

Zofia Papierowska

I rok Zarządzanie

Wydział Zarządzania i Nauk o Jakości, Uniwersytet Morski w Gdyni

Yevhen Mykhno

III rok Innowacyjna Gospodarka

Wydział Zarządzania i Nauk o Jakości, Uniwersytet Morski w Gdyni

BARIERY WPROWADZENIA PALIWA WODOROWEGO DO POWSZECHNEGO UŻYCIA ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM PERSPEKTYWY POLSKI

Wprowadzenie

W ostatnich latach, coraz większym problemem staje się globalne ocieplenie, które jest spowodowane przez wzrost poziomu dwutlenku węgla w atmosferze. W 2019 roku Europejska Agencja Środowiska wskazała, że około 25% całkowitej emisji dwutlenku węgla w Unii Europejskiej pochodzi z sektora transportu. Sam transport drogowy jest odpowiedzialny za 17,9% całkowitej emisji CO₂ w UE. To oznacza, że w samym sektorze transportu za największą emisję CO₂ jest odpowiedzialny transport drogowy – aż 71,7% całkowitej emisji sektora¹.

Dane te wskazują, że istnieje konieczność wprowadzenia ekologicznych rozwiązań w sektorze transportu przy szczególnym uwzględnieniu transportu drogowego. Najczęściej proponowanym rozwiązaniem jest alternatywa dla obecnie stosowanych paliw, tak by były neutralne węglowo, tj. zeroemisyjne. Słownik języka polskiego wyjaśnia hasło „zeroemisyjny”, jako „wykorzystujący źródła odnawialnych energii”². Takim przykładem zeroemisyjnego paliwa jest paliwo wodorowe.

Niniejszy artykuł ma charakter przeglądowy. Jego celem jest ukazanie barier i dokonanie oceny wprowadzania wodoru jako paliwa samochodowego przy szczególnym uwzględnieniu perspektywy Polski.

¹ S. Gumuła, M. Piaskowska, *Emisja dwutlenku węgla a zagrożenie efektem cieplarnianym*, „Polityka Energetyczna”, 2009, t. 12, z. 2/2, s. 185–186; *Parlament Europejski*, <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20190313STO31218/emisje-co2-z-samochodow-fakty-i-liczby-infografiki> (dostęp: 26.02.2023).

² *Słownik języka polskiego*, <https://sjp.pl/zeroemisyjny> (dostęp: 26.02.2023).

1. Paliwo wodorowe – alternatywa dla tradycyjnych paliw?

Najczęściej podawaną alternatywą dla paliw tradycyjnie stosowanych jest paliwo wodorowe, poza oczywistymi silnikami elektrycznymi. Dzieje się tak ze względu na to, że efektem spalania wodoru jest czysta woda, co czyni go idealnym przykładem zeroemisyjnego paliwa alternatywnego. W 2004 roku Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki zamieścił informację, że wodór jest najczystszy nośnikiem energii wśród znanych człowiekowi paliw. Już wtedy był on jednym z najbardziej promowanych paliw przyszłości i takie miano wciąż nosi po upływie prawie 20 lat³.

Pomimo bycia najczystszy nośnikiem energii, wprowadzenie paliwa wodorowego do powszechnego użytku wiąże się z istotnymi barierami. Głównie dotyczą one przede wszystkim produkcji oraz wiążących się z nią kosztów. Poniżej zostały opisane wybrane właściwości fizykochemiczne wodoru w kontekście jego transportowania, proces produkcji i związaną z tym analizę kosztów oraz przedstawienie samochodów zasilanych paliwem wodorowym.

1.1. Wybrane właściwości fizykochemiczne w kontekście transportu

Właściwości fizykochemiczne wodoru sprawiają, że dystrybucja paliwa wodorowego jest bardziej skomplikowana niż w przypadku tradycyjnych paliw. Wodór jest znacznie bardziej wybuchowy niż gaz ziemny, a w dodatku jest ekstremalnie łatwopalny. Każda ewentualna kolizja na drodze z udziałem samochodu transportującego wodór niesie za sobą ryzyko ogromnej eksplozji. W dodatku, pierwiastek ulega zapłonowi przy stężeniu 4-75% w powietrzu, wymagając przy tym stosunkowo niewielkiej energii; a sam płomień jest praktycznie niewidoczny⁴.

