do zastosowania OZE na szeroką skalę, w tym w przekazaniu nadwyżek do branży transportowej. Według KE należy zastosować energię elektryczną w możliwie najszerszym zakresie. Dlatego, oprócz produkcji wodoru przy wykorzystaniu OZE, należy również rozwijać szeroko pojęty rynek dla odbiorców energii elektrycznej, w tym gęstą sieć ładowarek do pojazdów elektrycznych.
- 3. W sektorach, które trudno zelektryfikować, strategia KE zaleca stosowanie paliw alternatywnych, w tym wodoru ze źródeł odnawialnych,** biopaliw oraz biogazu. Komisja ma w przyszłości zaproponować nową klasyfikację i certyfikację paliw o niskim śladzie węglowym.

Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu ma na celu uwolnić potencjał tego paliwa poprzez działania w czterech obszarach: (1) inwestycje, (2) regulacje, (3) tworzenie rynku oraz (4) badania i rozwój. Dopuszcza stosowanie niebieskiego wodoru, jednak docelowo wytwarzanie tego paliwa ma być procesem neutralnym klimatycznie. Oznacza to plan znacznego zwiększenia produkcji wodoru, który będzie wytwarzany bez jakiegokolwiek emisji CO₂ (netto).

Wodór w strategii Unii Europejskiej ma zapewnić równoczesną realizację dwóch celów: ekonomicznego (rozwój gospodarki, m.in. poprzez stworzenie nowego łańcucha dostaw) oraz ochronę środowiska (m.in. dzięki zmniejszeniu emisji CO₂ oraz zwiększeniu udziału OZE kosztem paliw kopalnych). Udział wodoru w miksie energetycznym z obecnych 2 proc. ma wzrosnąć do 13-14 proc. do 2050 roku²⁰¹. Strategia KE zakłada, że jednoczesny spadek kosztu instalacji OZE²⁰², szybki rozwój

¹⁹⁸ EU wants to become market leader in hydrogen technologies, create 1 million jobs www.cleanenergywire.org/news/eu-wants-become-market-leader-hydrogen-technologies-create-1-million-jobs (dostęp 29.09.2020).

¹⁹⁹ Hydrogen Roadmap Europe... op. cit., s. 12.

²⁰⁰ Strategia UE na rzecz integracji systemu energetycznego www.ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pl/ip_20_1259 (dostęp 29.09.2020).

²⁰¹ A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, s. 1 www.ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf (dostęp 29.09.2020).

²⁰² KE podaje przykład elektrolizerów, których koszt w ciągu ostatnich 10 lat spadł o 60 proc., a do 2030 roku ich ceny mają spaść jeszcze o 50 proc. w porównaniu do obecnego poziomu, tj. z 900 EUR/kW do 450 EUR/kW. W 2030 roku w regionach, w których energia elektryczna będzie produkowana głównie z OZE, zielony wodór ma być konkurencyjny kosztowo wobec wodoru produkowanego przy udziale źródeł nieodnawialnych. Liczby za *Questions and answers: A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe* www.ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_20_1257 (dostęp 29.09.2020).

technologiczny oraz konieczność ograniczenia emisyjności, stanowią bardzo korzystne uwarunkowania dla upowszechnienia zielonego wodoru i otwierają zupełnie nowe możliwości. Dwa główne rynki dla wodoru to przemysł oraz transport, które powinny się rozwijać wraz ze wzrostem produkcji tego paliwa. Rozwój rynku wodoru produkowanego z OZE podzielony został na 3 etapy:

- W latach 2020-2024 osiągnięcie do 6 GW mocy i produkcji 1 mln ton zielonego wodoru rocznie wraz ze stopniowym wzrostem skali produkcji elektrolizerów, w tym o dużej mocy (do 100 MW) do wykorzystania w rafineriach, u producentów stali i w zakładach chemicznych. Tego typu elektrolizery powinny być zasilane energią elektryczną pochodzącą z lokalnych OZE.
- Do roku 2030 wzrost do 40 GW mocy i produkcji 10 mln ton wodoru rocznie. W tej fazie wodór staje się istotną częścią zintegrowanego systemu energetycznego, a zainstalowanie elektrolizerów do wytwarzania wodoru z OZE pozwoli na uzyskanie znaczącej ilości *zielonego* wodoru w UE.
- Do 2050 roku system uzyskuje moc pozwalającą na zaspokojenie całego zapotrzebowania na wodór tylko i wyłącznie z elektrolizerów zasilanych energią z OZE.

Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu dopuszcza stosowanie zarówno bezemisyjnego, jak i niskoemisyjnego wodoru w procesie stopniowej dekarbonizacji gospodarki UE. Niskoemisyjne technologie wodorowe są potrzebne, aby z jednej strony wspierać rozwój rentownego rynku, a z drugiej szybko ograniczyć emisję CO₂.

W początkowej fazie rozwoju rynku część już istniejącej produkcji wodoru może zostać zdekarbonizowana dzięki budowie instalacji wychwytyjącej i magazynującej CO₂. Równolegle należy zainicjować budowę infrastruktury do całkowicie zeroemisyjnej produkcji wodoru. Komisja Europejska podkreśla, że proces inwestycji w czysty wodór musi rozpocząć się już teraz. Dzięki temu w 2030 roku koszt produkcji wodoru z OZE stanie się konkurencyjny i spadnie z obecnych 2,5-5,5 EUR/kg do 1,1-2,4 EUR/kg. Tymczasem koszt niskoemisyjnego wodoru z obecnych 1,5 EUR/kg (bez kosztu składowania CO₂) lub 2 EUR/kg (wraz z kosztem magazynowania CO₂) wzrośnie do 2-2,5 EUR/kg.²⁰³

Warto podkreślić, że unijna strategia wodorowa zakłada wykorzystanie wodoru w branżach, których nie da się całkowicie zelektryfikować, np. hutnictwie, chemii oraz długodystansowym transporcie lotniczym i samochodowym, jednak nie przewiduje, aby był on możliwy do zastosowania we wszystkich branżach. Decydować ma tutaj czynnik ekonomiczny.

W niektórych branżach może bowiem okazać się, że pojawią się inne, bardziej opłacalne technologie. Jednocześnie wodór produkowany przy użyciu energii z OZE jest najbardziej optymalnym rozwiązaniem, jeśli chodzi o osiągnięcie celu neutralności klimatycznej oraz zbudowanie zintegrowanego systemu energetycznego. Koncentracja na wodorze z OZE wynika z możliwości europejskiego przemysłu w zakresie produkcji elektrolizerów²⁰⁴, co umożliwia dostawy tych podstawowych komponentów w zamkniętym obiegu gospodarki UE.

²⁰³ *A hydrogen strategy...* op. cit., s. 4.

²⁰⁴ Warto odnotować, że mimo to Europa jest mocno zależna od dostaw surowców do produkcji elektrolizerów oraz ogniw paliwowych, np. platyny. *A hydrogen strategy...* op. cit., s. 1.

6.4. Cztery główne obszary wsparcia wodoru

Jak już wcześniej wspomniano, rozwój wodoru w gospodarce unijnej będzie wymagał skoordynowanych działań w zakresie inwestycji, regulacji, tworzenia rynku oraz badań i rozwoju.

Strategia na lata 2020-2030 zakłada nakłady na **inwestycje** na poziomie od 24 do 42 mld EUR na same elektrolizery. Dodatkowe 220-340 mld EUR zostanie przeznaczonych na rozbudowę i podłączenie do nich 80-120 GW energii ze słońca i wiatru. Osobną pozycję w kosztorysie stanowi infrastruktura do wychwytywania i magazynowania CO₂ (11 mld EUR) oraz inwestycje w transport, w tym dystrybucję oraz przechowywanie wodoru do tego celu. KE szacuje, że do 2050 roku nakłady inwestycyjne na produkcję wodoru w UE mają wynieść od 180 do 470 mld EUR²⁰⁵. Potrzebne są też inwestycje mające na celu zwiększenie zużycia wodoru. Wybudowanie dodatkowych 400 stacji tankowania tego paliwa to koszt nawet 1 mld EUR.

W celu skoordynowania inwestycji na poziomie unijnym, Komisja Europejska powołała Europejski Sojusz na Rzecz Czystego Wodoru (European Clean Hydrogen Alliance), który ma odgrywać istotną rolę we wdrażaniu strategii unijnej oraz nadzorowaniu projektów na poziomie międzynarodowym. Członkiem Sojuszu od sierpnia 2020 roku jest również m.in. PKN ORLEN.

Unia Europejska wprowadza **regulacje**, określa standardy oraz definicje potrzebne do ustalenia emisji CO₂ podczas produkcji oraz eksploatacji. Strategia UE zakłada stworzenie klarownego otoczenia regulacyjnego mającego na celu wykreowanie po stronie inwestorów pewności w zakresie kryteriów uznawania wodoru za wodór odnawialny i niskoemisyjny, który mógłby zostać objęty instrumentami wsparcia. W tym celu planowane jest ustanowienie wspólnych progów lub norm w zakresie niskoemisyjności dla instalacji do produkcji wodoru (jego wartość mogłaby zostać określona w stosunku do obowiązującego wskaźnika EU ETS)²⁰⁶, jak i certyfikacji wodoru odnawialnego i niskoemisyjnego, możliwie w oparciu o istniejące zasady monitorowania, raportowania i weryfikacji w ramach EU ETS oraz przepisy określone w dyrektywie w sprawie odnawialnych źródeł energii.

