



Łukasiewicz

Instytut Organizacji i Zarządzania
w Przemśle ORGMASZ



**BEZPIECZEŃSTWO W
TECHNOLOGIACH WODOROWYCH
I - PRZEGLĄD TECHNOLOGII
WODOROWYCH**

Bezpieczeństwo w technologiach wodorowych

I

Przegląd technologii wodorowych

Warszawa, czerwiec 2023 r.

Recenzenci: prof. dr. hab. inż. Piotr Wolański, dr inż. Katarzyna Stec, dr inż. Renata Kulesza, dr hab. inż. Grzegorz Wojtasiewicz, dr inż. Antoni Migdał, dr inż. Piotr Wieczorek, Damian Wijatyk, dr inż. Kamil Kulesza

Kierownik projektu: dr Katarzyna Iwińska

Zespół projektu: dr Katarzyna Iwińska, dr inż. Kamil Kulesza, dr hab. Michał Wróblewski, Joanna Grudowska

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Nauka dla Społeczeństwa” nr projektu NdS 545480/2022/2022, kwota dofinansowania 1 410 152 zł, całkowita wartość projektu 1 410 152 zł.



Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemśle ORGMASZ
ul. Żelazna 87 00-879 Warszawa

SPIS TREŚCI

SPIS TREŚCI	2
1. Wstęp, cel opracowania	3
2. Technologie wodorowe, przegląd stanu techniki	3
2.1. Właściwości wodoru jako nośnika energii	4
2.2. Właściwości chemiczne i fizyczne wodoru	5
2.3. Charakterystyka termodynamiczna wodoru	16
2.4. Zagadnienia termodynamiczne związane z pracą elektrolizerów wody	18
2.5. Charakterystyka wodoru w ujęciu przenoszenia masy i ciepła	20
2.6. Wodór jako paliwo	21
2.7. Metody termiczne pozyskiwania wodoru	29
2.8. Metody elektrochemiczne pozyskiwania wodoru	32
3. Transport i przechowywanie wodoru	36
3.1. Zbiorniki	39
3.2. Inne sposoby magazynowania i transportu wodoru	45
3.3. Rurociągi	47
3.4. Stacje regazyfikacji	50
3.5. Konwersja energii	51
4. Technologie wodorowe w przemyśle (wykorzystanie wodoru)	52
4.1. Produkcja amoniaku metodą Habera i Boscha	52
4.2. Przemysł petrochemiczny, rafinacja ropy naftowej	53
4.3. Wodorowe ogniwa paliwowe	53
5. Technologie wodorowe w obszarze użytkowym	55
5.1. Wodór jako paliwo w transporcie intermodalnym (droga-kolej-morze)	55
5.2. Wodór jako źródło energii cieplnej	56
6. Podsumowanie	56
BIBLIOGRAFIA	57

1. WSTĘP, CEL OPRACOWANIA

Rozwój technologii wodorowych niesie za sobą niewątpliwe korzyści w postaci wspomaganie rozwoju i wykorzystania nowych, alternatywnych źródeł energii, dążących do zeroemisyjności z jednej strony, a z drugiej dający alternatywę energetyczną. Wodór jako nośnik energii może odegrać kluczową rolę w procesie bilansowania systemu energetycznego oraz dekarbonizacji sektorów gospodarki uzależnionych od paliw kopalnych.

Nie można jednak zapominać, że technologie wodorowe, będąc w fazie szybkiego rozwoju, ze względu na parametry wodoru, mogą nieść ze sobą określone ryzyka.

Kluczową rolę w adaptowaniu technologii wodorowych do wykorzystania na szeroką skalę stanowi ich akceptacja społeczna. Migracja tych technologii z zamkniętych obszarów przemysłowych do życia codziennego społeczeństwa wymaga wprowadzenia informacyjnego.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie informacji na temat wodoru oraz jego zastosowania tj.: produkcja, magazynowanie, transport oraz wykorzystanie wodoru, jako nośnika energii.