Te właściwości wodoru wiążą się z tym, że każda nieszczelność zbiornika, stanowi realne zagrożenie w postaci zapłonu, a nawet wybuchu. Prawdopodobieństwo wystąpienia nieszczelności zbiornika jest wysokie ze względu na wielkość cząsteczek wodoru, a także podatność na zachodzącą reakcję między wodorem a metalami, w wyniku których zbiorniki są bardziej podatne na m.in. korozję. Transport wodoru jest wyjątkowo skomplikowany oraz kosztowny,

³ M. Guzenda, *Niekonwencjonalne źródła energii*, „Biuletyn URE” 2004, nr 2, s. 3–4; R. Tarkowski, *Wodór jako paliwo przyszłości. Wyzwania dla polskiej geologii*, „Przegląd Geologiczny” 2021, vol. 69, nr 4, s. 210; *Klaster Wodorowy*, <https://klasterwodorowy.pl/co-to-jest-hydrogen,18,pl> (dostęp: 03.03.2023).

⁴ S.K. Dash, S. Chakraborty, M. Roccotelli, U.K. Sahu, *HydrogenFuel for FutureMobility: Challenges and FutureAspects*, „Sustainability” 2022, nr 14(14), s. 1–4; A. Marzec, *Problemy wodorowego paliwa*, „Polityka Energetyczna” 2007, t. 10, z. 1, s. 90–94; *Euronews*, <https://www.euronews.com/green/2022/12/29/green-hydrogen-fuel-of-the-future-has-big-potential-but-a-worrying-blind-spot-scientists-w> (dostęp: 23.02.2023); *RP Logistyka*, <https://logistyka.rp.pl/elektromobilnosc/art37689851-czy-wodor-będzie-paliwem-przyszłości> (dostęp: 23.02.2023).

dlatego z punktu widzenia przedsiębiorstw bardziej opłacalna jest samodzielna produkcja paliwa wodorowego na własne potrzeby⁵.

1.2. Produkcja paliwa wodorowego

W przypadku produkcji paliwa wodorowego, pierwszy problem odnosi się do tego, że wodór elementarny - to znaczy z ładunkiem elektrycznym – rzadko występuje samodzielnie w przyrodzie i nie jest w stanie zaspokoić więcej niż mały ułamek zapotrzebowania na niego. To z kolei wiąże się z koniecznością izolowania wodoru z innych substancji, takich jak: woda, ropa naftowa, węgiel oraz metan⁶.

W celu rozróżnienia sposobów pozyskiwania wodoru, używa się przymiotników określających kolory w połączeniu z nazwą pierwiastka. Najczęściej podaje się, że jest ich łącznie pięć, jednak można spotkać się z wyróżnieniem dziewięciu kolorów wodoru⁷.

Najbardziej ekologiczny sposób pozyskiwania wodoru powstaje w wyniku procesu elektrolizy wody, a paliwo powstałe w ten sposób nazywa się wodorem zielonym. Elektroliza jest to proces, który za pomocą prądu elektrycznego dzieli wodę na wodór oraz tlen. W tej technologii wykorzystuje się energię ze źródeł odnawialnych, takich jak elektrownie wiatrowe czy panele fotowoltaiczne. Na dzień dzisiejszy, jest to jedyna technologia do produkcji paliwa wodorowego, która jest prawdziwie zeroemisyjna⁸.

Istnieją dwie niskoemisyjne metody pozyskiwania wodoru. Jedna z nich polega na wydobywaniu pierwiastka z procesu pirolizy i jest ona nazywana wodorem turkusowym. Piroliza jest to proces, który polega na rozkładzie związków chemicznych pod wpływem wysokiej temperatury. Ten sposób pozwala na pozyskanie wodoru oraz węgla w postaci stałej, poddając gaz ziemny wpływowi odpowiedniej temperatury, koniecznej do zajścia reakcji. Gdyby ten proces wykorzystywał energię ze źródeł odnawialnych, mógłby stać się technologią zeroemisyjną⁹.

⁵ M. Graff, *Wodór jako paliwo – zalety i wady*, TTS Technika Transportu Szynowego, Instytut Naukowo-Wydawniczy „TTS” Sp. z o.o, 2020, s. 18; *Auto Świat*, <https://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/aktualnosc/wodor-paliwo-przyszlosci-bez-przyszlosci/nt6jx7h> (dostęp: 26.02.2023).

⁶ *National Institute of Standards and Technology*, <https://www.nist.gov/si-redefinition/meet-constants> (dostęp: 23.02.2023); *First Mode*, <https://firstmode.com/resources/challenges-and-solutions-for-building-a-hydrogen-economy/> (dostęp: 23.02.2023).