Planowane jest także skonstruowanie systemu wsparcia mającego wspomagać produkcję czystego wodoru. Rozważanym instrumentem jest stworzenie systemów przetargowych w odniesieniu do kontraktów różnicowych dotyczących emisji CO₂ (*Carbon Contracts for Difference*; CCfD²⁰⁷). Długoterminowy kontrakt z udziałem podmiotu publicznego polegałby na wypłacaniu różnicy między ustaloną ceną emisji CO₂ (kurs wykonania) a rzeczywistą ceną emisji CO₂ w systemie EU ETS, niwelując różnicę w kosztach w porównaniu z konwencjonalną produkcją wodoru. System wsparcia mógłby zostać wdrożony na poziomie UE lub na poszczególnych szczeblach krajowych. Funkcjonowałby więc w zasadzie na wzór dzisiejszych polskich aukcji dotyczących zakupu energii odnawialnej z OZE, z tym, że oczywiście dotyczyłby gwarantowania inwestorom określonej ceny emisji CO₂, niezbędnej do zapewnienia opłacalności danego projektu wodorowego.

UE odpowiada również za harmonizację wymogów technicznych i regulacji dotyczących pojazdów na wodór. Ze względu na międzynarodowy charakter technologii wodorowych, w interesie UE jest wyznaczanie kierunków dalszego rozwoju i harmonizacji przepisów dotyczących tego paliwa²⁰⁸ (Szczegółowy opis Regulacji znajduje się w Rozdziale 7. Regulacje prawne).

²⁰⁵ *Ibidem*, s. 7-8.

²⁰⁶ *Ibidem*, s.12.

²⁰⁷ *Ibidem*, s.13.

²⁰⁸ *Ibidem*, s.12.

W strategii na rzecz integracji systemu energetycznego wśród działań jest m.in. przegląd istniejącego prawodawstwa oraz opracowanie wytycznych dla krajów członkowskich w sprawie środków polityki budżetowej oraz stopniowe wycofywanie dotacji na paliwa kopalne. Po analizie istniejących barier KE ma zaproponować rozwiązania, np. zmianę dyrektywy w sprawie opodatkowania energii oraz ram regulacyjnych rynku gazu w 2021 roku²⁰⁹.

Tworzenie rynku i pobudzanie popytu na wodór powinno towarzyszyć rozwojowi produkcji tego paliwa. Jednym z dwóch podstawowych rynków zbytu wodoru obok przemysłu jest transport. W tym drugim obszarze Komisja Europejska przedstawi szerszą perspektywę zastosowania wodoru w strategii dotyczącej zrównoważonej mobilności, którą zaprezentowano pod koniec 2020 roku²¹⁰. Jednym z celów będzie też zbudowanie międzynarodowego rynku opartego na EUR do rozliczeń między partnerami biznesowymi z różnych krajów.

Czwartym obszarem są **badania i rozwój**, które KE wspiera poprzez FCHJU od 2008 roku. Pierwsze 16 projektów KE wsparła w tym samym roku, w kolejnym projektów było już 28, a następnym 26 i rekordowe 33 w 2011 roku. Do końca 2015 roku na 169 projektów KE wydała razem 520 mln EUR. Łącznie KE wsparła w tym programie 265 projektów badawczych i rozwojowych dotyczących technologii wodorowych²¹¹.

6.5. Strategia na rzecz zielonej, inteligentnej i przystępnej cenowo mobilności

9 grudnia 2020 roku Komisja Europejska opublikowała strategię na rzecz zielonej, inteligentnej i przystępnej cenowo mobilności (Sustainable and Smart Mobility Strategy). Dokument określa rozpisany na 82 inicjatywy plan transformacji ekologicznej i cyfrowej na najbliższe 4 lata. Dzięki ich wdrożeniu unijny system transportu ma być bardziej odporny na przyszłe kryzysy²¹².

W odniesieniu do wodoru, wg tego dokumentu, do 2030 roku ma powstać w Europie 1000 punktów tankowania, a na drogach będzie wtedy co najmniej 30 mln zeroemisyjnych pojazdów. Zgodnie ze strategią do 2050 roku niemal wszystkie samochody osobowe, furgonetki, autobusy, a także nowe pojazdy ciężarowe będą bezemisyjne, jednak dokument nie określa, jaki procent z nich i w jakim segmencie będzie zasilany wodorem.

Komisja Europejska przewiduje podwojenie kolejowego ruchu towarowego w ciągu 30 lat, co z pewnością zwiększy popyt na wodór na trasach, które nie zostaną zelektryfikowane. Strategia wskazuje, że w transporcie drogowym zeroemisyjne technologie są już dostępne, a co za tym idzie planowane podróże zbiorowe o zasięgu poniżej 500 km powinny być neutralne, jeśli chodzi o emisję CO₂ do 2030 roku KE zakłada, że do tego roku gotowe do wprowadzenia na rynek będą pierwsze bezemisyjne statki morskie, zaś do 2035 roku bezemisyjne samoloty²¹³.

209 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pl/ip_20_1259 (dostęp 14.10.2020).

210 <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/legislation/com20200789.pdf> (dostęp 13.12.2020).

211 www.fch.europa.eu/page/beneficiaries-and-budget

212 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pl/ip_20_2329 (dostęp 13.12.2020).

213 <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/legislation/com20200789.pdf> (dostęp 13.12.2020).

6.6. Podsumowanie strategii UE

Zielony i niebieski wodór mogą stanowić istotny wkład w zmniejszenie emisji CO₂ przez gospodarkę unijną w perspektywie do 2030 roku. Ten rodzaj paliwa może być alternatywnym źródłem nisko- lub zeroemisyjnej energii dla tych sektorów, w których całkowita elektryfikacja będzie trudna, np. przemysłu ciężkiego czy chemicznego.

Należy podkreślić, że szerokie zastosowanie wodoru od energetyki poprzez przemysł, ciepłownictwo aż po transport posiada ogromny potencjał. Jednocześnie trzeba zlikwidować istniejące bariery regulacyjne, technologiczne oraz finansowe, aby zrealizować wizję KE.

Dodatkową szansą dla rozwoju technologii wodorowych mogą być interwencje państwowe związane z odbudową gospodarki po pandemii COVID-19. Do 2050 roku wodór ma szansę stać się istotnym czynnikiem do wypełnienia ambitnego celu neutralności klimatycznej oraz osiągnięcia przez Unię Europejską czołowej pozycji w zakresie technologii z tym związanych. Do głównych wyzwań należy koordynacja strategii na poziomie poszczególnych krajów Wspólnoty oraz skalowanie popytu i podaży na wodór. Należy przy tym zaznaczyć, że mechanizmy wsparcia można skutecznie wprowadzić przed ogłoszeniem krajowej strategii, czego przykładem są Czechy. W tym kraju od 2017 roku można uzyskać dofinansowanie w wysokości 85 proc. kosztów budowy stacji tankowania wodoru²¹⁴.

6.7. Strategie narodowe wybranych państw

6.7.1. Niemcy – tylko zielony wodór

Opublikowana w czerwcu 2020 roku niemiecka strategia wodorowa jest w wielu punktach zbieżna z europejską. Zwiększenie roli wodoru jest postrzegane jako istotny element transformacji energetycznej. W dokumencie podkreślana jest elastyczność, możliwość magazynowania i wykorzystania wodoru jako nośnika energii. Mowa również o zastąpieniu *szarego* wodoru (już wytwarzanego i wykorzystywanego w przemyśle) wodorem *zielonym* oraz otwarciu nowych możliwości w przemyśle.

W ocenie rządu federalnego Niemiec ten ostatni aspekt stanowi szczególnie istotną szansę na wychodzenie z kryzysu ekonomicznego spowodowanego pandemią koronawirusa COVID-19²¹⁵. Jednocześnie ocenia się, że krajowy popyt będzie najprawdopodobniej musiał być zaspokajany poprzez import, co stwarza szansę dla krajów z prognozowaną nadwyżką produkcji, np. dla Polski. Aktualne zużycie wodoru w Niemczech to równowartość 55 TWh, które są rozdzielone równo między 2 sektory: chemiczny (w tym produkcja metanolu i amoniaku) oraz rafineryjny (produkcja paliw płynnych). Aktualnie ok. 7 proc. popytu na wodór jest zaspokajane dzięki elektrolizie, co odpowiada 3,85 TWh. Niemiecka strategia zakłada, że tylko transformacja w kierunku *zielonego* wodoru jest zasadna w dłuższej perspektywie²¹⁶.

214 Czeski rząd może dotować stacje ładowania www.wysokienapiecie.pl/2547-czeski-rzad-moze-dotowac-stacje-ladowania/ (dostęp 29.09.2020).

215 The National Hydrogen Strategy www.bmbf.de/files/bmwi_Nationale_Wasserstoffstrategie_Eng_s01.pdf s. 16 (dostęp 29.09.2020).

216 Ibidem, s. 2.

Plan zakłada 2 fazy realizacji do 2030 roku:

- lata 2020-2023 – budowa rynku i wykorzystanie rosnącego popytu na wodór;
- lata 2024-2030 – dalsza budowa rynku i wzrost w skali krajowej i międzynarodowej.

Niemcy szacują, że w 2030 roku będzie potrzeba od 90 do 110 TWh z wodoru. Aby zaspokoić rosnący popyt, planowane jest uruchomienie do tego czasu produkcji zielonego wodoru o mocy odpowiadającej 14 TWh, co będzie wymagało dodatkowych 20 TWh energii pozyskanej z OZE.²¹⁷ Przewiduje się, że popyt krajowy będzie musiał być zaspokajany również z importu z regionów UE, w których generuje się dużą ilość energii ze źródeł odnawialnych²¹⁸.

Niemiecka narodowa strategia wodorowa podkreśla konieczność stworzenia odpowiednich warunków do inwestowania przez sektor prywatny w wytwarzanie, transport i wykorzystywanie zeroemisyjnego wodoru, co w efekcie ma doprowadzić do dekarbonizacji kolejnych gałęzi gospodarki. Do wdrażania strategii zostaną powołane dwie nowe instytucje – Narodowa Rada Wodorowa i Biuro ds. Koordynacji. Strategicznym zarządzaniem projektem będzie zajmował się międzyresortowy zespół złożony z przedstawicieli wybranych ministerstw. Będzie on mógł modyfikować strategię zgodnie z przyszłymi trendami rynkowymi oraz opracowywać plan działania w celu jej realizacji. Złożona z maksymalnie 26 przedstawicieli biznesu, nauki i strony społecznej Narodowa Rada Wodorowa doradza i wspiera międzyresortowy zespół, a Biuro ds. Koordynacji stale monitoruje postęp oraz zajmuje się zarządzaniem poszczególnymi projektami realizowanymi w ramach wdrażania strategii²¹⁹.

