WODÓR I WSPÓŁCZESNE METODY JEGO PRODUKCJI ORAZ WYKORZYSTANIA

Janusz Kotowicz, Kamila Szykowska

Słowa kluczowe: wodór, metody produkcji wodoru, elektroliza

Streszczenie. W artykule przedstawiono podstawowe informacje na temat wodoru i jego produkcji. Przedstawiono obecne jego zastosowania, ale również perspektywy jego wykorzystania w przyszłości. Możliwości wykorzystania wodoru są bardzo szerokie. Produkcja tz. „zielonego" wodoru jest przedmiotem wielu światowych badań. Wykorzystanie do tego celu procesu elektrolizy, która jest zasilana nadwyżkami energii ze źródeł odnawialnych, skutkuje minimalizacją emisji zanieczyszczeń z procesu, ale również przyczynia się do racjonalnego wykorzystania energii. Wykorzystanie wodoru jako paliwa w ogniwach paliwowych pozwala na generację energii w okresach podwyższonego zapotrzebowania. Technologie wodorowe mogą być podstawą przyszłej transformacji gospodarki.

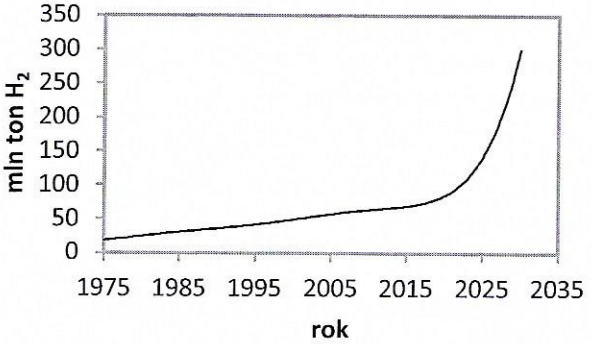
1. WPROWADZENIE

Wodór jest pierwiastkiem powszechnie występującym w przyrodzie. Bardzo rzadko występuje w stanie wolnym, najczęściej w postaci związków, z których najpowszechniejszym jest woda. Jest bezbarwny, bezwonny oraz słabo rozpuszcza się w wodzie. Charakteryzuje się wysoką wartością opałową, wysoką temperaturą samozapłonu oraz niską gęstością. Pozostałe właściwości wodoru zaprezentowano w tabeli 1[28].

Tabela 1
Właściwości wodoru [4] [28]

Parametr	Wartość
Masa molowa, g/mol	2,0
Gęstość H_2, kg/m^3	0,082
Temperatura topnienia, °C	-259,2
Temperatura wrzenia, °C	-252,8
Ciśnienie krytyczne, MPa	1,3
Temperatura samozapłonu w powietrzu, °C	585
Minimalna energia zapłonu, mJ	0,02
Wartość opałowa, MJ/kg	120,1
Palność w powietrzu, % obj.	4-75

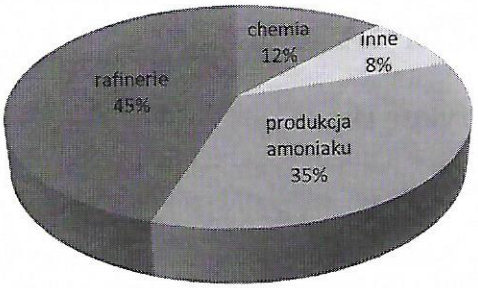
Światowa produkcja wodoru stale wzrasta od 1975 roku co obrazuje rysunek 1. W 2018 roku światowa produkcja wodoru osiągnęła łącznie 70 milionów ton . Oczekuje się, że liczba ta znacznie wzrośnie osiągając w 2030 roku wartość 300 milionów ton. Przewidywany wzrost produkcji wodoru jest wynikiem większego użycia wodoru w różnych gałęziach przemysłu oraz rozwojem technik jego produkcji. Według raportu Esperis z 2020 roku głównym światowym producentem wodoru są Stany Zjednoczone oraz Unia Europejska, które odpowiadają za 13,5% światowej produkcji (około 10 mln ton). W Polsce produkcja wodoru wynosiła około miliona ton [13][14].