⁷ *Powermeetings.eu*, <https://powermeetings.eu/kolory-wodoru-znaczenie-zastosowanie-potencjal/> (dostęp: 23.02.2023); M. Graff, *Wodór jako paliwo...*, s. 18.

⁸ A. Godula-Jopek, *Hydrogen Production by Electrolysis*, WileyVCH Verlag GmbH & Co. KGaA. DOI: 10.1002/9783527676507, 2015, s. 168; *Powermeetings.eu*, <https://powermeetings.eu/kolory-wodoru-znaczenie-zastosowanie-potencjal/> (dostęp: 23.02.2023); M. Graff, *Wodór jako paliwo...*, s. 18.

⁹ *Encyklopedia PWN*, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/piroliza;3957622.html> (dostęp: 08.03.2023); *Powermeetings.eu*, <https://powermeetings.eu/kolory-wodoru-znaczenie-zastosowanie-potencjal/> (dostęp: 23.02.2023); M. Graff, *Wodór jako paliwo...*, s. 18.

Druga niskoemisyjna technologia nazywana jest wodorem fioletowym. Podobnie, jak w przypadku wodoru zielonego, polega ona na poddaniu wody procesowi elektrolizy, jednak przy wykorzystaniu energii z elektrowni jądrowych oraz atomowych¹⁰. Dwa najczęściej stosowane, a zarazem najbardziej ekonomiczne sposoby uzyskania wodoru polegają na wyizolowaniu pierwiastka z metanu oraz z węgla brunatnego. Niektóre źródła podają, że izolacja wodoru z metanu to wodór szary, a inne określają to mianem wodoru niebieskiego¹¹.

Z kolei wodór wydobywany z węgla brunatnego to wodór brązowy. Szacuje się, że oba te sposoby wydobywania wodoru stanowią blisko 95% całego przemysłu produkcji paliw wodorowych. Należy podkreślić, że jednocześnie obie te technologie produkcyjne odznaczają się bardzo wysoką emisją dwutlenku węgla, która sprawia, że cały przemysł produkcji wodoru emituje więcej dwutlenku węgla niż Wielka Brytania i Francja łącznie¹².

1.3. Koszty produkcji paliwa wodorowego

B. Filar, M. Miziołek i T. Kwilosz podjęli się analizy i oceny kosztów produkcji wodoru zielonego w Polsce z wykorzystaniem instalacji fotowoltaicznej. Do takiej produkcji wodoru niezbędne jest użycie elektrolizerów. Na potrzeby analizy autorzy podjęli się oceny kosztów przy wykorzystaniu elektrolizera PEM, który posiada polimerową membranę. Membrana jest to przegroda, która ma na celu zatrzymanie części substancji przy przepuszczaniu innych; jest podobna do filtra, ale jednocześnie jest od niego znacznie dokładniejsza. Z kolei polimery są to makrocząsteczki, które zostały utworzone przez wiązanie chemiczne innych, mniejszych cząsteczek. Wybór takiej technologii do produkcji wodoru zielonego został uzasadniony tym, że czas rozruchu maszyny jest krótki oraz istnieje możliwość pracy przy niskim obciążeniu¹³.

Analiza łącznych nakładów inwestycyjnych oraz kosztów operacyjnych produkcji wodoru zielonego przy założeniu, że sama budowa instalacji zakończy się w rok oraz jej eksploatacja będzie trwała 20 lat, pokazała, że najniższy koszt produkcji wodoru generuje instalacja fotowoltaiczna o mocy 9 MW. Koszt budowy

¹⁰ *Ibidem*.

¹¹ *Ibidem*.

¹² *Powermeetings.eu*, <https://powermeetings.eu/kolory-wodoru-znaczenie-zastosowanie-potencjal/> (dostęp: 23.02.2023); *The Conversation*, <https://theconversation.com/green-hydrogen-why-low-carbon-fuels-are-not-benefiting-from-high-fossil-fuel-prices-195774> (dostęp: 23.02.2023); *Euronews*, <https://www.euronews.com/green/2022/12/29/green-hydrogen-fuel-of-the-future-has-big-potential-but-a-worrying-blind-spot-scientists-w> (dostęp: 23.02.2023).