Realizacja konkretnych celów ma być możliwa dzięki podjęciu kilkudziesięciu przedsięwzięć podzielonych na najważniejsze obszary, takie jak: produkcja wodoru, transport, przemysł, infrastruktura i dostawa, badania i rozwój oraz działania na szczeblu europejskim i międzynarodowym. Niemiecka strategia zakłada konkretne działania, m.in. wsparcie finansowe do zakupu elektrolizerów od 2020 roku, 3,6 mld EUR grantów badawczych na pojazdy zasilane wodorem oraz dodatkowe 3,4 mld EUR na finansowanie rozbudowy infrastruktury dla paliw alternatywnych²²⁰.

6.7.2. Japonia – wodór jako narzędzie do zwiększenia niezależności energetycznej

Jednym z państw, które są najbardziej zaawansowane w długoterminowym planowaniu oraz wdrażaniu technologii wodorowych, jest Japonia. Rząd tego kraju już w 2017 roku opublikował strategię niemal całkowitego zastąpienia gospodarki na ten typ paliwa. Dokument określa ambitne cele i mapę drogową do ich osiągnięcia do 2030 roku oraz określa perspektywę do 2050 roku, kiedy to produkcja wodoru ma być całkowicie wolna od emisji CO₂²²¹.

Japonia w perspektywie najbliższych kilkudziesięciu lat ma stać się społeczeństwem wodorowym, czyli takim, które będzie stosować ten gaz jako główne źródło energii. Pozwoli to Japonii na uzyskanie dywersyfikacji dostaw energii przy jednoczesnej redukcji emisji gazów cieplarnianych o 80 proc. do 2050 roku, zgodnie z porozumieniem paryskim z 2015 roku. Cele transformacji w stronę społeczeństwa wodorowego określa tzw. Plan 3E+S (skrót od *Economic, Energy, Environment* oraz *Safety*). Oprócz bezpieczeństwa energetycznego, kładzie on nacisk na uzyskanie efektywności ekonomicznej (m.in. poprzez

217 Przy założeniu efektywności na poziomie 70 proc. i 4 tys. godzin pracy elektrolizera.

218 *The National Hydrogen Strategy* www.bmbf.de/files/bmwi_Nationale_Wasserstoffstrategie_Eng_s01.pdf s. 5 (dostęp 29.09.2020).

219 *Ibidem*, s. 14.

220 *Ibidem*, s. 19.

221 *Basic Hydrogen Strategy (Key Points)* www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003a.pdf s. 1 (dostęp 29.09.2020).

standaryzację i globalizację technologii wodorowej w wyniku współpracy międzynarodowej), ochronę środowiska oraz zmniejszenie udziału energii atomowej w miksie energetycznym. Społeczeństwo wodorowe w strategii rządu Japonii ma być środkiem do osiągnięcia powyższych celów²²².

Głównym wyzwaniem Japonii jest obecnie znaczne uzależnienie od importu paliw płynnych, co wynika z braku zasobów własnych oraz położenia geograficznego. W efekcie obecnie aż 98 proc. paliw zużywanych w transporcie drogowym pochodzi z importu, przede wszystkim z Bliskiego Wschodu. Ze względu na niewielką powierzchnię kraju dostępną dla dużych instalacji OZE, z których można by produkować zielony wodór, import nadal będzie pełnił ważną rolę, ale możliwa będzie dywersyfikacja jego dostaw. To z kolei oznacza konieczność dużych inwestycji w infrastrukturę niezbędną do transportowania i magazynowania wodoru²²³.

Japonia planuje zwiększyć import tego surowca głównie z Australii oraz Bliskiego Wschodu, aby sprostać prognozowanemu wzrostowi popytu. Działania w tym obszarze będą prowadzone równolegle ze stworzeniem w pełni skomercjalizowanego łańcucha dostaw. Japonia realizuje obecnie z australijskim stanem Victoria pilotażowy projekt produkcji i dostaw wodoru z tego kierunku. Pilotaż ma zakończyć się w 2021 roku²²⁴. W 2030 roku zużycie wodoru w Japonii, w celu wyprodukowania energii elektrycznej, ma wynieść 300 000 ton, natomiast w dalszej perspektywie strategia zakłada wzrost zapotrzebowania nawet do 10 mln ton rocznie, co dawałoby ekwiwalent zużycia energii na poziomie 30 GW.

Do 2030 roku liczba pojazdów zasilanych wodorem ma wynieść 800 tys., w tym 1 200 autobusów. Flota tego typu pojazdów będzie się też składać z wózków widłowych, samochodów ciężarowych oraz niewielkich okrętów. Głównym elementem japońskiej strategii budowy społeczeństwa wodorowego jest rozwój popytu na wodór w skali regionalnej, w tym optymalizacja popytu oraz podaży, jak również zmniejszenie kosztów produkcji wodoru z OZE oraz instalacji do tankowania i przechowywania paliwa.

²²² *Ibidem*, s. 3.

²²³ *Japan needs scale to make hydrogen imports viable* www.petroleum-economist.com/articles/low-carbon-energy/energy-transition/2020/japan-needs-scale-to-make-hydrogen-imports-viable (dostęp 29.09.2020).

²²⁴ *Hydrogen Energy Supply Chain Pilot Project* www.industry.gov.au/funding-and-incentives/hydrogen-energy-supply-chain-pilot-project (dostęp 29.09.2020).

6.7.3. Czechy – wsparcie bez formalnej strategii wodorowej

Ciekawe i skuteczne narzędzie wsparcia rynku wodoru funkcjonuje w Czechach. W 2015 roku tamtejszy rząd przyjął Narodowy Plan Działania na Rzecz Czystej Mobilności²²⁵, który ostatni raz został zaktualizowany w 2019 roku. W dokumencie wpisano cel osiągnięcia 16 publicznie dostępnych stacji tankowania wodoru do 2025. Do 2030 roku ma być łącznie 80 stacji oraz 40-50 tys. pojazdów zasilanych tym rodzajem paliwa²²⁶.

Dzięki dofinansowaniu na poziomie 85 proc. kosztów budowy stacji należący do Grupy ORLEN Unipetrol rozpoczął w 2020 roku budowę dwóch tego typu obiektów – w Pradze i Litvinovie. W planach jest wybudowanie kolejnych stacji w Brnie, Pilźnie i w Pradze, na autostradzie D10²²⁷. Wysokie wsparcie rozwoju rynku wodoru na wstępnym etapie zostało szybko uruchomione nawet mimo braku formalnej strategii w tym zakresie.

225 <https://www.mpo.cz/en/industry/manufacturing-industry/automotive-industry/national-action-plan-for-clean-mobility--179151/> (dostęp 19.10.2020).

226 <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/czech-republic> (dostęp 19.10.2020).

227 <https://www.orlen.pl/PL/BiuroPrasowe/Strony/ORLEN-inwestuje-w-pierwsze-stacje-wodorowe-w-Czechach.aspx> (dostęp 19.10.2020).



***Wdrożenie w Czechach
85 proc. dofinansowania
do budowy stacji tankowania
wodoru pozwoliło na szybkie
uruchomienie inwestycji.***



REGULACJE PRAWNE DOTYCZĄCE WODORU

7. Regulacje prawne dotyczące wodoru

Zastosowanie wodoru jako paliwa alternatywnego reguluje dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z 22 października 2014 roku w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (AFID – *Alternative Fuels Infrastructure Directive*)²²⁸. Dyrektywa zobowiązuje te państwa członkowskie, które postanowią przewidzieć w swoich krajowych założeniach publicznie dostępne punkty tankowania wodoru, aby do końca 2025 roku wybudowały odpowiednią liczbę stacji tankowania wodoru.

Nie precyzuje jednak liczby stacji, kwestia ta leży w gestii poszczególnych krajów członkowskich. Dyrektywa AFID była już dwukrotnie nowelizowana – rozporządzeniem z 17 listopada 2017 roku wprowadzającym zmiany od 24 maja 2020 roku oraz 13 sierpnia 2019 z terminem zmian od 12 listopada 2021 roku²²⁹.

7.1. Prawo i założenia w Polsce

Dyrektywę AFID wdrożyła do krajowego porządku prawnego ustawa z 11 stycznia 2018 roku *O elektromobilności i paliwach alternatywnych*²³⁰, znowelizowana 24 maja 2020 roku²³¹. Ustawa traktuje wodór jako paliwo alternatywne. Ustawa o elektromobilności zawiera definicję pojazdu napędzanego wodorem. Jest to pojazd wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniach paliwowych.

Dokument przewiduje zachęty w postaci możliwości wjazdu tego typu pojazdów do Stref Czystego Transportu oraz zachęty podatkowe w postaci zwolnienia z akcyzy. Ustawa o elektromobilności nie zawiera jednak kompleksowych rozwiązań dotyczących możliwości wykorzystania wodoru w transporcie.

Rada Ministrów przyjęła 17 października 2019 roku w trybie obiegowym zaktualizowane *Krajowe ramy polityki infrastruktury paliw alternatywnych*²³². Dokument określa specyfikacje techniczne infrastruktury do tankowania wodoru w stanie gazowym w pojazdach silnikowych, czystości wodoru wydawanego przez punkty tankowania wodoru oraz zasady wyboru sprzedawcy energii elektrycznej do ładowania pojazdów elektrycznych.