Rys. 1. Światowa produkcja wodoru w latach 1975-2030 [13][14]

Wyprodukowany wodór jest obecnie stosowany przede wszystkim w procesach chemicznych jako reduktor, do produkcji amoniaku oraz w procesach rafineryjnych. Istnieją coraz szersze perspektywy na wykorzystanie wodoru jako paliwa w transporcie, w alternatywie do paliw kopalnych. Wykorzystanie wodoru jako paliwa polega na zastosowaniu go w ogniwach paliwowych, gdzie następuje konwersja energii chemicznej na energię elektryczną. Brak emisji dwutlenku węgla z procesu jest niewątpliwą jego zaletą, doskonale wpisującą się w koncepcje ekologicznego i bezemisyjnego transportu[5].

Według [15] zużycie wodoru w Unii Europejskiej wyniosło 8,3 mln ton. Na rysunku 2 zaprezentowano procentowe zużycie wodoru w różnych sektorach przemysłu. Obecnie w UE najwięcej wodoru zużywa się w rafineriach, bo aż 45%, co daje zużycie rzędu 3,7 mln ton.



Rys. 2. Zużycie wodoru w Unii Europejskiej na koniec 2018[15]

W ambitnym scenariuszu rozwoju wykorzystania wodoru zaprezentowanym przez autorów w [16] w 2050 roku będzie on wykorzystywany nie tylko w przemyśle chemicznym. Wodór będzie wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej w transporcie i ogrzewaniu budynków.

Obecnie 95% procent wytwarzanego wodoru pochodzi z przetwarzania paliw kopalnych. Rodzaje wodoru przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2.
Rodzaje wodoru wytwarzanego z paliw kopalnych [8]

Rodzaj wodoru	
„czarny"	Pozyskiwany z gazu syntetycznego na bazie węgla
„szary"	Powstały z ekstrakcji paliw kopalnych z wydzieleniem CO_2 i CO
„niebieski"	Powstały z ekstrakcji paliw kopalnych z wydzieleniem CO_2 ,które można dalej wykorzystać
„turkusowy"	Powstały w procesie elektrolizy z wykorzystaniem gazu ziemnego bez emisji CO_2

Technologie wytwarzania wodoru z paliw kopalnych wymagają zastosowania technologii wychwytu i składowania dwutlenku węgla CCS (z ang. *Carbon Capture and Storage*), jeśli mają spełnić standardy wodoru o niskiej emisji - LCH (z ang. *Low Carbon Hydrogen*). Pozostałe 5% wytwarzanego wodoru pochodzi z procesu elektrolizy wody. Są to dwa rodzaje wodoru: „zielony" i „fioletowy". Wodór zielony jest wytwarzany w procesie elektrolizy zasilanej energią elektryczną z OZE, natomiast fioletowy energią elektryczną z elektrowni atomowych [8][12].

Wodór będzie stanowił jedno z kluczowych paliw w transformacji energetycznej, zachodzącej w Unii Europejskiej. Technologie wodorowe stanowią priorytet dla osiągnięcia Europejskiego Zielonego Ładu. W 2020 roku Polska podjęła działania w celu stworzenia Polskiej Strategii Wodorowej (PSW), której główną ideą jest stworzenie polskiej gałęzi gospodarki wodorowej, osiągnięcie neutralności klimatycznej oraz utrzymanie konkurencyjności polskiej gospodarki na arenie międzynarodowej.

Projekt PSW ma wyznaczone cele, które obejmują m. in :

- wdrożenie technologii wodorowych w wielu sektorach energetyki - wykorzystanie wodoru jako magazynu energii,
- wykorzystanie wodoru w transporcie w alternatywie do benzyny czy ropy naftowej,
- wsparcie dekarbonizacji przemysłu,
- produkcję wodoru ze źródeł niskoemisyjnych oraz z wykorzystaniem źródeł odnawialnych,
- rozwój technologii bezpiecznego systemu przesyłu i dystrybucji wodoru,
- stworzenie regulacji prawnych dla bezproblemowego rozwoju technologii wodorowych.

Realizację celów zaplanowano do roku 2030, z perspektywą przedłużenia do 2040 roku[11][25].