¹³ *PolymemTech*, <http://www.polymemtech.pl/25,technology.html> (dostęp: 08.03.2023); *Encyclopedia of Toxicology*, Third Edition, ISBN: 978-0-12-386454-3, 2014; B. Filar, M. Miziołek, T. Kwilosz, *Ocena kosztów produkcji wodoru z wykorzystaniem energii pochodzącej z instalacji fotowoltaicznej wybudowanej w Polsce*, Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, „Nafta-Gaz” 2022, nr 6, s. 452–458.

tej instalacji to około 39,54 mln zł, a koszty operacyjne to w przybliżeniu 1,3 mln zł rocznie. Koszt produkcji 1 kg wodoru zielonego to 8,6 USD w tej instalacji. Dla porównania, koszt produkcji tej samej ilości wodoru szarego wyniósł średnio 5,74 USD w październiku 2021 roku. W artykule autorzy podsumowali, że przy całkowitym wykluczeniu aspektu ekologicznego, budowa instalacji fotowoltaicznej do produkcji wodoru zielonego jest nieopłacalna¹⁴. W celu ukazania nieopłacalności paliwa wodorowego pod względem ekonomicznym, uwzględniono średnie detaliczne ceny najczęściej stosowanych paliw w Polsce. Zostały przeliczone na dolary amerykańskie przy kursie z dnia 9 marca 2023 roku, gdzie 1 USD = 4,4356 PLN¹⁵. Ceny zostały podane w jednostce USD na litr.

Tabela 1. Średnie detaliczne ceny najczęściej stosowanych paliw w Polsce

Olej napędowy	1,58 USD
Benzyna bezołowiowa Eurosuper 95	1,50 USD
Benzyna Eurosuper 98	1,61 USD
Gaz LPG	0,70 USD

Źródło: *Wirtualny Nowy Przemysł*, https://www.wnp.pl/nafta/ceny_paliw/ (dostęp: 10.03.2023).

Warto zaznaczyć, iż są to ceny ostateczne dla konsumenta indywidualnego, które uwzględniają podatki. Jak można zauważyć, sam koszt produkcji wodoru zielonego znacznie przewyższa końcowe ceny innych popularnych paliw w Polsce.

1.4. Samochody zasilane paliwem wodorowym

W niszy samochodów z silnikami wykorzystującymi paliwo wodorowe największe sukcesy osiągają japońskie przedsiębiorstwa *Toyota* i *Honda* oraz południowokoreański *Hyundai*. Obecnie na rynku samochodów osobowych, które mają zasilanie wodorowe, jest model *Toyota Mirai*. Ciekawe jest to, że słowo *Mirai* (z jap. 未来) oznacza m. in. przyszłość, więc można nazwać ten model samochodem przyszłości¹⁶. W 2017 roku odnotowano sprzedaż od 3000 do 5200 egzemplarzy tego samochodu. Warto jednak podkreślić, że na dzień 9 marca 2023 cena tego samochodu oscyluje wokół sumy 319,9 tys. PLN na polskim rynku. Jest on prawie trzykrotnie droższy od klasycznych sedanów tej marki¹⁷.

¹⁴ *Ibidem*.

¹⁵ Narodowy Bank Polski, <https://nbp.pl/archiwum-kursow/tabela-nr-048-a-nbp-2023-z-dnia-2023-03-09/> (dostęp: 10.03.2023).

¹⁶ *Japoński Pomocnik*, <https://www.japonski-pomocnik.pl/wordDictionaryDetails2/%E6%9C%AA%6%9D%A5/%E3%81%BF%E3%82%89%E3%81%84/1> (dostęp: 13.03.2023).

¹⁷ *Menadżer Floty*, <https://menadzerfloty.pl/eko-flota/samochody-wodorowe-przyszloscia-motoryzacji/> (dostęp: 10.03.2023); *Toyota*, <https://www.toyota.pl/nowe-samochody/mirai> (dostęp: 10.03.2023); *Toyota*, <https://www.toyota.pl/nowe-samochody/corolla-sedan> (dostęp: 10.03.2023).

Firma *Hyundai* od 2013 roku sprzedaje model zasilany wodorem *ix35 Fuel Cell*, jest on jednakże niedostępny na polskim rynku. Kosztuje on ok. 183 tys. USD, czyli w przeliczeniu na polską walutę ok. 800 tys. PLN. Należy jednak pamiętać, że model wymaga zaimportowania do Polski, co wiąże się z dodatkowymi kosztami¹⁸.

Zaletą samochodów zasilanych wodorem jest ich zwiększony zasięg, czyli odległość, którą mogą przejechać „na jednym tankowaniu”. Przykładowo powyżej opisana *Toyota Mirai* ma zasięg od 550 km do 700 km, co jest nieosiągalnym zasięgiem dla samochodów elektrycznych, jak np. *Tesla Model 3*, której zasięg szacuje się na 491km¹⁹. Kolejną, bardzo istotną zaletą, odróżniającą samochody zasilane paliwem wodorowym od innych ekologicznych opcji, jest szybszy czas tankowania – trwa on średnio do pięciu minut²⁰.