Założenia wdrożenia dyrektywy AFID pokrywają się z planem implementacji infrastruktury wodorowej w Polsce autorstwa Instytutu Transportu Samochodowego (dokument przygotowany w 2015 roku)²³³. Dotyczy to zwłaszcza transeuropejskiej sieci transportowej (TEN-T).

228 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z 22 października 2014 roku (Dz. Urz. UE L 307 z 28.10.2014).

229 Rozporządzenie 2018/674 z 17 listopada 2017 roku oraz Rozporządzenie 2019/1745 z dnia 13 sierpnia 2019 roku

230 Dziennik Ustaw 2018, poz. 317.

231 <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20200000908/U/D20200908Lj.pdf>

232 *Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych* <https://bip.kprm.gov.pl/kpr/form/r54402924429635.Krajowe-ramy-polityki-rozwoju-infrastruktury-paliw-alternatywnych.html> (dostęp 29.09.2020).

233 Wodór - alternatywne paliwo dla transportu samochodowego w Polsce www.its.waw.pl/8041.pl.Wodor-alternatywne-paliwo-dla-transportu-samochodowego-w-Polsce.html (dostęp 29.09.2020).

W Polsce nad Strategią Wodorową pracuje Ministerstwo Klimatu i Środowiska²³⁴, które jest na etapie prac wewnętrznych. Resort zapowiadał publikację dokumentu jesienią 2020 roku w ramach konsultacji publicznych²³⁵. Strategia i przygotowywane na ich podstawie przepisy powinny ułatwić wdrożenie technologii wodorowych, obejmując takie aspekty jak m.in.:

- sposoby oraz procesy produkcji wodoru;
- wymagania jakościowe dla wodoru wydawanego przez punkty tankowania, a także możliwości dokonywania badania jakości;
- magazynowanie wodoru;
- transport wodoru autocysternami;
- transport wodoru rurociągami;
- wymagania techniczne dla stacji i punktów tankowania wodoru wraz z niezbędną dla ich funkcjonowania infrastrukturą towarzyszącą stacji oraz urządzeń służących do tankowania wodoru;
- pozwolenia na budowę i eksploatację stacji tankowania wodoru;
- przepisy przeciwpożarowe;
- przepisy BHP;
- wymagania metrologiczne;
- dozór techniczny;
- koncesje.

Wybrane, najważniejsze zagadnienia przedstawione są w poniższych podrozdziałach.

7.2. Wytwarzanie wodoru w elektrolizerach

Prawnego opracowania będzie wymagała technologia Power to Gas (P2G), czyli wytwarzania wodoru w procesie elektrolizy. Polskie prawo energetyczne nie wskazuje konkretnych przepisów, regulacji ani standardów przemysłowych dotyczących podłączania instalacji elektrolizera do sieci gazowej czy też elektroenergetycznej. Dodatkowym utrudnieniem jest stosowanie podwójnego naliczania opłat sieciowych – taryfy dla energii elektrycznej w rozliczeniach z magazynami oraz za świadczone usługi – przesył lub dystrybucję.

Komplikuje to inwestycje już na etapie starania się o pozwolenie na budowę i eksploatację, gdyż obowiązują w takim wypadku ogólne przepisy. Organem odpowiedzialnym za wydawanie zgód na podłączenie do sieci dystrybucyjnej (jak w innych państwach członkowskich) jest lokalny operator. W przypadku Polski kwestia ta jest opisana w krajowym Prawie Energetycznym²³⁶.

Lokalny operator określa warunki przyłączenia dla potencjalnej instalacji P2G i przygotowuje odpowiednią umowę wraz z harmonogramem. W sytuacji, gdy moc instalacji przekracza 5 MWe, niezbędna jest dodatkowa ekspertyza w celu określenia jej wpływu na lokalny system elektroenergetyczny. Zgodnie z polskim Prawem Energetycznym, obowiązują specjalne warunki przyłączenia na okres dwóch lat²³⁷.

234 Do 6.10.2020 – Ministerstwo Klimatu. Po rekonstrukcji rządu – Ministerstwo Klimatu i Środowiska.

235 Informacja przekazana przez Ministerstwo Klimatu w korespondencji e-mail dn. 9.07.2020.

236 Dz. U. z 2012 roku, nr 1059 z późn. zm. art. 7.

237 HyLAW, op. cit.

7.3. Jakość paliw

Wdrożona dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2014/94/UE w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych reguluje w załącznikach specyfikacje techniczne dla punktów tankowania wodoru przeznaczonych dla pojazdów. Dyrektywa przywołuje m.in. normę ISO/TS 20100 dotyczącą niezbędnego sprzętu oraz algorytmy do tankowania wodoru w stanie gazowym na wolnym powietrzu. Treść dyrektywy odwołuje się także do normy ISO 14687-2 definiującej czystość wodoru wydawanego przez punkty tankowania. Dyrektywa przytacza również normę ISO 17268 dotyczącą urządzeń podłączających i służących do tankowania wodoru w stanie gazowym w pojazdach silnikowych.

Także przygotowywana Polska Strategia Wodorowa ma powołać się na te przepisy i uregulować wykorzystanie wodoru do napędu pojazdów samochodowych. Ministerstwo Klimatu i Środowiska planuje w ramach prowadzonych prac objęcie wodoru przeznaczonego na cele transportowe przepisami ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 roku o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw²³⁸. Wodór zostanie dodany do ustawowego katalogu paliw, podlegających pod System Monitorowania i Kontrolowania Jakości Paliw²³⁹. Planuje się także wprowadzenie ustawowej definicji wodoru jako paliwa w transporcie – wodorem ma być zatem *wodór przeznaczony do napędu pojazdu samochodowego wykorzystującego energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniach paliwowych, oznaczony kodem CN 2804 10 00*.

Minister Klimatu i Środowiska, w kolejnym kroku, powinien określić w drodze rozporządzenia wymagania jakościowe dla wodoru stosowanego do napędu pojazdów samochodowych przez wskazanie konkretnych parametrów i ich dopuszczalnych wartości. Resort zaznacza, że w efekcie proponowanych zmian w ustawie o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw wodór zostałby objęty Systemem Monitorowania i Kontrolowania Jakości Paliw, którym zarządza Prezes Urzędu Ochrony Konkurencji i Konsumentów.

Sposób pobierania i badania próbek wodoru przeznaczonego na cele transportowe, według projektowanych rozwiązań, zostanie określony w drodze aktów wykonawczych do ustawy o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw. Podstawą wypracowania przepisów są normy określające wymagania dla paliwa, jakim jest wodór gazowy zasilający polimerowe ogniwa paliwowe (PEM) w pojazdach samochodowych EN 17124:2018 i ISO 14687:2019. Natomiast w zakresie pobierania próbek rozważane są dwie opcje: pobieranie próbek wodoru na podstawie Załącznika K Normy ISO 19880-1:2020 lub na podstawie normy ASTM D7606-17 i normy ASTM D7650-13.

Ministerstwo Klimatu i Środowiska opracowuje regulacje określające etap, na którym wodór będzie podlegał kontroli. Resort przyznaje, że może to być miejsce produkcji, moment transportu, magazyn wodoru, a nawet stacja paliw, na której wodór będzie sprzedawany. Docelowo potrzebne będzie wyznaczenie jednostki certyfikującej wodór, czyli laboratorium badającego zgodność próbek z normami. Wymaga to jednak wdrożenia odpowiednich przepisów. Na marginesie warto zauważyć, że producenci samochodów wodorowych stosują wymagane przepisami homologacyjnymi czujniki jakości paliwa, blokujące jego dopływ w razie wykrycia pierwiastków lub związków niespełniających norm i mogących uszkodzić ogniwo. Przy dystrybucji wodoru konieczne będzie jednak spełnienie określonych wymogów przez podmiot oferujący wodór na sprzedaż do celów transportowych.

²³⁸ Dz. U. z 2019 roku, poz. 660, 1527, z 2020 roku poz. 284.

²³⁹ Projekt ustawy z dnia 22.07.2020 o zmianie ustawy o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw, <https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12336300>.

7.4. Przesył wodoru

Wodór jest uznawany za paliwo gazowe, ale nie ma jeszcze przepisów prawnych, które umożliwiłyby jego wprowadzenie do sieci gazowej i systemów magazynowych. Założenia dla tych przepisów mają się pojawić w Polskiej Strategii Wodorowej, która określi wymagania dotyczące budowy rurociągów wodorowych i możliwości przesyłu i dystrybucji domieszki wodoru w obecnej sieci.

Ministerstwo Klimatu i Środowiska zakłada, że Polska powinna zbudować infrastrukturę stanowiącą część europejskiej sieci tankowania wodoru do 2025 roku. Źródłem finansowania tych inwestycji może być Fundusz Odbudowy. Ostateczne wersje wypracowanych w Ministerstwie Klimatu i Środowiska rozwiązań prawnych będą przedmiotem uzgodnień międzyresortowych i konsultacji publicznych, planowanych na jesień 2020 roku.

Badania nad możliwością magazynowania i transportu wodoru przy wykorzystaniu sieci gazu ziemnego rozpoczęło już PGNiG. Spółka przeprowadzi próby wtłaczania odpowiedniej mieszanki gazu i wodoru do sztucznej sieci gazowej, będzie testować magazynowanie wodoru w kawernach, a także dostarczanie go cysterną do swojej stacji w Warszawie.

