

Światowy rynek ogniw paliwowych

Streszczenie. Ogniw paliwowe zamieniają energię chemiczną paliwa w sposób bezpośredni na energię elektryczną i ciepło. W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój tej technologii. W artykule przedstawiono rynek światowy ogniw paliwowych w liczbach w latach 2008 - 2018. Wymieniono przykłady wdrożeń oraz plany rozwoju tej technologii. Dokonano również przeglądu podstawowych typów ogniw paliwowych, ich charakterystyk, wad i zalet.

Abstract. The fuel cell convert chemical energy of a fuel directly into electrical energy and heat. In last years dynamic development of fuel cell technology is observed. The article presents the world fuel cell market in numbers from 2008 to 2018. Examples of implementations and plans for the development of this technology are listed. The basic types of fuel cells, their characteristics, disadvantages and advantages are also reviewed. (The global fuel cell market)

Słowa kluczowe: ogniw paliwowe, rynek ogniw paliwowych, alternatywne źródła energii, generacja rozproszona, energetyka wodorowa
Keywords: fuel cell, fuel cell market, alternative energy sources, distributed generation, hydrogen energy industry

Wstęp

Malejące zasoby paliw kopalnych oraz utrzymujący się trend rozproszonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej mają kluczowy wpływ na wzrost zainteresowania technologią ogniw paliwowych. Niewątpliwym wpływem na rozwój ogniw ma również panująca tendencja do ograniczania kosztów i strat związanych z przesyłem energii. Coraz większego znaczenia nabierają lokalne źródła energii, które bezpośrednio zasilają obiekty w energię cieplną i elektryczną.

Ogniw paliwowe cechuje bardzo szerokie spektrum zastosowań, od źródła zasilania dla małego sprzętu elektronicznego, poprzez napędy samochodowe, domowe jednostki kogeneracyjne do dużych elektrowni stacjonarnych.

Kolejnym atutem jest budowa oparta na systemie modułowym, który pozwala na stosunkowo szybką i łatwą budowę instalacji oraz jej ewentualną rozbudowę.

Ogniw paliwowe cechuje wysoki wskaźnik uzysku mocy z jednostkowej objętości paliwa, a jednocześnie proces bezpośredniej konwersji energii chemicznej paliwa w energię elektryczną odbywa się bez emisji toksycznych składników oraz przy zachowaniu wysokiej sprawności wykorzystania energii paliwa.

Sprawność ogniw paliwowych wytwarzających energię elektryczną zawiera się w zakresie 40 - 60%. W przypadku wykorzystania ciepła odpadowego z instalacji ogniw, w układach skojarzonych CHP, całkowita sprawność energetyczna może wzrosnąć nawet do 95% [1]. Ciepło odpadowe może być wykorzystane do ogrzewania, podgrzewu ciepłej wody użytkowej, chłodzenia bądź klimatyzacji. Instalacje hybrydowe ogniw paliwowych połączonych z obiegiem turbiny gazowej osiągają sprawności 70% i więcej.

Dynamiczny rozwój ogniw paliwowych w ostatnich latach sprawia, iż coraz częściej stanowią one alternatywne źródła energii elektrycznej i ciepłej.

Zastosowanie ogniw paliwowych

Ze względu na sposób wykorzystania ogniw paliwowych można podzielić je na trzy główne grupy:

- ✓ urządzenia przenośne
- ✓ systemy stacjonarne
- ✓ środki transportu, komunikacja.

Ogniw paliwowe postrzegane są często jako zamiennik dla tradycyjnych baterii i akumulatorów stosowanych w małych urządzeniach elektronicznych takich jak laptopy, telefony komórkowe, aparaty fotograficzne itd. W

urządzeniach zasilanych przez ogniw paliwowe wystarczy napełnić ogniwo paliwem, co zajmuje zdecydowanie mniej czasu niż długie ładowanie baterii. Ze względu na niską temperaturę pracy w urządzeniach przenośnych zastosowanie znajdują ogniw PEMFC oraz DMFC.

Ze względu na niską masę systemu zasilania opartego na ogniwach paliwowych w stosunku do ilości generowanej energii oraz wysoką sprawność i jakość dostarczanej energii, ogniw paliwowe znajdują także zastosowanie jako źródła napędu w robotyce.