Ceny samochodów zasilanych wodorem wciąż są znacznie wyższe od cen odpowiedników zasilanych benzyną lub dieslem. Jest to spowodowane specjalną budową całego pojazdu, a w szczególności silnika, która ma na celu niwelowanie niebezpieczeństw związanych z używaniem paliwa wodorowego. W związku z tym, że paliwo wodorowe w mobilnych zbiornikach ciśnieniowych jest sprężane do ciśnienia 30-35 MPa, rośnie ryzyko rozszczelnienia konstrukcji, co może skutkować wybuchem. Dlatego też wlew i zbiornik paliwa są wykonane z materiałów konstrukcyjnych, które cechują się szczególnie wysoką szczelnością, wytrzymałością mechaniczną, a także niską masą. Przykładem materiałów dla zbiorników paliwa wodorowego jest aluminium oraz materiały kompozytowe, które są wykonane z żywic epoksydowych, wzmocnionych dodatkowo włóknami węglowymi²¹.

2. Bariery wprowadzania paliwa wodorowego w Polsce

W celu ochrony środowiska, zgodnie z *Polską Strategią Wodorową do 2030 roku* Polska planuje przejść na zeroemisyjny rodzaj paliwa, jakim jest paliwo wodorowe. Taka decyzja wiąże się z tym, że pojawiły się bariery, które są związane z brakiem infrastruktury wodorowej w kraju, produkcją wodoru zielonego oraz brakiem regulacji prawnych dotyczących paliwa wodorowego.

¹⁸ *Motofakty*, <https://motofakty.pl/hyundai-ix35-fuel-cell-pierwszy-seryjny-samochod-na-wodor-film/ar/c4-16231499> (dostęp: 10.03.2023); *MoneyExchangeRate*, <https://pl.moneyexchangerate.org/currencyexchange/usd/pln/> (dostęp: 10.03.2023).

¹⁹ *Menadżer Floty*, <https://menadzerfloty.pl/eko-flota/samochody-wodorowe-przyszloscia-motoryzacji/> (dostęp: 10.03.2023); *CUK*, <https://cuk.pl/porady/tesla-3> (dostęp: 10.03.2023).

²⁰ *Toyota*, <https://www.toyota.pl/porady/silnik-wodorowy-fakty-mity> (dostęp: 10.03.2023).

²¹ A. Folentarska, D. Kulawik, W. Ciesielski, V. Pavlyuk, *Nowoczesne materiały do przechowywania wodoru jako paliwa przyszłości*, „Chemistry Environment Biotechnology” 2016, s.127; Grzelakowski, A.S., Herdzik, J., Skiba, S. *Maritime Shipping Decarbonization: Roadmap to Meet Zero-Emission Target in Shipping as a Link in the Global Supply Chains*, „Energies” 2022, 15, 6150, s. 2–12.

2.1. Infrastruktura wodorowa w Polsce

Jednym z głównych czynników, utrudniającym szerokie wprowadzenie paliwa wodorowego jako napędu samochodowego w Polsce, jest brak rozwiniętej infrastruktury do tankowania tego rodzaju pojazdów. Na stan 10 marca 2023 roku w Polsce jest aktywna tylko jedna ogólnodostępna stacja wodorowa *Grupy Orlen* i znajduje się ona w Krakowie. W najbliższej przyszłości w Polsce planuje się wybudowanie jeszcze 7 takich stacji.

W drugiej połowie 2023 roku do użytku publicznego powinny zostać oddane dodatkowo dwie stacje – w Poznaniu i w Katowicach. Zgodnie z przyjętą *Polską Strategią Wodorową do roku 2030* w połowie 2025 roku mają zostać oddane do użytku kolejne cztery stacje: w Bielsko-Białej, Gorzowie Wielkopolskim, Warszawie i Pile. Dodatkowo stacja umożliwiająca tankowanie paliwa wodorowego w Wałbrzychu jest na etapie projektowania inwestycji. *Grupa Orlen* planuje przeznaczyć na rozwój gałęzi wodoru niskoemisyjnego oraz zeroemisyjnego łącznie 7,4 mld PLN do 2030 roku. Docelowo ma powstać sieć tankowania wodoru dla różnych rodzajów transportu drogowego i kolejowego. Szacuje się, że w Polsce zostanie zbudowanych ok. 57 stacji. Dla porównania warto wspomnieć, że na terenie Polski na koniec stycznia 2023 roku funkcjonowało 2612 stacji ładowania samochodów elektrycznych, zaś stacji benzynowych było znacznie więcej – szacunkowa ilość stacji paliw w Polsce na dzień 31 grudnia 2022 roku była równa 7898.