7.5. Stacje tankowania wodoru

Transportowy Dozór Techniczny (TDT) wskazuje, że warunki dozoru technicznego dla stacji tankowania wodoru nie zostały na tym etapie prac legislacyjnych określone²⁴⁰. Szczegółowe wymagania techniczne dotyczące bezpiecznej eksploatacji, naprawy i modernizacji stacji tankowania wodoru, jak również rodzaje badań technicznych stacji tankowania wodoru przeprowadzanych przez UDT oraz sposób i terminy ich przeprowadzania, mają zostać określone w drodze rozporządzenia przez Ministra właściwego do spraw energii. Stacje tankowania wodoru mają spełniać wymagania techniczne i eksploatacyjne określone w Polskich Normach, zaś przed przystąpieniem do jej budowy operatorzy będą mogli wystąpić do Prezesa UDT o opinię zgodności dokumentacji technicznej projektowanego obiektu z wymogami technicznymi²⁴¹. Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 roku o elektromobilności i paliwach alternatywnych (tekst jednolity z 22 maja 2020 roku) określa:²⁴²

- 1. zasady rozwoju i funkcjonowania infrastruktury** służącej do wykorzystania paliw alternatywnych w transporcie, zwanej dalej *infrastrukturą paliw alternatywnych*, w tym wymagania techniczne, jakie ma spełniać ta infrastruktura,
- 2. krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury** paliw alternatywnych oraz sposób ich realizacji.

W ustawie zdefiniowane zostały pojęcia infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego – punkty ładowania lub tankowania wodoru wraz z niezbędną dla ich funkcjonowania infrastrukturą towarzyszącą, przeznaczone do ładowania lub tankowania, w szczególności autobusów zeroemisyjnych, wykorzystywanych w transporcie publicznym oraz pojazdów napędzanych wodorem wykorzystujących do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych.

Do ustawy wprowadza się także niezbędne pojęcia związane z planowanym powstaniem infrastruktury tankowania wodoru: punktu i stacji tankowania wodoru, operatora stacji wodoru, jak i definicję wodoru jako paliwa oraz regulacje pozwalające na realizację tej infrastruktury. Projekt ustawy z dnia 10 listopada 2020 roku o zmianie ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych oraz niektórych innych ustaw wskazuje m.in. na wymagania techniczne, w szczególności w zakresie Polskich Norm, jakie musi spełniać stacja tankowania wodoru, jak i konieczne do uzyskania badania i opinii. Zawiera także delegację ustawową dla ministra właściwego ds. energii do wydania rozporządzenia dotyczącego szczegółowych wymagań technicznych związanych z eksploatacją stacji tankowania wodoru oraz ich badań. Projektowane zmiany zakładają uwzględnienie punktów tankowania pojazdów napędzanych wodorem w Ewidencji Infrastruktury i Paliw Alternatywnych.

7.6. Homologacja pojazdów

Pojazdy wykorzystujące wodór podlegają zharmonizowanym, unijnym przepisom homologacyjnym. W Polsce, podobnie jak w pozostałych państwach członkowskich UE, homologacja pojazdu samochodowego dokonywana jest na podstawie wymagań Dyrektywy PE i Rady 2007/46/WE, która w odniesieniu do pojazdów zasilanych wodorem wymaga spełnienia warunków określonych w Rozporządzeniu PE i Rady nr 79/2009 z późniejszymi zmianami lub warunków określonych w regulaminie ONZ 134. Pojazdy muszą spełniać także przepisy rozporządzenia Komisji (UE) nr 406/2010.

²⁴⁰ Korespondencja z Transportowym Dozorem Technicznym, z dn. 16.07.2020.

²⁴¹ Projekt ustawy o zmianie ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych oraz niektórych innych ustaw opublikowany 20.11.2020 <https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12340506/katalog/12740122#12740122>, dostęp 25.11.2020

²⁴² Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z 11 stycznia 2018 roku, tekst jednolity z 22 maja 2020; (Dz. U. z 2020 roku, poz. 908).

Transportowy Dozór Techniczny wskazuje, że w odniesieniu do procedur homologacyjnych odnoszących się do całego pojazdu, w zakresie homologacji typu WE istnieją obligatoryjne wymagania odnoszące się do pojazdów wyposażonych w instalacje zasilania wodorem. Według Transportowego Dozoru Technicznego pojazdy wyposażone w instalacje zasilania wodorem poddane są ogólnym procedurom homologacyjnym obowiązującym dla pojazdów rejestrowanych w Unii Europejskiej. Nie ma w tym zakresie potrzeby ustanawiania dodatkowych procedur krajowych.

Wyposażenie pojazdu oraz instalacja przystosowująca ten pojazd do zasilania wodorem muszą być objęte stosownymi dokumentami potwierdzającymi zgodność zastosowanych rozwiązań technicznych z obowiązującymi przepisami prawnymi. W przypadku elementów składowych instalacji sprężonego wodoru H_2 obowiązuje wymaganie posiadania świadectwa homologacji.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami art. 70c pkt 2 lit. b Prawa o ruchu drogowym²⁴³, wszyscy producenci zbiorników wodoru H_2 , służących do napędu silników spalinowych w pojazdach, przed wprowadzeniem ich na rynek, są zobowiązani poddać je badaniom, celem uzyskania homologacji, na zgodność z wymaganiami określonymi w ww. regulaminach. Wyniki badań odbiorczych zbiorników producenci powinni przedstawić i udostępniać w formie protokołu z badań odbioru producenta (jako ostatnia faza wytwarzania zbiornika polegająca na weryfikacji jego zgodności). Wymagania techniczne w zakresie projektowania, badania i udzielania homologacji elementów składowych instalacji zasilania wodorem H_2 , w tym zbiorników służących do napędu silników spalinowych w pojazdach, określone zostały w Regulaminie nr 134 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych²⁴⁴.

7.7. Zbiorniki

Zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z 7 grudnia 2012 roku²⁴⁵, zbiorniki wodoru H_2 , z uwagi na zagrożenie dla życia lub zdrowia ludzkiego oraz mienia i środowiska poprzez rozprężenie gazu, podlegają dozorowi technicznemu sprawowanemu przez Transportowy Dozór Techniczny na podstawie ustawy²⁴⁶. Zbiorniki mogą być eksploatowane wyłącznie na podstawie decyzji zezwalającej na ich eksploatację, wydanej przez Dyrektora Transportowego Dozoru Technicznego.

Jednocześnie wymagania techniczne w zakresie badań i eksploatacji specjalistycznych urządzeń ciśnieniowych, do których należy zaliczyć ww. zbiorniki, określone są w rozporządzeniu o specjalistycznych urządzeniach ciśnieniowych zwanym rozporządzeniem SUC²⁴⁷ i obligatoryjnie powinny być poddawane badaniom wykonywanym przez TDT. Zgodnie z wymaganiami rozporządzenia SUC, w toku eksploatacji zbiorników wodoru H_2 , służących do zasilania silników spalinowych w pojazdach, przeprowadzane są badania okresowe i doraźne, wykonywane jako: rewizje wewnętrzne, próby ciśnieniowe, rewizje zewnętrzne i próby szczelności.

243 Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 Prawo o ruchu drogowym – Dz. U. z 2020 roku, poz. 110 z późn. zm.

244 Regulamin nr 134 – Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów silnikowych i ich części w odniesieniu do charakterystyki bezpieczeństwa pojazdów napędzanych wodorem (HFCV).

245 Par. 1 pkt. 1 lit. f) Rozporządzenia Rady Ministrów z dn. 7 grudnia 2012 roku w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu (Dz. U. z 2012 roku, poz. 1468).

246 Art. 44 ust. 1 pkt 1 lit. c) Ustawy z dnia 21 grudnia 2000 roku o dozorze technicznym (Dz. U. z 2019 roku, poz. 667 z późn. zm.).

247 Rozporządzenie Ministra Transportu z dnia 20 października 2006 roku w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego w zakresie projektowania, wytwarzania, eksploatacji, naprawy i modernizacji specjalistycznych urządzeń ciśnieniowych (Dz. U. z 2014 roku, poz. 1465).

Terminy badań technicznych ww. zbiorników określa załącznik do ww. rozporządzenia, zgodnie z którym badania powinny być wykonywane co 10 lat w zakresie rewizji wewnętrznej i próby ciśnieniowej oraz raz w roku w zakresie rewizji zewnętrznej i próby szczelności. Warto zauważyć, że podobnie jest w przypadku zbiorników LPG, które wykorzystuje ponad 2,5 mln samochodów w Polsce.

Jednocześnie zbiorniki wodoru H₂ zamontowane w pojazdach, które uczestniczyły w wypadku lub uległy awarii, powinny być wymontowane i zgłoszone przez eksploatującego do badania doraźnego. Do dalszej eksploatacji mogą być dopuszczone zbiorniki, które nie wykazują śladów odkształceń lub innych uszkodzeń mechanicznych oraz przeszły z wynikiem pozytywnym badania przeprowadzone przez TDT.

7.8. Rekomendacje dotyczące regulacji prawnych

Obszar regulacji jest jednym z najbardziej krytycznych dla sprawnego wdrożenia i upowszechnienia technologii związanych z wodorem. Dlatego w obszarze legislacyjnym należy wziąć pod uwagę następujące rekomendacje:

- Tworzone ramy prawne powinny ułatwiać zainteresowanym podmiotom planowanie i realizację inwestycji, w których wodór będzie stosowany w celach transportowych oraz przemysłowych. Jednocześnie prawo powinno zapewnić odpowiednie standardy bezpieczeństwa na każdym etapie łańcucha dostaw.
- System monitorowania i kontrolowania jakości wodoru powinien uwzględniać fakt, że rynek wykorzystania wodoru na cele transportowe dopiero powstaje. W tej sytuacji system powinien działać w ramach prawnych adekwatnych do jego poziomu rozwoju, zarówno w zakresie kontroli jakości wodoru, jak i podmiotów uprawnionych do przeprowadzania takich działań.
- Należy unikać rozwiązań o wysokich kosztach, które mogłyby silnie obciążać nową gałąź gospodarki, a obejmowałyby niewiele podmiotów.
- Konieczne jest wprowadzenie preferencyjnych warunków w porównaniu z tradycyjnymi paliwami – np. czasowego zwolnienia wodoru z opłaty akcyzowej.
- Należy sklasyfikować wodór jako gaz techniczny, zamiast jako niebezpieczny. Dzięki temu nie będzie konieczna nowelizacja ustawy z dnia 19 sierpnia 2011 roku o przewozie towarów niebezpiecznych, a sam transport paliwa będzie prostszy i tańszy.