Systemy stacjonarne to zarówno małe domowe jednostki produkujące w kogeneracji energię elektryczną i ciepło (systemy CHP), rezerwowe źródła prądu o mocy rzędu kilowatów, jak i duże elektrownie o mocy kilku megawatów. Urządzenia te wykorzystywane są w miejscach, gdzie dostępność energii elektrycznej jest kwestią priorytetową, a więc na przykład w szpitalach, bazach wojskowych, budynkach biurowych czy przemyśle.

Instalacje ogniw paliwowych mogą pracować samodzielnie, w systemie kogeneracyjnym lub hybrydowym np. z turbiną gazową, mogą być podłączone do sieci elektroenergetycznej lub stanowić niezależne systemy i pracować wyspowo.

Zastosowanie ogniw paliwowych w środkach transportu wykazuje przewagę w porównaniu z silnikami spalinowymi. Wynika to z faktu, iż ogniw paliwowe wytwarzają energię służącą bezpośrednio do napędu, natomiast w silnikach spalinowych wytwarzana jest energia mechaniczna, która przekształcona przez przekładnię mechaniczną daje dopiero energię napędową. Pojazdy napędzane ogniwami paliwowymi cechuje wyższa sprawność niż te napędzane silnikiem spalinowym, posiadają system odzysku energii podczas hamowania oraz stały moment obrotowy. Poza tym na korzyść ogniw paliwowych przemawia również brak wibracji i hałasu podczas zachodzących reakcji oraz brak spalania paliwa podczas postoju pojazdu. Pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi (FCEV) zasilane wodorem są bezemisyjne podobnie jak pojazdy elektryczne wyposażone w baterie, niemniej jednak mają one co najmniej dwukrotnie większy zasięg. W ostatnim czasie pojawiają się również opinie producentów ogniw paliwowych (m.in. Bloom Energy), iż wykorzystanie ogniw paliwowych w środkach transportu powinno sprowadzać się do zasilania w energię elektryczną punktów ładowania samochodów, czyniąc tym samym instalacje ogniw paliwowych swoistymi stacjami paliw dla samochodów elektrycznych [2].

Porównanie głównych typów ogniw paliwowych

Ze względu na rodzaj zastosowanego elektrolitu wyróżnia się pięć głównych typów ogniw paliwowych [1, 3]:

- ✓ alkaliczne (AFC – Alkaline Fuel Cell),
- ✓ ze stopionym węglanem (MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell),

- ✓ z kwasem fosforowym (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell),
- ✓ z membraną do wymiany protonów (PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell),
- ✓ tlenkowe (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell).

Poniżej porównano parametry charakterystyczne dla pięciu głównych typów ogniw paliwowych.

Tabela 1. Porównanie ogniw paliwowych różnych rodzajów [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8]

	AFC	PAFC	PEM	MCFC	SOFC
Elektrolit	Roztwór wodorotlenku potasu KOH	Stężony kwas fosforowy H ₃ PO ₄	Membrana polimerowa	Mieszanina węglanów alkalicznych (Li, K, Na)	Nieporowaty stały tlenek metalu, najczęściej cyrkonu ZrO ₂ Stabilizowany tlenkiem itru Y ₂ O ₃
Temperatura pracy, °C	80-120	Ok.. 150-220	40-140	650 (600-700)	500-1000
Nośnik ładunku	OH ⁻	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
Paliwo	Wodór, hydrazyna, metan	Czysty wodór, gaz ziemny, metan, biogaz, paliwo poddane reformingowi zewnętrznemu	Wodór, wodór z reformingu	Wodór, metan, gaz ziemny, biogaz, paliwo poddane reformingowi wewnętrznemu lub zewnętrznemu	Wodór, metan, gaz ziemny, biogaz, paliwo poddane reformingowi wewnętrznemu lub zewnętrznemu
Utleniacz	Tlen (powietrze)	Tlen (powietrze)	Tlen (powietrze)	Tlen (powietrze), dwutlenek węgla	Tlen (powietrze)
Katalizator	Platyna	Platyna	Platyna	Nikiel	Metatytan wapnia
Sprawność elektryczna, %	60-70	40-50	40-60 (60% - ogniwa zasilane wodorem)	45-55	> 60 (w kogeneracji 85)
Sprawność CHP, %	>80	>80	>80	>80	>80
Żywotność, h	5000-8000	30000-80000	20000-60000	20000-40000	do 90000
Typowy rozmiar stosu, kW	10-100	100-400	1-100	300-3000	1-2000
Wrażliwość na zanieczyszczenia	CO ₂ , CO, Cl, S	CO ₂ , S	CO ₂ , CO, Cl, FI, S	Cl, S	Cl, S
Zastosowanie	Badania kosmosu, wojsko, transport, zasilanie awaryjne	Źródła rozproszone	Napęd, źródła rozproszone, zasilanie awaryjne, transport, pojazdy specjalne	Źródła scentralizowane	- duże systemy energetyczne (źródła scentralizowane) - zasilanie pomocnicze - narzędzia elektryczne