2.2. Produkcja paliwa wodorowego w Polsce

Rozwój technologii produkcji paliwa wodorowego jest niezwykle ważny dla Polski ze względu na to, że Polska w połowie 2022 roku zajmowała trzecie miejsce wśród państw Unii Europejskiej pod względem produkcji wodoru, wytwarzając rocznie 1,3 mln ton tego paliwa. Jednak jest to w większości wodór szary, tj. otrzymany w wyniku izolacji wodoru z metanu.

W celu zmniejszenia emisji CO₂ planowane jest zwiększenie produkcji wodoru zielonego i w związku z tym powstanie jednostka produkcyjna na terenie elektrowni Konin w latach 2035–2040.

W trakcie wdrażania technologii produkcji wodoru zielonego, zostały ujawnione bariery wprowadzenia paliwa wodorowego do powszechnego użytku. Jedną z barier jest wysoka cena produkowania tego rodzaju paliwa, zawłaszcza porównując ją z cenami innych paliw niskoemisyjnych.

Dodatkowo, metody transportowania oraz technologie przechowywania tego gazu mają wpływ na jego wysoką cenę. Wysokie koszty są szczególnym problemem dla krajów takich jak Polska, gdzie dopiero pod koniec 2022 roku powstała pierwsza ogólnodostępna stacja paliw dla samochodów zasilanych wodorem.

2.3. Regulacje prawne dotyczące paliwa wodorowego

Inną barierą utrudniającą wprowadzenie napędu wodorowego jest to, że w Polsce na dzień 10 marca 2023 roku nie istnieją przepisy dotyczące regulacji paliwa wodorowego w transporcie. Problem polega na tym, że dotychczasowe obowiązujące ustawy nie definiują pojęcia paliwa wodorowego, a także nie określają, czy wodór może być paliwem.

To powoduje brak regulacji prawnych, które określałyby normy dla wodoru wykorzystywanego w transporcie. Również nie istnieją żadne uregulowania dotyczące budowania stacji tankujących ten rodzaj paliwa oraz jego magazynowania i transportu. *Polska Strategia Wodorowa do roku 2030* wskazuje, iż obecnie najważniejszym zadaniem Rządu RP jest stworzenie regulacji, które mają na celu usunięcie wszelkich barier rozwoju rynku paliwa wodorowego. Dlatego też planowane jest opracowanie legislacyjnego pakietu wodorowego, który polega na dokonaniu zmian w aktach prawnych.

Podsumowanie

Głównym czynnikiem, sprawiającym, że paliwo wodorowe zyskuje na popularności w ciągu ostatnich lat, jest jego przyjazność dla środowiska ze względu na to, że efektem jego spalania jest woda.

Z powodu takiego, że transport drogowy jest odpowiedzialny za blisko 18% emisji dwutlenku węgla w Unii Europejskiej, to właśnie w tym sektorze szuka się rozwiązań, by ograniczyć emisję CO₂ lub całkowicie ją wyeliminować. Takim rozwiązaniem jest zeroemisyjne paliwo alternatywne, takie jak paliwo wodorowe i z tego powodu są poszukiwane jak najbardziej opłacalne ekonomicznie technologie pozyskiwania wodoru zielonego.

Największym wyzwaniem w kwestii wprowadzania do powszechnego użycia napędu wodorowego jest właśnie kwestia ekonomiczna. Sam sposób pozyskiwania zielonego wodoru jest kosztowny i nieopłacalny dla przedsiębiorstw. Technologia związana z pozyskiwaniem zielonego wodoru sama w sobie jest kosztowna, co oznacza, że aby móc produkować wodór w sposób zeroemisyjny trzeba posiadać wysokie nakłady inwestycyjne. Kwestia ekonomiczna sprawia, że pozyskiwanie wodoru z metanu oraz węgla brunatnego stanowi prawie 95% całej produkcji przemysłu paliw wodorowych i jednocześnie oznacza się bardzo wysoką emisją dwutlenku węgla.