2. TECHNOLOGIE WODOROWE, PRZEGLĄD STANU TECHNIKI

Obecnie technologie wodorowe są przedmiotem licznych prac i publikacji. Pośród polskich źródeł znajdują się m.in.:

- „Polska strategia wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040”, Warszawa, październik 2021 r. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Załącznik do uchwały nr 149 Rady Ministrów z dnia 2 listopada 2021 r. (poz. 1138),
- „Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku” wykonana w ramach programu priorytetowego nr 5.1.1 „Wsparcie Ministra Klimatu w zakresie realizacji polityki klimatycznej, autor Centrum Technologii Wodorowych, Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania, Uniwersytet Warszawski, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych pod kierownictwem Jakuba Kupeckiego¹,
- „Mapa rozwoju rynku dla obszaru technologii wodorowych”, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości²,
- „Gospodarka wodorowa w Polsce, obserwacje na podstawie ram badawczych technologicznego systemu Innowacji”, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa 2020³,
- „Bezpieczne wykorzystanie wodoru jako paliwa w komercyjnych zastosowaniach przemysłowych” Polski Rejestr Statków, czerwiec 2021⁴.

W niniejszym rozdziale przedstawiono podstawowe aspekty związane z właściwościami wodoru oraz technologiami wodorowymi wprowadzające do kolejnych raportów w projekcie „Bezpieczny Wodór”

2.1. WŁAŚCIWOŚCI WODORU JAKO NOŚNIKA ENERGII

Zgodnie z zasadą zachowania energii nie można jej stworzyć ani zniszczyć, można ją jednak przekształcać, czy przekazywać pomiędzy tzw. nośnikami energii. Nośniki energii, to pośrednie źródła, z których można pozyskać energię po uprzednim jej przekształceniu w procesie wytworzenia tych źródeł. Pierwotne źródła energii, których energia przekształcana jest w pośrednie nośniki energii, to m.in. energia chemiczna paliw, jądrowa, wód, wnętrza Ziemi, powietrza oraz promieniowania słonecznego⁵.

Główny Urząd Statystyczny (GUS) definiuje energię pierwotną, jako energię zawartą w pierwotnych nośnikach energii pozyskiwanych bezpośrednio z zasobów naturalnych odnawialnych i nieodnawialnych oraz energię pierwotną odnawialną, jako energię uzyskiwaną z naturalnych, stale powtarzających się procesów przyrodniczych⁶. Stosowana metodologia prac statystycznych obejmuje obszerną listę pierwotnych nośników energii wynikającą z dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/92/WE z dnia 22 października 2008 r⁷. Obecnie notuje się coraz wyższy udział rozwiązań pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych (OZE) w pozyskiwanej energii pierwotnej ogółem, w 2019 roku wyniósł 15,96%, co oznacza przyrost w stosunku do roku 2015 o 2,71%⁸. Pozyskiwanie energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych jest bardzo istotnym czynnikiem w zeroemisyjnej gospodarce energetycznej, również w obszarze wykorzystania wodoru jako nośnika energii.

Najbardziej rozpowszechnionym wskaźnikiem efektywności energetycznej^a jest wskaźnik energochłonności PKB^b. Wskaźnik energochłonności pierwotnej, to stosunek zużycia energii pierwotnej do PKB, wskaźnik energochłonności finalnej, to stosunek zużycia energii finalnej do PKB. Średnie trendy dla tych wskaźników przedstawiono w tabeli 1⁹:

Tabela 1 Trend dla wskaźników energochłonności pierwotnej i finalnej w latach 1990-2019, opracowanie własne na podstawie⁹.

	1990-2009	2009-2019
Średnie tempo obniżenia energochłonności pierwotnej*	3,44%	1,80%
Średnie tempo obniżenia energochłonności pierwotnej	3,92%	2,44%

*z uwzględnieniem korekty klimatycznej

Wskaźnik relacji energochłonności finalnej do energochłonności pierwotnej w latach 2006-2019 wykazywał tendencję rosnącą, najwyższą wartość osiągnął w roku 2019 r., tj. 68,8%. Na przestrzeni ostatnich 30 lat notuje się poprawę wskaźników energochłonności dla polskiej gospodarki. Ze względu na aspekty środowiskowe, konieczne jest dalsze uzyskiwanie wymiernych efektów ekologiczno-energetycznych, a co za tym idzie poszukiwanie

^a Efektywny – dający dobre wyniki wydajny (PWN).

^b PKB – Produkt Krajowy Brutto.