Rynek ogniw paliwowych

Wśród firm mających największy udział na rynku paliw wodorowych i ogniw paliwowych należy wymienić: Bloom Energy, Panasonic, FuelCell Energy, Plug Power, Intelligent Energy, Ceres Power, SolidPower, Toshiba, Hyster-Yale Group, Ballard Power Systems, Doosan Fuel Cell, Nedstack, Hydrogenics, Pearl Hydrogen, Sunrise Power [9].

Zainteresowanie ogniwami paliwowymi rośnie z roku na rok. Ilość ogniw paliwowych wypuszczonych na rynek światowy wyniosła około 61 000 jednostek w 2015 roku, w roku 2016 ilość ta wzrosła do 63 000, z kolei w roku 2017 osiągnięto wynik 70 500 ogniw, Tabela 2 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..**

Co ważniejsze, wraz z dynamicznie rosnącą ilością ogniw paliwowych, znacząco zwiększyła się moc ogniw, która wzrosła z 500 MW w 2016 roku do ponad 800 MW w roku 2018, Tabela 3.

W latach 2010-2011 nastąpił znaczny wzrost wdrożeń instalacji ogniw paliwowych wykorzystywanych we

wszystkich segmentach. Wzrost ten dotyczył głównie stacjonarnych systemów o mocy powyżej 100 kW, jak również mniejszych jednostek poniżej 50 kW dla potrzeb układów mikrokogeneracji i UPC. W sektorze stacjonarnych instalacji ogniw paliwowych nastąpił wzrost zarówno małych, jak i dużych systemów dla budynków mieszkalnych i przemysłu.

W 2018 roku przemysł ogniw paliwowych dostarczył około 4000 jednostek więcej niż w roku poprzednim, co stanowi wzrost mocy o 145 MW.

Dynamiczny wzrost zainteresowania ogniwami paliwowymi przejawia się szczególnie w transporcie, w ciągu ostatnich paru lat odnotowano prawie 500% wzrost mocy zainstalowanej w tym segmencie, z 113 MW w 2015 roku do 562 MW w roku 2018. Wzrost popytu wynika z wprowadzenia na rynek światowy lekkich pojazdów na ogniwa paliwowe z Korei i Japonii. Do wzrostu tego przyczyniły się również pojazdy ciężkie, takie jak autobusy, ciężarówki i pojazdy specjalne.

Tabela 2. Ilość ogniw paliwowych zastosowanych w poszczególnych segmentach w latach 2008-2018 [10, 11]

tys. szt.	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018*
Przeñośne	5,1	5,7	6,8	6,9	50,5	13	21,2	8,7	4,2	5	5,6
Stacjonarne	3,6	6,7	8,3	16,1	24,6	51,8	39,5	47	51,8	54,9	57,5
Transport	0,8	2	2,6	1,6	3,1	2	2,9	5,2	7,2	10,6	11,2
Razem	9,5	14,4	17,7	24,6	78,2	66,8	63,6	60,9	63,2	70,5	74,3

* Dane za rok 2018 są prognozą opartą na zgromadzonych danych z okresu od stycznia do października

Tabela 3. Moc ogniw paliwowych zastosowanych w poszczególnych segmentach w latach 2008-2018 [10, 11]