W kwestii barier wprowadzenia paliwa wodorowego w Polsce należy wyszczególnić to, że dla polskich konsumentów nabycie samochodu napędzanego tym paliwem jest zbyt dużym obciążeniem finansowym. Jest to spowodowane wysoką ceną nabycia samochodu, wysoką ceną paliwa, a także w zasadzie nieist-

niejąca infrastrukturą do tankowania tego rodzaju paliwa w Polsce. Posiadanie samochodu wodorowego w Polsce wiąże się z koniecznością tankowania w Krakowie lub wyjazdem w tym celu do Niemiec. Kwestia braku dostępności stacji tankowania wodoru sprawia, że takie paliwo nie jest popularne w Polsce, ale powoli będzie to ulegać zmianie. Pierwszymi krokami w tym kierunku jest wydanie *Polskiej Strategii Wodorowej do roku 2030* oraz budowanie stacji wodorowych przez Grupę Orlen.

Podsumowując, przez wzgląd na to, że globalne ocieplenie jest zagadnieniem, nad którym należy się pochylić, dąży się do dekarbonizacji transportu. Z tego powodu, pomimo poważnych barier w pozyskiwaniu wodoru w sposób zeroemisyjny, trend paliwa wodorowego w transporcie będzie nieustannie rozwijany na całym świecie.

Cel artykułu został zrealizowany poprzez przedstawienie oraz ocenę istniejących barier wprowadzania wodoru jako paliwa samochodowego przy szczególnym uwzględnieniu perspektywy Polski.

Bibliografia

- Auto Świat*, <https://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/aktualnosci/wodor-paliwo-przyszlosci-bez-przyszlosci/nt6jx7h>.
- Business Insider*, <https://businessinsider.com.pl/technologie/motoryzacja/w1-mirai-elektryczna-toyota-na-wodor-cena-samochodu-test-zdjecia-tankowanie-w-polsce/m1hrtwe> (dostęp: 10.03.2023).
- CUK, <https://cuk.pl/porady/tesla-3>.
- Dash S.K., Chakraborty S., Roccotelli M., U.K. Sahu, *Hydrogen Fuel for Future Mobility: Challenges and Future Aspects*, „Sustainability” 2022, nr 14(14).
- Encyclopedia of Toxicology, Third Edition*, ISBN: 978-0-12-386454-3, 2014.
- Encyklopedia PWN*, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/piroliza;3957622.html>.
- Euronews*, <https://www.euronews.com/green/2022/12/29/green-hydrogen-fuel-of-the-future-has-big-potential-but-a-worrying-blind-spot-scientists-w>.
- Filar B., Miziołek M., Kwilosz T., *Ocena kosztów produkcji wodoru z wykorzystaniem energii pochodzącej z instalacji fotowoltaicznej wybudowanej w Polsce*, Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, „Nafta-Gaz” 2022, nr 6.
- First Mode*, <https://firstmode.com/resources/challenges-and-solutions-for-building-a-hydrogen-economy/>.
- Folentarska A., Kulawik D., Ciesielski W., Pavlyuk V., *Nowoczesne materiały do przechowywania wodoru jako paliwa przyszłości*, „Chemistry Environment Biotechnology” 2016.
- Godula-Jopek A., *Hydrogen Production by Electrolysis*, WileyVCH Verlag GmbH & Co. KGaA. DOI: 10.1002/9783527676507, 2015.
- Graff M., *Wodór jako paliwo – zalety i wady*, TTS Technika Transportu Szynowego, Instytut Naukowo-Wydawniczy „TTS” Sp. z o.o., 2020.