2. METODY PRODUKCJI WODORU

Do podstawowych metod produkcji wodoru można zaliczyć metodę:

- termiczną,
- biologiczną,
- elektrochemiczną.

2.1. Metoda termiczna

Reforming parowy gazu ziemnego [5][6][19][26] jest najpopularniejszą metodą generacji wodoru na świecie. W Polsce używa się jej w przemyśle chemicznym oraz rafineryjnym.

Cały proces klasycznego reformingu polega na reakcji metanu z parą wodną w warunkach wysokiej temperatury rzędu 700-1000°C i obecności katalizatora metalicznego zgodnie z reakcją:

$$CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2 \quad (1)$$

$$\Delta H = 206{,}1\ kJ/kmol \quad (2)$$

Produktem reakcji jest wodór i tlenek węgla.

Możliwie jest również zastosowanie reformingu dwustopniowego, gdzie dodatkowo zachodzi reakcja:

$$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2 \quad (3)$$

$$\Delta H = -41{,}2\ kJ/kmol \quad (4)$$

Produktami dwustopniowego reformingu jest dwutlenek węgla oraz wodór.

Katalizatorem użytym w reakcji jest najczęściej nikiel osadzony na porowatym nośniku ceramicznym, który zapewnia termostabilność, wysoką aktywność i wytrzymałość.

Znaczącą wadą technologii jest powstawanie produktów jakimi są CO i CO_2. Ograniczenie emisji tych gazów polega na zastosowaniu technologii ich wychwytu. Zastosowanie takiej technologii skutkuje obniżeniem sprawności procesu o około 5-14%.

Produkcja wodoru możliwa jest również poprzez zgazowanie węgla lub biomasy. Polega ona na przekształceniu materiału stałego jakim jest węgiel bądź biomasa na gaz, poprzez reakcję z tlenem, parą wodną bądź dwutlenkiem węgla. Przykładowe reakcje przedstawiono poniżej:

$$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2 \quad (5)$$

$$\Delta H = 131{,}3\ \mathrm{kJ/kmol} \quad (6)$$

$$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2 \quad (7)$$

$$\Delta H = -41{,}2\ \mathrm{kJ/kmol} \quad (8)$$

Proces zgazowania zwykle odbywa się w gazogeneratorach w temperaturze powyżej 800°C, ciśnieniu wyższym od atmosferycznego oraz przy stosunku nadmiaru powietrza mniejszym od 1.

2.2. Metody biologiczne [28][20]

Jako główne procesy biologiczne produkcji wodoru można wyróżnić: fotosyntezę i fermentację.

W procesie fotosyntezy używane są mikroorganizmy, które przy pomocy promieniowania słonecznego, rozkładają wodę na jony: wodorowe i elektrony. Z pomocą enzymu zwanego Fehydrogenazą łączone są do wodoru gazowego.

Fermentacja jest procesem beztlenowego rozkładu materii organicznej, zachodzącym bez udziału promieniowania słonecznego. Wodór jest jednym z końcowych produktów rozkładu cukru prostego- glukozy. Produkcja wodoru w procesie fermentacji jest możliwa dzięki wykorzystaniu różnego rodzaju mikroorganizmów i bakterii, pozyskiwanych np. z osadów ściekowych.

Metody biologiczne produkcji wodoru są przedmiotem licznych badań. Produkcja wodoru przy pomocy mikroorganizmów jest ciągle rozwijana.

2.3 Metoda elektrochemiczna[6][28]

Elektrochemiczną metodą produkcji wodoru jest elektroliza. W procesie elektrolizy przy pomocy energii elektrycznej zachodzi proces rozkładu wody na cząsteczki wodoru oraz tlenu zgodnie z reakcją:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2 \quad (9)$$

Powstały w ten sposób wodór charakteryzuje się wysoką czystością w granicach 99,99 %. Główną zaletą całego procesu produkcji jest brak emisji zanieczyszczeń. Technologia konwersji energii elektrycznej w produkty gazowe o wysokiej jakości może okazać się bardzo pomocna w procesie bilansowania systemu elektroenergetycznego w chwilach nadwyżek energii z OZE.