MW	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018*
Przeñośne	0,3	1,5	0,4	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,3	0,6	0,7
Stacjonarne	33,2	35,4	35	81,4	128,4	186,9	147,8	183,6	209	222,3	239,8
Transport	17,6	49,6	55,8	27,6	46,8	28,1	37,2	113,6	307,2	435,7	562,6
Razem	51,1	86,5	91,2	109,4	175,8	215,3	185,4	298,1	516,5	658,6	803,1

* Dane za rok 2018 są prognozą opartą na zgromadzonych danych z okresu od stycznia do października

Ogniwo PEM należy obecnie do najczęściej stosowanych ogniw paliwowych, stanowią ponad 70% zainstalowanej mocy na świecie, Tabela 5. Ogniwa te znajdują zastosowanie w wielu segmentach, na przykład w

transportie i instalacjach stacjonarnych, ze względu na ich szeroki zakres mocy. Niemniej jednak coraz większą konkurencją dla dużych jednostek stacjonarnych z ogniwami typu PEM są ogniwa SOFC oraz PAFC.

Tabela 4. Ilość zastosowanych typów ogniw paliwowych [10, 11]

tys. szt.	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018*
PEM	4,1	8,5	10,9	20,4	70,9	58,7	58,4	53,5	44,5	43,7	42,6
DMFC	5,4	5,8	6,7	3,6	4,7	2,6	2,5	2,1	2,3	2,8	3,7
PAFC	0	0	0	0,6	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2
SOFC	0	0,1	0,1	0	2,6	5,5	2,7	5,2	16,2	23,7	27,8
MCFC	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0
AFC	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0
Razem	9,5	14,4	17,7	24,6	78,2	66,8	63,6	60,9	63,2	70,5	74,3

* Dane za rok 2018 są prognozą opartą na zgromadzonych danych z okresu od stycznia do października

Tabela 5. Moc zastosowanych typów ogniw paliwowych [10, 11]

MW	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018*
PEM	28,9	60	67,7	49,2	73,8	68	72,7	151,8	341	466,7	589,1
DMFC	0,3	1,1	1,1	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
PAFC	8,6	6,3	7,9	4,6	8,8	7,9	3,8	24	56,2	81	97,3
SOFC	1,3	1,1	6,7	10,6	19,5	47	38,2	53,3	62,9	85,2	91
MCFC	12	18	7,7	44,5	73,2	91,9	70,5	68,6	55,7	24,7	25,2
AFC	0	0	0,1	0,1	0	0,3	0	0,2	0,5	0,6	0,1
Razem	51,1	86,5	91,2	109,4	175,8	215,3	185,4	298,1	516,5	658,5	803,1

* Dane za rok 2018 są prognozą opartą na zgromadzonych danych z okresu od stycznia do października

Większość ogniw paliwowych znajduje się w USA i Azji (Korei Południowej i Japonii). Azja i Pacyfik to jeden z najszybciej rozwijających się i największych rynków ogniw paliwowych. W latach 2009 - 2016, za wyjątkiem 2011 roku, Azja dominowała na rynku ogniw paliwowych, pod względem mocy ogniw wprowadzonych na rynek, natomiast od 2017 roku pozycję lidera przejęły Stany Zjednoczone.

Obecnie udział Stanów Zjednoczonych w światowej mocy ogniw paliwowych wynosi 52%, drugie miejsce zajmuje Azja z wynikiem 43%.

Amerykański Departament Energii (DOE) jest głównym sponsorem projektów dotyczących wodoru i ogniw paliwowych, wnosząc około 150 mln USD w 2015 roku na działania badawczo-rozwojowe obejmujące opracowywanie tańszych i wydajniejszych elementów instalacji, takich jak sprężarki powietrza, procesory i czujniki paliwa oraz systemy zarządzania wodą i ciepłem [8]. Niektóre badania koncentrują się również na katalizatorach, ponieważ stanowią one główny czynnik napędzający koszty ogniw. We wrześniu 2017 roku DOE przyznało fundusze w wysokości 10,2 mln USD na 16 projektów mających na celu rozwój technologii stałotlenkowych ogniw paliwowych [8].

Stacjonarne instalacje ogniw paliwowych w USA są zdominowane przez trzech wiodących światowych producentów: FuelCell Energy Inc., Doosan Fuel Cell America Inc. i Bloom Energy, którzy w 2016 roku ogłosili

porozumienie na zbiorową sprzedaż systemów ogniw paliwowych o mocy około 100 MW. Ponad połowa tych ogniw paliwowych (75 MW) trafiła do Korei Południowej w celu produkcji energii elektrycznej na potrzeby sieci elektroenergetycznej [8].