A blue Toyota hydrogen fuel cell truck is parked on a city street. The truck has "H2Only" written on its side in large white letters, with a stylized blue wave graphic below it. Below the wave, it lists regulatory codes: "CA 504785", "MC-27461-P", and "US DOT 1048755". Further down, it says "h₂ HEAVY-DUTY PROGRESS POWERED BY HYDROGEN FUEL CELL TECHNOLOGY". The truck's door has "TOYOTA FUEL CELL" and a "Southern California Hydrogen" logo. The number "1008" is visible on the side of the cab. In the background, there are brick buildings and banners, including one for "YERBA BUENA" and another with a record and a fork.

*Regulacje dotyczące wodoru
powinny ułatwić rozwój
i inwestycje w nowe technologie
przy zachowaniu odpowiedniego
reżimu jakości i bezpieczeństwa.*



FINANSOWANIE INWESTYCJI

8. Finansowanie inwestycji

Do dyspozycji samorządów i firm będzie coraz więcej programów wspierających finansowanie technologii wodorowych.

Komisja Europejska szacuje, że dla sprostania potrzebom przestawienia transportu drogowego na wodór konieczne będą znaczne inwestycje. Przykładowo, wybudowanie 400 dodatkowych stacji tankowania wodoru to według szacunków KE koszt od 850 mln do 1 mld EUR. Komisja podaje, że inwestycje w całą sieć magazynowania i dystrybucji wodoru będą kosztować do 2030 roku 65 mld EUR²⁴⁸.

Polski rząd zapewnia, że ogniwa paliwowe mają do odegrania istotną rolę w osiągnięciu przez transport neutralności klimatycznej. Ministerstwo Klimatu i Środowiska zaznacza, że do zbudowania całkowicie nowego sektora gospodarki, jakim będzie gospodarka wodorowa, potrzebne są znaczne środki finansowe liczone w miliardach EUR²⁴⁹.

Ministerstwo Klimatu i Środowiska podkreśla, że Polska jest gotowa do włączenia się w budowę tego nowego rynku. Poza funduszami pochodzącymi z UE resort zamierza także wspierać zakup pojazdów oraz budowę infrastruktury, zarówno tej związanej z transportem, jak i energetyką.

Przy finansowaniu inwestycji związanych z wodorem dostępnych jest szereg programów na poziomie europejskim oraz krajowym. Beneficjenci mogą korzystać z wielu już dostępnych źródeł, a w następnych latach, czyli w unijnej perspektywie finansowej na lata 2021-2027, mają być uruchomione kolejne programy.

Równolegle trwa przebudowa administracji zarządzającej funduszami pomocowymi. Na posiedzeniu 24 lipca 2020 roku Sejm zmienił ustawę o biokomponentach i biopaliwach ciekłych, likwidując Fundusz Niskoemisyjnego Transportu²⁵⁰ i w jego miejsce stworzył nowe tzw. zobowiązanie wieloletnie Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). Z jego funduszy ma być finansowany rozwój elektromobilności w Polsce. Na koniec czerwca 2020 roku FNT zgromadził kapitał w wysokości blisko 560 mln PLN.

248 *Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration* www.ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/energy_system_integration_strategy.pdf (dostęp 29.09.2020).

249 Na podstawie korespondencji z Ministerstwem Klimatu z dn. 9.07.2020.

250 Fundusz Niskoemisyjnego Transportu powstał 28 lipca 2018 roku na mocy zmian w ustawie o biokomponentach i biopaliwach ciekłych. Dysponentem gromadzonych w nim środków zostało ówczesne Ministerstwo Energii, a zarządzaniem FNT zajął się NFOŚiGW.

8.1. Mechanizm IPCEI

Komisja Europejska powołała 30 stycznia 2018 roku *Strategic Forum for IPCEI* (IPCEI – *Important Projects of Common European Interest*, z ang. *Strategiczne forum projektów istotnych dla wspólnego europejskiego interesu*) złożone z 45 przedstawicieli reprezentujących państwa członkowskie UE, przemysł i naukę²⁵¹. Ministerstwo Rozwoju (MR)²⁵² przeprowadziło w 2020 roku nabór wniosków w ramach IPCEI dla projektów wpisujących się w łańcuch wartości gospodarki wodorowej – produkcji, magazynowania, przesyłu, dystrybucji oraz wykorzystania przez użytkowników końcowych.

IPCEI umożliwia dofinansowanie projektu nawet do 100 proc. kosztów kwalifikowanych, ale jest mechanizmem przeznaczonym dla zaawansowanych projektów, istotnych z perspektywy rekomendujących ich sfinansowanie państw członkowskich oraz angażujących w ich realizację inne kraje UE²⁵³.

Do końca sierpnia 2020 roku przedsiębiorstwa zainteresowane realizacją tego typu projektów mogły zgłaszać się do MR z propozycjami. Wymagano, aby zgłaszane wnioski miały realny i znaczący potencjał rynkowy w technologiach związanych z wodorem i jednocześnie w sposób istotny wspierały cel osiągnięcia neutralności klimatycznej oraz zwiększały bezpieczeństwo strategiczne i niezależność technologiczną w Europie. Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii dokona oceny wniosków, a pozytywnie ocenione projekty zostaną rozwinięte oraz przygotowane w formie pełnych wniosków o dofinansowanie²⁵⁴.

8.2. Europejski Fundusz Inwestycji Strategicznych (EFIS)

Projekty wodorowe mogą być również współfinansowane z Europejskiego Funduszu Inwestycji Strategicznych (EFIS), którymi zarządza Europejski Bank Inwestycyjny (EBI). EFIS został powołany przez KE w 2015 roku. Dzięki zwiększeniu zaangażowania EBI fundusz ma pozwolić na uruchomienie inwestycji o wartości 500 mld EUR. Do EFIS swój wkład wnoszą także państwa członkowskie – bezpośrednio lub za pośrednictwem krajowych banków rozwoju²⁵⁵.

Fundusz ten można łączyć z innymi, np. instrumentem *Łącząc Europę* (CEF – *Connecting Europe Facility*). Dzięki pożyczce z EFIS połączonej z grantem z CEF na Łotwie finansowany jest rozwój infrastruktury do tankowania wodoru²⁵⁶.

251 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOC_2018_039_R_0003 (dostęp 23.10.2020).

252 Od 6.10.2020 Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii.

253 <https://pfr.pl/aktualnosci/webinaria-o-czym-warto-wiedziec-planujac-projekt-w-ramach-mechanizmu-ipcei.html> (dostęp 23.10.2020).

254 <https://www.gov.pl/web/rozwoj-praca-technologie/zaproszenie-do-skladania-zalozen-polskich-projektow-ipcei-wpisujacych-sie-w-lancuch-wartosci-tech-nologii-i-systemow-wodorowych2> (dostęp 23.10.2020).

255 <https://instrumentyfinansoweue.gov.pl/europejski-fundusz-inwestycji-strategicznych/> (dostęp 23.10.2020).

256 https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/combining_efs_i_other_eu_funds_en.pdf (dostęp 23.10.2020).

8.3. Instrument Łącząc Europę (CEF)

Łącząc Europę (CEF – *Connecting Europe Facility*) to funkcjonujący od 2014 roku instrument finansowy promujący wzrost, tworzenie miejsc pracy i konkurencyjność poprzez inwestycje w infrastrukturę na poziomie europejskim. Fundusz ten jest podzielony na część telekomunikacyjną, energetyczną i transportową.

Za jego pośrednictwem ponad 250 mln EUR zostało przeznaczone na inwestycje w paliwa alternatywne, w tym wodór. Z CEF finansowane są inwestycje w wodorową infrastrukturę w Danii, Wielkiej Brytanii oraz na Łotwie, gdzie projekt jest współfinansowany przy współudziale pożyczki z EFSI. Innym projektem wodorowym, wspartym z CEF jest projekt zasilania wodorowego żeglugi rzecznej RH2INE (por. 4.5. Inne rodzaje transportu). Z instrumentu CEF wspierany jest również projekt Pure H2 prowadzony przez Lotos.²⁵⁷

8.4. Fundusz Innowacji

Fundusz Innowacji (FI, ang. – *Innovation Fund*) to jeden z największych unijnych instrumentów finansowych, które wspierają cel osiągnięcia neutralności klimatycznej Europy do 2050 roku. Środki w FI pochodzą z systemu handlu emisjami oraz niewykorzystanych zasobów funkcjonującego od 2012 roku programu NER 300 (z ang. *New Entrants' Reserve*).

Łącznie FI ma mieć do dyspozycji nawet 10 miliardów EUR²⁵⁸, które sfinansują duże oraz innowacyjne projekty w zakresie technologii niskoemisyjnych i optymalizacji procesów w energochłonnych gałęziach przemysłu, w tym:

- wychwytywanie, utylizowanie i składowanie dwutlenku węgla,
- generowanie energii ze źródeł odnawialnych,
- przechowywanie energii.

Pierwszy nabór wniosków do projektów o dużej skali został zakończony 29 października 2020. Zakwalifikowane dalej projekty w drugim etapie przejdą pełną ocenę wszystkich kryteriów, w tym skalowalności oraz efektywności kosztowej. Małe projekty przechodzą weryfikację jednoetapową²⁵⁹.

8.5. Fundusz Sprawiedliwej Transformacji (FST)

Fundusz Sprawiedliwej Transformacji (FST, ang. – *Just Transition Fund*) zapewnia wsparcie przy transformacji energetycznej z paliw kopalnych na OZE. Mechanizm stanowi część pakietu tzw. Europejskiego Zielonego Ładu. FST będzie dysponował łącznym budżetem 7,5 mld EUR, a dodatkowo zostanie zasilony środkami z Europejskiego Funduszu Społecznego Plus (EFS+) oraz Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR), wpłatami od państw członkowskich oraz współfinansowaniem krajowym.