Wyróżnia się 3 typy elektrolizerów. Elektrolizery alkaiczne AEC (z ang. *Alkaline Electrolysis Cell*) są najpopularniejszą i najtańszą technologia produkcji wodoru. Składają się z 2 metalicznych elektrod zanurzonych w płynnym elektrolicie o wysokiej przewodności, którym najczęściej jest wodny roztwór wodorotlenku potasu lub sodu. Charakteryzują się stosunkowo długim czasem rozruchu oraz posiadają dość wąski zakres operacyjny. W trakcie procesu eksploatacji elektrolizerów typy AEC zauważono pogorszenie wydajności po 5 latach pracy.

Elektrolizery z membraną polimerową PEM (ang. *Proton Exchange Membrane*) są najwydajniejszą metodą produkcji wodoru. Ogniwo takiego elektrolizera jest zbudowane z 2 elektrod niklowych, które przylegają do membrany przewodzącej protony. Proces ich uruchomienia przebiega płynnie. W porównaniu z innymi elektrolizerami mają znacząco krótszy czas pracy.

Tabela 3.
Porównanie parametrów elektrolizerów [23][2][7][24][18][3]

Elektrolizer	AEC	PEM	SOEC
Minimalna temperatura pracy, °C	25	20	850
Maksymalna temperatura pracy, °C	100	80	1200
Ciśnienie, bar	1-30	1-80	1-30
Sprawność, %	50-82	60-82	81-86
Wydajność produkcji, Nm^3H_2/h	1-500	0,01-250	-
Czystość H_2, %	>99,9	>99,9	>99,9
Energochłonność, $kWh/Nm^3\ H_2$	4-5	4-5	2,5-3,5
Katalizator,-	nikiel, kobalt, żelazo	platyna	-
Gęstość prądu, A/cm^2	0,2-0,6	0,6-3	-
Napięcie ogniwa elektrolizera, V	1,8-2,4	1,7-2,4	-
Czas życia, h	Poniżej 100 tys.	10-50 tys.	10-30 tys.
Zakres obciążenia (% w stosunku do nominalnego)	10-110	0-160	20-100
Elektrolit, -	KOH, NaOH	KOH, stały polimer kwasu PFSA	Y_2O_3+ZrO

Wysokotemperaturowe elektrolizery stałotlenkowe SOEC (ang. *Solide Oxide Electrolysis Cell*) bazują na tworzywie ceramicznym jako materiale elektrolitu i separatora ogniwa. Pracują w zakresie wysokich temperatur 850-1200°C, co skutkuje krótszą żywotnością. Elektrolizery tego typu są obecnie bardzo drogie ze względu na koszty materiałów składowych oraz nakłady energetyczne, wynikające z wysokich temperatur pracy [2][7][23][24].

Porównanie parametrów elektrolizerów zaprezentowano w tabeli 3.

Najwyższą sprawnością charakteryzują się elektrolizery stałotlenkowe, które mogą stanowić podstawę do produkcji wodoru do celów energetycznych. Według przewidywań do 2050 roku, 25% wodoru na świecie będzie pozyskiwane z procesu elektrolizy.

W [17] wyznaczono sprawność generatora wodoru składającego się z 4 elektrolizerów typu PEM. W ramach badań eksperymentalnych zaproponowano zależność na sprawność generatora wodoru jako:

$$\eta_{HG} = \frac{a}{\left[\frac{N_{AC}}{(N_{AC})_{nom}}\right]^m} \cdot \left[1 - \delta_{nom} \cdot \frac{(N_{AC})_{nom}}{N_{AC}}\right] \qquad (9)$$

gdzie:

a, m - współczynniki wynikające z przeprowadzonych badań,

δ_{nom}- wskaźnik potrzeb własnych,

N_{AC}- moc prądu zmiennego dostarczanego do generatora wodoru,

$(N_{AC})_{nom}$- moc nominalna generator wodoru.

Proponowana zależność może być używana w zakresie od 20 do 100% mocy znamionowej generatora wodoru, poniżej 20% mocy znamionowej otrzymane wyniki obarczone są dużą niepewnością.