W 2016 r. FuelCell Energy pozyskał zamówienie na instalacje ogniw paliwowych o mocy 1,4 MW dla Pepperidge Farm Company w Bloomfield, Connecticut, która zainstalowana będzie w sąsiedztwie istniejącej elektrowni ogniw paliwowych [8]. Kolejny projekt FuelCell Energy to dwa bloki o mocy 5,6 MW dla Pfizer Inc. w Groton, Connecticut. Z kolei Long Island Power Authority zainstaluje w trzech lokalizacjach ogniwa dostarczone przez FuelCell Energy o łącznej mocy 39,8 MW [8]. W 2018 roku FuelCell Energy wybudował dla Korea Southern Power Co. Ltd. (KOSPO) w ciągu dziesięciu miesięcy park ogniw paliwowych o mocy 20 MW, składający się z ośmiu elektrowni SureSource 3000.

Bloom Energy jest liderem w dziedzinie instalacji systemów SOFC w USA. Dostarczył systemy ogniw paliwowych dla 44 sklepów Walmart oraz jednostki o różnych rozmiarach dla firm takich jak: Google, eBay, Coca Cola, FedEx, Apple, IKEA, Johnson & Johnson, Disney Pixar Animation Studios, Equinix, Maxim Integrated, AT&T i Morgan Stanley [8].

W maju 2017 roku Doosan Fuel Cell zbudował największy koreański zakład produkujący ogniwa paliwowe. Fabryka w Iksan, w prowincji Jeolla Północna, ma zdolność produkowania 144 jednostek 440-kilowatowych ogniw paliwowych rocznie, co stanowi 63 MW mocy produkcyjnej.

Na czerwiec 2020 roku planowane jest zakończenie budowy największej stacjonarnej instalacji ogniw paliwowych pod nazwą Daesan Hydrogen Fuel Cell Power Plant w Seosan w Korei Południowej. Inwestycja ta jest wspólnym przedsięwzięciem Korea East-West Power, Hanwha Energy i Doosan Fuel Cell. Instalacja składająca się z 440-kilowatowych ogniw PAFC osiągnie całkowitą moc na poziomie 50,16 MW. Inwestycja ta dostarczy rocznie 400 000 MWh energii elektrycznej, co wystarczy na zasilenie 160 000 domów [12].

Rynek północnoamerykański i azjatycki odnotowuje ciągle wzrost, podczas gdy Europa wciąż nie zyskuje tempa i pozostaje daleko w tyle.

Pod względem ilości wprowadzonych na rynek ogniw paliwowych niekwestionowanym liderem jest Azja, z liczbą 55,3 tysięcy ogniw w 2017 roku, w porównaniu do 9,4 tysięcy ogniw w Ameryce Północnej.

W 2016 roku Chiny stały się wiodącym klientem autobusów napędzanych ogniwami paliwowymi, w ciągu roku zwiększyły swoją flotę o 30 jednostek. Ponadto Chiny zapowiedziały do 2020 roku wybudować od 5 do 10 stacji wodorowych oraz wprowadzić na swoje drogi 3 000 pojazdów zasilanych ogniwami [9].

Podobnie Japonia, która planuje do roku 2020 powiększyć swoją flotę FCEV (ang. Fuel Cell Electric Vehicle) o 40 000 pojazdów oraz rozbudować siatkę stacji ładowania z 80 w 2016 roku, do 160 do 2020 roku i 900 do roku 2030 [9].

W Korei Południowej również odnotowuje się wzrost zainteresowania stacjonarnymi ogniwami paliwowymi, wynikający w dużej mierze z modernizacji i dywersyfikacji sektora energetycznego. W ciągu ostatnich dwóch lat ogłoszono kilka dużych projektów na całym świecie, w tym projekt ogniw paliwowych o mocy 50 MW planowany przez Korea Power Electric Corp.