²⁵⁷ https://www.lotos.pl/2840/poznaj_lotos/projekty_dofinansowane_przez_ue/pure_h2_instalacja_oczyszczania_wodoru_i_infrastruktura_do_tankowania (dostęp 30.11.2020)

²⁵⁸ https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/innovation-fund/innovation_fund_factsheet_en.pdf (dostęp 26.10.2020).

²⁵⁹ https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund_en (dostęp 26.10.2020).

Projekty w ramach FST będą wcześniej zatwierdzone przez KE w ramach terytorialnych planów sprawiedliwej transformacji. Ze względu na uwarunkowania gospodarcze, Polska będzie należała do krajów, w których w sektorze wydobywającym paliwa kopalne może dojść do znacznego zmniejszenia liczby miejsc pracy na skutek polityki klimatycznej UE. W związku z tym przydział z FST dla Polski w latach 2021-2027 wyniesie 2 mld EUR, zaś z przesunięcia EFS+ 12,7 mld EUR, a EFRR – dodatkowe 40,1 mld EUR.²⁶⁰

FST będzie finansował trzy główne kategorie działań: ożywienie gospodarcze, wsparcie społeczne i renaturalizację terenu. W ramach ożywienia gospodarczego FST ma wspierać projekty, które mogą dotyczyć zastosowania wodoru. Chodzi o inwestycje:

- w działania badawcze i innowacyjne oraz wspieranie transferu zaawansowanych technologii,
- we wdrażanie infrastruktury i technologii zapewniających przystępną cenowo czystą energię,
- w redukcję emisji gazów cieplarnianych, efektywność energetyczną i energię ze źródeł odnawialnych.

Polska stara się o uwzględnienie dofinansowania inwestycji pomostowych w modernizację infrastruktury gazowej z FST, aby dostosować ją do transportu miks gazu i wodoru, a w przyszłości samego wodoru²⁶¹.

8.6. NFOŚiGW i zakup autobusów na wodór w latach 2021-2025

W latach 2021-2025 na zakup autobusów wodorowych za pośrednictwem Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) ma zostać przeznaczony ponad 1 mld PLN z łącznej kwoty 1,3 mld PLN na autobusy zeroemisyjne. Dofinansowanie na poziomie 90 proc. przez cały okres trwania programu ma wystarczyć na zakup 300-350 autobusów.

Przy średniej cenie takiego pojazdu na poziomie 3 mln PLN koszt spadnie do 300 tys. PLN, czyli mniej niż analogicznego autobusu z silnikiem Diesla. Dla porównania dofinansowanie na pojazdy bateryjne ma wynieść początkowo 80 proc., a w 2025 roku tylko 60 proc. Konkurs wniosków na autobusy wodorowe został ogłoszony 3 listopada 2020 roku²⁶².

8.7. NCBiR

Kolejnym źródłem pozyskania środków na finansowanie technologii wodorowych jest Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR). W kończącej się właśnie perspektywie finansowej budżetu UE środki pochodziły z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w części *Innowacyjne metody zarządzania badaniami* Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020. W 2018 roku NCBiR współfinansowało program dotyczący magazynowania wodoru, którego celem było opracowanie mobilnego zbiornika na to paliwo do wykorzystania z ogniwami paliwowymi.

²⁶⁰ [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/651444/IPOL_STU\(2020\)651444_PL.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/651444/IPOL_STU(2020)651444_PL.pdf) (dostęp 26.10.2020).

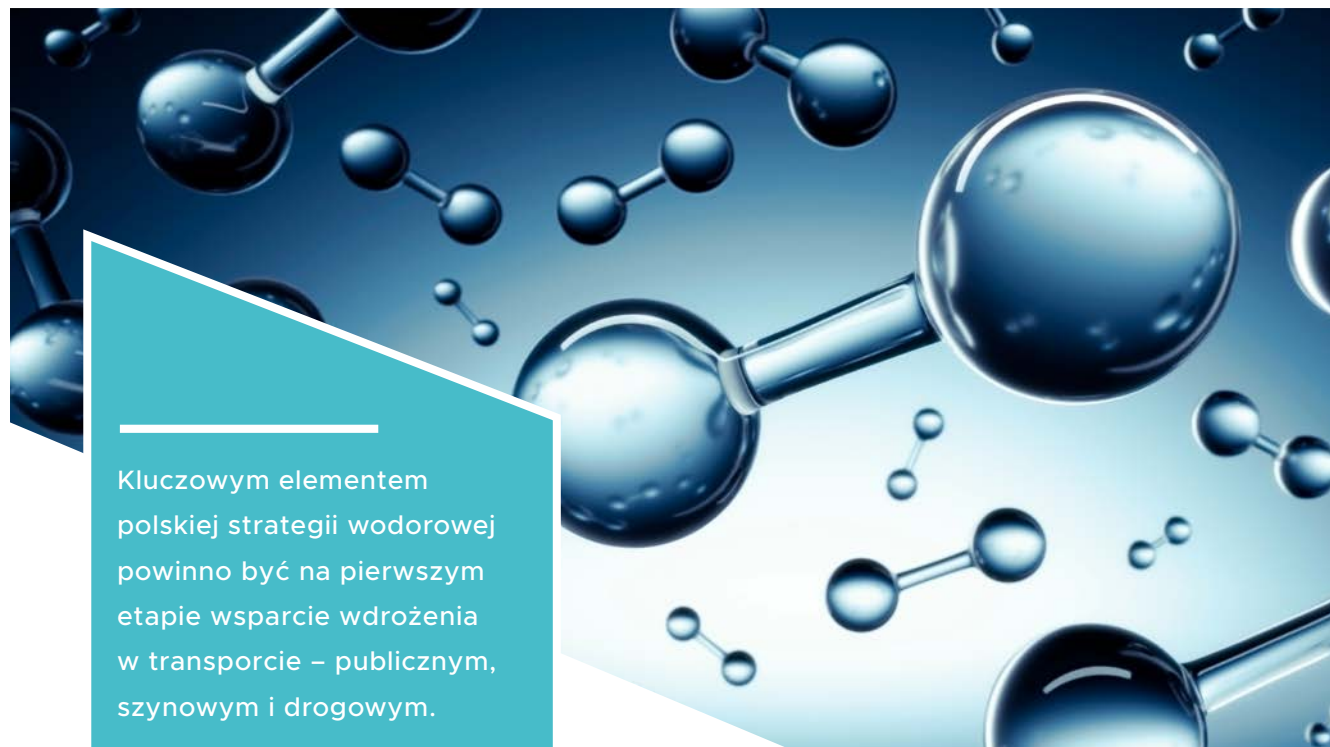
²⁶¹ <https://biznesalert.pl/polska-wsparcie-ue-gazociagi-wodor-energetyka-gaz-klimat/> (dostęp 26.10.2020).

²⁶² <https://www.cire.pl/item.158225.1.0.0.0.0.0.magazynowanie-wodoru-z-szansa-na-dofinansowanie-z-ncbir.html> (dostęp 26.10.2020).



PODSUMOWANIE I REKOMENDACJE

9. Podsumowanie i rekomendacje



Jednym z największych wyzwań stojących przed Polską jest osiągnięcie neutralności klimatycznej przy jednoczesnym utrzymaniu rozwoju i konkurencyjności gospodarki. Nieodzwonne do osiągnięcia tego celu będzie opracowanie i skuteczne wdrożenie strategii rozwoju rynku wodoru. Polska znajduje się dopiero na samym początku tej drogi, w lipcu 2020 roku rząd poinformował o rozpoczęciu prac nad strategią wodorową²⁶³.

Wśród głównych celów powstającej strategii wymienia się:

- stworzenie łańcucha wartości dla niskoemisyjnych technologii wodorowych;
- wzmocnienie roli wodoru w budowaniu polskiego bezpieczeństwa energetycznego;
- wdrożenie wodoru jako paliwa transportowego;
- przygotowanie nowych regulacji dla rynku wodoru.

Należy zaznaczyć, że wyżej wymienione cele są zgodne ze strategią zaproponowaną przez Komisję Europejską. Kraje wysokorozwinięte już teraz realizują ambitne programy transformacji energetycznej, w których wodór ma być jednym z głównych źródeł energii. Niemcy, dzięki zaangażowaniu w rozwój rynku wodoru, chcą uzyskać pozycję jednego z głównych dostawców technologii w tym zakresie. W przypadku Polski inwestycja w wodór pozwoli również na zmniejszenie uzależnienia od importu ropy naftowej i gazu ziemnego, zwłaszcza z Rosji. Jej zastąpienie w 100 proc. paliwami alternatywnymi jest możliwe, ale będzie kosztowne i wymaga podjęcia działań o charakterze długoterminowym. W związku z tym w obszarze strategii narodowej i jej wdrożenia należy rozważyć następujące kroki:

²⁶³ Podpisanie listu intencyjnego o ustanowieniu partnerstwa na rzecz budowy gospodarki wodorowej www.gov.pl/web/klimat/podpisanie-listu-intencyjnego-o-ustanowieniu-partnerstwa-na-rzecz-budowy-gospodarki-wodorowej (dostęp 29.09.2020).