Za pomocą zależności (9) możliwe jest wyznaczenie charakterystyki sprawności generatora w funkcji stosunku mocy prądu zmiennego dostarczanego do generatora wodoru do jego mocy nominalnej oraz różnych wartości δ_{nom}, m oraz a. Przykładowe charakterystyki zaprezentowano na rysunku 3.

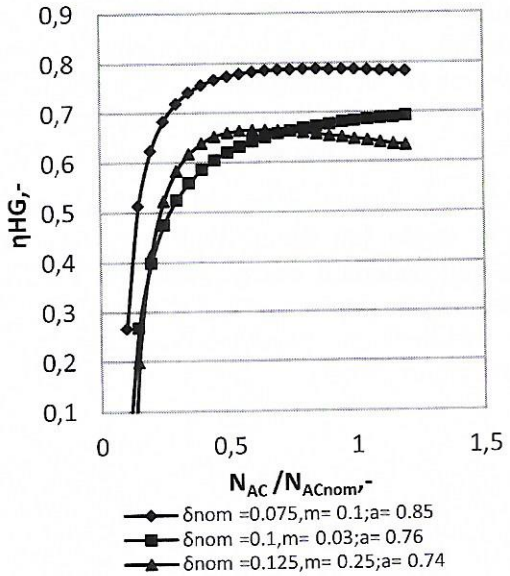
Producenci generatorów różnego typu najczęściej charakteryzując generator, podają wartość energochłonności, która wyrażona jest w kWh/Nm^3 produkowanego wodoru [29]. Znając energochłonność możliwe jest wyznaczenie wartości sprawności zgodnie ze wzorem:

$$\eta = \frac{HHV}{E_N \cdot 3{,}6} \qquad (10)$$

gdzie:

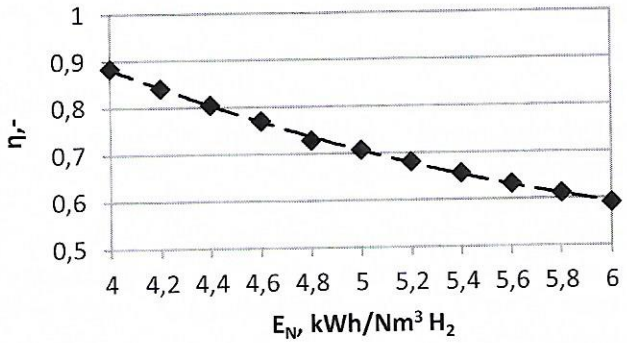
HHV- ciepło spalania wodoru (12,75 MJ/Nm^3),

E_N- energochłonność (kWh/Nm^3 H_2).

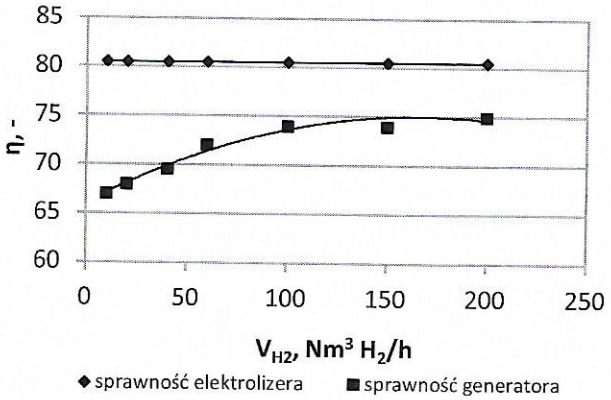


Rys. 3. Charakterystyka sprawności generatora

Przyjmując zmienny zakres energochłonności generatora w przedziale 4-6 kWh/Nm^3 H_2 wyznaczono charakterystykę sprawności (generatora, elektrolizy). Według danych producenta [29] energochłonność elektrolizera jest wartością stała, niezależną od przepływu i wynosi 4,4 kWh/Nm^3 H_2. Zgodnie z danymi sporządzono charakterystyki widoczne na rysunkach 4 i 5. Wraz ze wzrostem energochłonności spada sprawność. Wraz ze wzrostem strumienia przepływu wodoru, rośnie sprawność generatora.