- Grzelakowski, A.S., Herdzik, J., Skiba, S. *Maritime Shipping Decarbonization: Roadmap to Meet Zero-Emission Target in Shipping as a Link in the Global Supply Chains*, „Energies” 2022, 15, 6150.
- Gumuła S., Piaskowska M., *Emisja dwutlenku węgla a zagrożenie efektem cieplarnianym*, „Polityka Energetyczna” 2009, t. 12, z. 2/2.
- Guzenda M., *Niekonwencjonalne źródła energii*, „Biuletyn URE” 2004, nr 2.
- Japoński pomocnik, <https://www.japonski-pomocnik.pl/wordDictionaryDetails2/%E6%9C%AA%E6%9D%A5/%E3%81%BF%E3%82%89%E3%81%84/1>.
- Klaster Technologii Wodorowych, <https://klasterwodorowy.pl/co-to-jest-hydrogen,18,pl>.
- Marzec A., *Problemy wodorowego paliwa*, „Polityka Energetyczna” 2007, t. 10, z. 1.
- Menadżer Floty, <https://menadzerfloty.pl/eko-flota/samochody-wodorowe-przyszloscia-motoryzacji/>.
- MoneyExchangeRate, <https://pl.moneyexchangerate.org/currencyexchange/usd/pln/>.
- Motofakty, <https://motofakty.pl/hyundai-ix35-fuel-cell-pierwszy-seryjny-samochod-na-wodor-film/ar/c4-16231499>.
- Narodowy Bank Polski, <https://nbp.pl/archiwum-kursow/tabela-nr-048-a-nbp-2023-z-dnia-2023-03-09/>.
- National Institute of Standards and Technology, <https://www.nist.gov/si-redefinition/meet-constants>.
- Obserwator Gospodarczy, <https://obserwatorgospodarczy.pl/2022/06/03/produkcja-wodoru-w-polsce-ma-olbrzymi-potencjal-rozwojowy/>.
- Orlen, https://www.orn.pl/pl/o-firmie/media/komunikaty-prasowe/2022/wrzesien/ORLEN_zbuduje_stacje_tankowania_wodoru_w_kolejnych_polskich_miastach.
- Parlament Europejski, https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20190313_STO31218/emisje-co2-z-samochodow-fakty-i-liczby-infografiki.
- Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa 2021.
- PolymemTech, <https://www.polymemtech.pl/25,technology.html>.
- Powermeeting.eu, <https://powermeetings.eu/kolory-wodoru-znaczenie-zastosowanie-potencjal/>.
- RP Logistyka, <https://logistyka.rp.pl/elektromobilnosc/art37689851-czy-wodor-bedzie-palivem-przyszlosci>.
- Rynekelektryczny.pl, <https://www.rynekelektryczny.pl/infrastruktura-ladowania-pojazdow-elektrycznych/>.
- Słownik języka polskiego, <https://sjp.pl/zeroemisjny>.
- Stacje paliw na koniec grudnia 2022, Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego, 2023.
- Tarkowski R., *Wodór jako paliwo przyszłości. Wyzwania dla polskiej geologii*, „Przegląd Geologiczny” 2021, vol. 69, nr 4.
- The Conversation, <https://theconversation.com/green-hydrogen-why-low-carbon-fuels-are-not-benefiting-from-high-fossil-fuel-prices-195774>.
- Toyota, <https://www.toyota.pl/nowe-samochody/corolla-sedan>.
- Toyota, <https://www.toyota.pl/nowe-samochody/mirai>.

Toyota, <https://www.toyota.pl/porady/silnik-wodorowy-fakty-mity>.
Wirtualny Nowy Przemysł, https://www.wnp.pl/nafta/ceny_paliw/.

Streszczenie

Artykuł podejmuje problematykę wdrożenia i rozwoju paliwa wodorowego w Polsce w najbliższej przyszłości. W pierwszej części można znaleźć szczegółowy opis rodzajów paliwa wodorowego według technologii pozyskiwania, informacje o barierach w wprowadzeniu tej technologii na rynek oraz odpowiedź, dlaczego samochody napędzane wodorem wciąż nie są powszechnie stosowane. Druga część artykułu została poświęcona analizie barier wprowadzania paliwa wodorowego w Polsce. W tej części została przedstawiona problematyka wolno rozwijającej się polskiej infrastruktury wodorowej oraz brak przepisów regulujących ten rodzaj paliwa. Niniejszy artykuł ma charakter przeglądowy i jego celem jest ukazanie barier oraz ocena wprowadzania wodoru jako paliwa samochodowego ze szczególnym uwzględnieniem Polski.

Słowa kluczowe: bariery, dekarbonizacja, samochody, paliwo wodorowe, wodór

BARRIERS TO THE IMPLEMENTATION OF HYDROGEN FUEL FOR GENERAL USE WITH SPECIFIC FOCUS IN THE POLISH PERSPECTIVE

Summary

The article addresses the issue of the implementation and development of hydrogen fuel in Poland in the near future. The first part offers a detailed description of the types of hydrogen fuel by acquisition technology, information on barriers to the introduction of this technology into the market, and an answer to why hydrogen cars are still not widely used. The second part of the article is devoted to the analysis of barriers to the introduction of hydrogen fuel in Poland. This part presents the problems of the slowly developing Polish hydrogen infrastructure and the lack of regulations governing this type of fuel. This article is a review and its purpose is to present the barriers and evaluate the introduction of hydrogen as an automotive fuel with a special focus on Poland.

Keywords: barriers, cars, decarbonisation, hydrogen, hydrogen fuel