- Zarządzanie projektem, ewaluacja i ewentualne modyfikacje strategii powinny podlegać szerokiemu konsensowi politycznemu. Model niemiecki, w którym Narodowa Rada Wodorowa pełni rolę apolitycznego doradcy bez względu na aktualną obsadę ministerstw, pokazuje jeden z możliwych sposobów rozwiązania tej kwestii.
- Przy transformacji wodorowej najważniejsze jest uzyskanie efektywności ekonomicznej. To z kolei będzie możliwe m.in. dzięki standaryzacji i globalizacji technologii wodorowej w wyniku współpracy międzynarodowej oraz budowie nowych łańcuchów dostaw na poziomie narodowym, europejskim oraz globalnym.
- Jak najwcześniejszy udział w projektach międzynarodowych, w tym europejskich i wykorzystanie krajowego potencjału w ramach całego łańcucha dostaw wodoru.
- Konieczne jest również pobudzenie popytu wobec wysokich obecnie kosztów wdrożenia technologii wodorowej, w formie dopłat i zwolnień z podatku.
- Opracowanie i komercjalizacja własnych technologii i wdrożeń, w których polska gospodarka narodowa ma potencjał, np. pojazd szynowy zasilany wodorem (Pesa Bydgoszcz, Newag) oraz autobus (Autosan, Solaris), jak również inwestycje w zakłady produkujące komponenty i urządzenia potrzebne do przeprowadzenia transformacji energetycznej w tym zakresie, w tym elektrolizery i ogniwa paliwowe.

Kluczowym elementem strategii powinno być włączenie transportu – publicznego, szynowego i drogowego jako pierwszego etapu do upowszechnienia technologii wodorowych. W tym obszarze szczególne szanse należy wiązać z pociągami regionalnymi poruszającymi się po trasach niezelektryfikowanych, lokomotywami manewrowymi obsługującymi duże stacje z dostępem do wodoru odpadowego oraz autobusami zeroemisyjnymi.

Rozwój tego sektora nie będzie jednak możliwy bez wsparcia w postaci dofinansowania projektów badawczo-rozwojowych, zakupu pojazdów, budowy infrastruktury oraz dotacji do paliwa. Nie można zapomnieć o zachętach dla użytkowników indywidualnych (na wielu rynkach Europy Zachodniej dostępne są już samochody zasilane ogniwami paliwowymi) oraz flot samochodów ciężarowych.

Obecna rola wodoru jako surowca w zakładach przemysłowych zostanie utrzymana, a do wykorzystania wodoru powinno włączyć się nowe gałęzie przemysłu. Motorem zmian będzie w tym przypadku polityka dekarbonizacyjna, wzrost opłat za emisje CO₂, a z drugiej strony wszechstronność i wysoka użyteczność zastosowań wodoru. Rozwój produkcji zielonego wodoru wymaga dużej ilości taniej energii dostarczanej z OZE.

W przypadku Polski efekt skali i opłacalność mogą zostać osiągnięte przy znacznym zwiększeniu mocy w farmach słonecznych i wiatrowych, zwłaszcza na morzu. W tym kontekście należy utrzymać i rozszerzyć m.in. programy pomocowe w zakresie wsparcia dla OZE z funduszy unijnych, co pośrednio wpłynie również na rozwój rynku wodoru.

Wykorzystanie wodoru jako nośnika energii powinno wzrosnąć wraz z upowszechnieniem energetyki wiatrowej i fotowoltaiki, a jego podstawową rolą może być bilansowanie systemu energetycznego. Rozwój odnawialnych źródeł energii w systemie energetycznym wymusza na nim dużą elastyczność w dopasowywaniu się do pracy źródeł uzależnionych od warunków atmosferycznych i nadwyżki tej mocy można wykorzystać do produkcji wodoru w procesie elektrolizy.



WODÓR W PYTANIACH I ODPOWIEDZIACH

10. Wodór w pytaniach i odpowiedziach

Czy Polska może skorzystać na zastosowaniu wodoru?

Wdrożenie i upowszechnienie technologii wodorowych może ułatwić Polsce osiągnięcie neutralności klimatycznej. W polskim przemyśle wodór jest stosowany od dawna, dlatego nasz kraj może wziąć aktywny udział w rozwoju jego zastosowań. Mamy również potencjał, aby opracować nowe rozwiązania technologiczne i wdrażać wodór szeroko w transporcie oraz energetyce.

Dodatkowym atutem jest fakt, że w Polsce produkuje się ok. 1 mln ton wodoru rocznie, co stanowi ok. 14 proc. całości wodoru produkowanego w Europie. Dzięki temu, że wykorzystanie wodoru w transporcie w wielu krajach dopiero raczkuje, polscy naukowcy i firmy mają szansę, aby zaangażować się w te technologie na wczesnym etapie rozwoju.

Czy produkcja wodoru jest przyjazna środowisku?

Tak, pod warunkiem spełnienia kilku warunków. Istnieje kilka metod produkcji wodoru, w tym tzw. zielonego rodzaju tego paliwa. Zgodnie z założeniami przyjętymi przez Unię Europejską, docelowo wspierana będzie tylko produkcja wodoru zeroemisyjnego i neutralnego dla środowiska. Jest on produkowany głównie w procesie elektrolizy, do którego wykorzystuje się odnawialne źródła energii (OZE) – m.in. z elektrowni wiatrowych, wodnych czy paneli fotowoltaicznych. Wodór pozyskiwany z OZE charakteryzuje się zerowym wpływem na środowisko. W okresie przejściowym dopuszcza się stosowanie niskoemisyjnego wodoru, tzw. niebieskiego, który jest produkowany z wykorzystaniem technologii wychwytywania CO₂.

Czy wodór jest bezpieczny?

Wodór jest porównywalny, jeśli chodzi o bezpieczeństwo użytkowania, z innymi gazami, z którymi mamy styczność na co dzień – propanem, butanem, gazem ziemnym czy oparami benzyny. Różnica polega w dużej mierze na tym, że stosowane do jego przechowywania i transportu urządzenia muszą być bardzo szczelne, ponieważ cząsteczki wodoru są mniejsze niż cząsteczki propanu, czy butanu. Temperatura samozapłonu wodoru wynosi jednak aż 585 °C, ponadto gaz ten rozprasza się kilka razy szybciej niż inne paliwa, dlatego zagrożenie wybuchem jest stosunkowo niewielkie.

Przy użytkowaniu wodoru konieczne jest zachowanie bezpieczeństwa, podobnie jak w przypadku innych gazów palnych. Przede wszystkim należy zapobiegać kontaktowi ze źródłami ognia, a jeśli jest wykorzystywany w pomieszczeniach lub przestrzeniach zamkniętych – stosować specjalne detektory.

Czy transport wodoru jest bezpieczny?

Przewożenie wodoru nie wymaga rozwoju nowych technologii. Już teraz wodór jest transportowany, głównie na potrzeby przemysłu. Podobnie jak do przewozu innych gazów łatwopalnych – CNG/LNG lub paliw tradycyjnych – wykorzystuje się do tego odpowiednio zabezpieczone cysterny. Ponadto, po odpowiedniej modernizacji gazociągów, wodór może być przesyłany jako domieszka do gazu ziemnego.

Należy zaznaczyć, że wodór rozprzasa się w powietrzu 3-4 razy szybciej niż inne gazy łatwopalne, przez co ryzyko wybuchu jest niższe niż np. oparów benzyny. W testach spalania ułatwiającego się wodoru zaobserwowano, że spala się on w wystarczającej odległości od zbiornika, aby zapobiec jego zniszczeniu i kumulacji ciśnienia prowadzącej do wybuchu.

Czy korzystanie z samochodu napędzanego wodorem jest bezpieczne?

Podobnie jak w przypadku pojazdów tankowanych gazem LPG, pojazdy zasilane ogniwami wodorowymi są odpowiednio zabezpieczone przed rozszczelnieniem zbiornika i niekontrolowanym zapłonem. Wodór, jako gaz 14 razy lżejszy od powietrza, w przypadku rozszczelnienia ulatnia się szybko, do góry, co zmniejsza ryzyko przypadkowego zapłonu, w przeciwieństwie np. do oparów benzyny, które są cięższe od powietrza i gromadzą się blisko powierzchni gruntu.

Dodatkowo pojazdy wodorowe są wyposażone w czujniki monitorujące ciśnienie w baku i reagujące w przypadku rozszczelnienia. Zbiorniki, do których tankuje się wodór, zostały zaprojektowane i są testowane, podobnie jak zbiorniki do gazu LPG. W przypadku ewentualnego pęknięcia membrany w ogniwie paliwowym system automatycznie odłącza przewody zasilające, przez co ciśnienie zagrażające strukturze ogniwa nie wzrasta i nie powoduje wybuchu.

Jako ciekawostkę można podać, że zbiorniki były testowane na zachowanie podczas przebicia przez ostrą amunicję. We wszystkich przypadkach wodór ulatniał się szybciej niż było możliwe zbudowanie ciśnienia, które rozerwałoby zbiornik. Podczas testów porównawczych skutków zapłonu strumienia wodoru oraz tradycyjnego paliwa udowodniono, że wodór powoduje wielokrotnie mniejsze zniszczenia, ponieważ płomień przy jego spalaniu pojawia się powyżej wylotu gazu²⁶⁴.

Czy magazynowanie i tankowanie wodoru na stacjach jest bezpieczne?

Wszystkie stacje wyposażone w instalację do tankowania wodoru są odpowiednio zabezpieczone przed niekontrolowanym wyciekiem gazu i posiadają systemy wentylacji. Wodór, jako gaz lżejszy od powietrza, unosi się do góry, a nie gromadzi przy powierzchni gruntu. Ponadto gaz ten rozprzasa się kilka razy szybciej niż inne paliwa, dlatego zagrożenie wybuchem jest stosunkowo niewielkie.

264 M. Swain, University of Miami, *Fuel Leak Simulation*, 2001. <https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/30535be.pdf> (dostęp 15.10.2020).

Raport powstał w ramach projektu Wodór2030.pl

Opracowanie merytoryczne:

Zespół Doradców Gospodarczych TOR

Współpraca merytoryczna:

dr inż. Tadeusz Syryjczyk

Koordinacja i redakcja

Zespół Komunikator:

Michał Kudła

Tomasz Dominiak

Jakub Kompa

Projekt graficzny i skład:

Patrycja Milyk

Łukasz Kołtacki