Rys. 4. Charakterystyka sprawności generatora w funkcji energochłonności



Rys. 5. Charakterystyka sprawności generatora oraz elektrolizera w funkcji strumienia przepływu wodoru [29]

W tabeli 4 przedstawiono porównanie parametrów generatorów alkaicznych jednej z firm [30] dostępnych na rynku.

Tabela 4.
Porównanie parametrów generatorów alkalicznych[30]

Elektrolizer alkaiczny	A150	A300	A485
Wydajność produkcji netto, Nm^3/h	50-150	150-300	300-485
Dynamiczny zakres zdolności produkcyjnych	15-100% zakresu przepływu		
Energochłonność elektrolizera, kWh/ Nm^3	3,8-4,4		
Czystość H_2, %	99,99-99,999		
Ciśnienie robocze, bar	1-200		
Powierzchnia, m^2	150	200	225
Temperatura otoczenia, °C	5-35		
Elektrolit	25% wodny roztwór KOH		

Produkcja netto wodoru warunkuje rozmiar elektrolizera. Wraz ze wzrostem wydajności produkcji, wzrasta powierzchnia elektrolizera. Wszystkie rodzaje elektrolizerów alkaicznych serii A posiadają szeroki zakres zdolności produkcyjnych oraz charakteryzują się wysoką czystością produkowanego gazu.

3. ENERGETYCZNE ZASTOSOWANIE WODORU [5][23][7][22]

Powstały wodór musi zostać sprężony, aby mógł zostać zmagazynowany. Najbardziej rozwiniętymi technologiami magazynowania są zbiorniki ciśnieniowe oraz kriogeniczne, których pojemność dla pierwszych wynosi do 100kWh, a dla drugich nawet do 100 GWh. W Polsce przewiduje się możliwości wykorzystania jako magazynów wodoru kawerny solne [6].

Alternatywą dla magazynowania jest konwersja wodoru na energię elektryczną przy pomocy ogniw paliwowych zgodnie z ideą Power-to-Gas-to-Power. Ogniwa paliwowe stanowią możliwość czasowego zmagazynowania wodoru, a następnie przekształceniu go ponownie na energię w razie takiej potrzeby. Dzięki technologii magazynowania można czasowo zatrzymać energię z OZE, której produkcja jest niestabilna i wysoce zależna od warunków atmosferycznych.

Ogniwa paliwowe charakteryzują się odpornością na zakłócenia, brakiem emisji zanieczyszczeń oraz wysoką sprawnością. Istnieje możliwość łączenia ogniw w stosy w celu generacji wyższych wartości mocy. Istnieje wiele rodzajów ogniw paliwowych, a ich podział bazuje na rodzaju zastosowanego elektrolitu.

Poszczególne wybrane cechy ogniw paliwowych wraz z porównaniem zaprezentowano w tabeli 5.

Tabela 5.
Porównanie parametrów ogniw paliwowych[23][22]

Ogniwo paliwowe	Temperatura pracy, °C	Moc z pojedynczego ogniwa	Sprawność, %	Żywotność, tys. h
PEM	60-100	0,5-400 kW	Do 65	60
DMFC	Około 80	do 1kW	40	-
AFC	100-250	Do 250 kW	40-50	5-8
PAFC	160-220	Do 11 MW	40-50	30-60
MCFC	Około 650	Do kilku MW	Powyżej 60	20-30
SOFC	650-1000	Do 200 kW	Do 85	90

Największy potencjał do wykorzystania w systemach magazynowania energii z OZE mają ogniwa paliwowe typu SOFC oraz PAFC, gdyż charakteryzują się dosyć wysoką sprawnością konwersji oraz długą żywotnością.

Inną opcją jest wykorzystanie wodoru w transporcie, w alternatywnie do paliw kopalnych. Wodór ma również potencjał na zmniejszenie emisyjności przemysłu. Wykorzystuje się tam wodór, produkowany klasycznymi metodami termicznymi, do produkcji wysokowartościowych chemikaliów Taka produkcja niesie za sobą wysoką emisję dwutlenku węgla. Zastosowanie „zielonego" wodoru, produkowanego w procesie elektrolizy z użyciem energii elektrycznej z OZE, jako surowca w procesach przemysłowych może pozwolić na znaczne ograniczenie wysokiej emisji CO_2 z przemysłu [7].

„Zielony" wodór może również zostać wykorzystany do produkcji amoniaku, metanolu czy syntetycznego gazu ziemnego.

Siemens, Engie i inne koncerny planują wykorzystać wodór z elektrolizy do zasilania turbiny gazowej. Producenci turbin testują spalanie wodoru w turbinach o mocy od kilku do kilkuset megawatów. Zastosowanie wodoru nie jest sprawą prostą. W odniesieniu do masy, gęstość energii zawarta w wodorze jest ponad dwa razy większa niż w gazie ziemnym. Na rynku istnieją turbiny gazowe, mogące pracować na mieszance CH_4 i H_2. Głównym celem jest turbina gazowa, która będzie spalać czysty wodór, bez mieszanek. Spalanie wodoru wiąże się z koniecznością modernizacji palników, ale również modyfikacji systemów sterowania w zakresie monitoringu procesów spalania i bezpieczeństwa zarówno technologii jak i obsługi [10].

Technologie wodorowe są obszarem badań wielu polskich spółek i firm. W grupie Azoty używa się go do produkcji chemikaliów. Grupa Lotos jest najbardziej zaangażowana w projekty oparte na zwiększeniu wykorzystania wodoru w gospodarce. Jastrzębska Spółka Węglowa (JSW) opracowuje technologię separacji wodoru z gazu koksowniczego, dzięki której możliwe będzie otrzymanie wodoru wysokiej czystości, który może zostać zastosowany w transporcie, ale również przez ogniwa paliwowe. PGNiG rozpoczął w 2018 roku projekt badawczy ELIZA, który skupia się na analizie technologii wytwarzania wodoru z odnawialnych źródeł energii metodą elektrolizy. Prowadzą również pracę nad możliwością zatłaczania wyprodukowanego gazu do magazynów powszechnie używanych do utrzymywania gazu ziemnego [6].

4. PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano podstawowe informacje na temat wodoru oraz przedstawiono obecną sytuację dotyczącą jego produkcji i wykorzystania w kraju i na świecie. Przedstawiono różne metody produkcji wodoru, gdzie skupiono się na elektrolizie jako metodzie posiadającej najwyższy potencjał do wykorzystania w przyszłości. Pokazano przykładowe charakterystyki sprawności generatorów wodoru w zależności od wybranych parametrów. W dalszej części zaprezentowano opcję energetycznego wykorzystania wodoru w ogniwach paliwowych, które mogą posłużyć jako magazyny energii elektrycznej generowanej przez niestabilne odnawialne źródła energii. Zaprezentowano również inne możliwości wykorzystania wodoru oraz projekty realizowane przez krajowe spółki. Sukces ich wdrożenia zależy w głównej mierze od dostępu do stosunkowo taniego wodoru i rozwoju wysokosprawnych technik jego produkcji.

LITERATURA

[1] Biernat K., Samson-Bręk I.: *Wodór:paliwo przyszłości.*, Studia Ecologiae 6, 2008

[2] Chmielniak T., Lepszy S., Mońka P.: *Energetyka wodorowa-podstawowe problemy.*, Polityka Energetyczna 2017

[3] Chmielniak T: *Hybrydowa energetyka wodorowa.*, Nowa Energia 5-6/2019

[4] Deczyński, J., Żółtowski, B: *Wodór jako paliwo alternatywne do zasilania silników ze spalaniem wewnętrznym.*, Studies&Proceedings of Polish Association for Knowledge Management, nr 69/2014

[5] Dorociak M., Tomecki M.: *Wodór –paliwo przyszłości.*, Łukasiewicz 2019

[6] Dorociak M., Tomecki M.:*Wodorowa alternatywa raport 2019.*, 04.2019, Wydawnictwo: *300GOSPODARKA*

[7] Futyma K., Wołowicz M., Olesiejuk P.: *Analiza efektywności energetycznej technologii Power-to-Gas-to-Power.*, Nowa Energia 2019

[8] Giers M., Jaworska L., Antas Ł.: *Gra o wodór. Kto zdominuje rynek wodoru na świecie ?*, Esperis 2020

[9] https://globenergia.pl/wodor-jako-potencjalne-paliwo-grzewcze-przyszlosci/., dostęp: 11.02.2021

[10] https://next.gazeta.pl/next/7,172392,26691798,producenci-turbin-przygotowuja-sie-do-spalania-wodoru.html, dostęp 13.02.2021

[11] https://www.gov.pl/web/klimat/rozpoczely-sie-konsultacje-publiczne-projektu-polskiej-strategii-wodorowej, dostęp 12.02.2021

[12] https://www.ontario.ca/page/low-carbon-hydrogen, dostęp 11.02.2020

[13] https://www.statista.com/statistics/1121207/global-hydrogen-production/,dostęp 11.02.2021

[14] https://wysokienapiecie.pl/31614-czy-polska-ma-szanse-wyrosnac-na-wodorowego-potentata-na-razie-sporo-nam-brakuje/, dostęp 11.02.2021

[15] https://wysokienapiecie.pl/32899-kto-zarobi-na-polskim-wodorze/

[16] Hydrogen Roadmap Europe Raport, Fuel Cells and Hydrogen 2

[17] Kotowicz J., Bartela Ł., Węcel D., Dubiel K.: *Hydrogen generator characteristics for storage*

of renewably-generated energy., Energy 118, 2017, 156-171
[18] Kotowicz J., Węcel D., Jurczyk M.: *Analysis of component operation in power-to gas-to-power installations.*,Applied Energy 216, 2018, 45-59
[19] Maj M., Szpor A.: *Kierunki rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce.*, Polski Instytut Ekonomiczny, 7/2019
[20] Moritz M: *Biological methods for obtaining hydrogen.*, Chemik nr.8, 2012
[21] Nag S., Sharma P., Gupta A., Dhar A.: *Combustion, vibration and noise analysis of hydrogen-diesel dual fuelled engine.*, Fuel 241, 2019, s. 488-494.
[22] Nowicki J.: *Wstęp do energetyki wodorowej.*, Sieci i Instalacje XXII, 2019
[23] Paska J., Kłos M.: *Ogniwa paliwowe przyszłością wytwarzania energii elektrycznej i ciepła.*, Przegląd Elektrotechniczny nr. 8, 2010
[24] Piskowska-Wasiak J: *Doświadczenia i perspektywy procesu Power to Gas.*, Nafta-Gaz nr.8, 2017
[25] Projekt strategii wodorowej do roku 2030 z perspektywą do 2040r
[26] Sarbak Z.: *Gaz syntezowy i jego przemiany.*, LAB nr 6 2018
[27] Shadle L., Berry D., Syamlal M.: *Coal Gasification.*, 2007, USDOE - Office of Fossil Energy
[28] Wiącek D.: *Wodór jako paliwo przyszłości.*, Autobusy 10/2011
[29] www. arevah2gen.com, dostęp 14.02.2021
[30] www.nellhydrogen.com, dostęp 14.02.2021

Praca naukowa finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu badawczego "Badanie różnych struktur układów energetycznego wykorzystania metanolu i jego produkcji w oparciu o H_2 z procesu elektrolizy i CO_2 z instalacji CCS" (2018/29/B/ST8/02244).

HYDROGEN AND MODERN METHODS OF PRODUCTIONAND USE

Key words: hydrogen, methods of hydrogen production, electrolysis

Summary. The article presents basic information on hydrogen and its production. There are presented its current applications, as well as the prospects for its future use. The possibilities of using hydrogen are very wide. Production of "green" hydrogen is the subject of a lot of research worldwide. The use of the electrolysis process for this purpose, which is supplied with surplus energy from renewable sources, results in the minimization of pollutant emissions from the process, but also contributes to the rational use of energy.

Janusz Kotowicz, prof. dr hab. inż. Jest Prorektorem ds. Współpracy z Otoczeniem Społeczno-Gospodarczym oraz pełni funkcję Zastępcy Dyrektora Katedry Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, e-mail: Janusz.Kotowicz@polsl.pl

Kamila Szykowska, mgr inż. jest doktorantką w Zespole Miernictwa i Automatyki Procesów Energetycznych w Katedrze Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, e-mail: Kamila.Szykowska@polsl.pl