W latach 2003-2012 rząd Korei Południowej przeznaczył na rozwój technologii ogniw paliwowych budżet w wysokości 11,8 mld USD. Rząd subsyduje 80% ceny zakupu ogniwa, a do tego dochodzi jeszcze do 10% dodatkowej dotacji od samorządu lokalnego. W wyniku silnej rządowej polityki wspierającej rynek ogniw paliwowych oraz znacznych inwestycji firm południowokoreańskich, kraj ten ma obecnie największą na świecie (według MW) flotę stacjonarnych systemów ogniw paliwowych [8].

Przykładem tego jest największy na świecie park ogniw paliwowych Gyeonggi Green Energy, który wytwarza 59 MW energii elektrycznej oraz ciepło zasilające system ciepłowniczy. Obiekt ten zlokalizowany w mieście Hwasung w Korei Południowej, rozpoczął działalność komercyjną 19 lutego 2014 roku. Instalacja składa się z 21 wodorowych ogniw paliwowych DFC3000 o mocy 2,8 MW każde, dostarczonych przez FuelCell Energy z Danbury Conn [8]. POSCO Energy rozpoczęło budowę tego projektu w listopadzie 2012 roku i zakończyło w zaledwie 13 miesięcy, co znakomicie obrazuje zdolność do szybkiego budowania wielomegawatowych instalacji ogniw paliwowych.

POSCO Energy jest największym dostawcą systemów ogniw paliwowych w Korei Południowej o łącznej mocy 154,2 MW stacjonarnych ogniw paliwowych zainstalowanych w ponad 20 lokalizacjach [8].

Kolejnym przykładem systemu stacjonarnych ogniw paliwowych dużej mocy jest park Godeok zlokalizowany w Seulu o mocy 19,6 MW. Instalacja ta składa się z siedmiu

elektrowni ogniw paliwowych DFC3000, z których każda zapewnia 2,8 MW mocy [8]. System ogniw sąsiaduje z zajezdnią kolejową prowadzoną przez Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation. Energia elektryczna dostarczana jest do sieci elektrycznej, a wysokiej jakości ciepło użytkowe trafia do systemu ciepłowniczego. W przypadku zakłócenia lub awarii sieci elektrycznej energia elektryczna z instalacji ogniw paliwowych zapewnia zasilanie zajezdni kolejowej. Moc wyjściowa jest wystarczająca do zasilania około 45 000 południowokoreańskich gospodarstw domowych.

Ogniwa paliwowe i energia z wodoru stały się punktem centralnym w transformacji energetycznej sektora transportu w Korei Południowej. W 2018 roku w całym kraju działało 2000 pojazdów z ogniwami paliwowymi (FCEV) i 14 stacji tankowania wodoru. Do 2040 roku Korea Południowa prognozuje do 6,2 mln pojazdów FCEV zasilanych w 1200 stacjach wodorowych, co czyni ten kraj czołowym producentem FCEV i wspierającej infrastruktury wodorowej [12]. W 2018 roku podczas Zimowych Igrzysk Olimpijskich w Pjongczangu Hyundai zaprezentował zwiedzającym swój drugi już seryjny SUV NEXO napędzany ogniwem paliwowym. Pierwszym wodorowym pojazdem koreańskiej marki jest Tucson Fuel Cell. Hyundai NEXO zasilany jest prądem z ogniw wodorowych o mocy 95 kW oraz z dodatkowej baterii o mocy 40 kW. Czas tankowania wodoru wynosi w przybliżeniu 5 minut, a zasięg NEXO na jednym baku wodoru wynosi około 800 km. Od premiery Hyundai Nexo w 2018 roku stał się on najlepiej sprzedającym się pojazdem napędzanym ogniwem paliwowym [12].

Oprócz Hyundai Tucson Fuel Cell oraz Nexo seryjnie produkowane są także Toyota Mirai oraz Honda Clarity.

W zeszłym roku Hyundai Motor Company we współpracy z H2 Energy ogłosili, że do 2023 roku dostarczą na rynek szwajcarski 1000 ciężarówek wyposażonych w ogniwa paliwowe [13]. Ciężarówka Hyundai H2 XCIENT Fuel Cell została opracowana zgodnie z europejskimi przepisami. Ciężarówka wyposażona w wodorowy system ogniwa paliwowych o mocy 190 kW, osiąga na jednym tankowaniu zasięg 400 km. Siedem wbudowanych zbiorników na wodór o łącznej pojemności 32,86 kg wodoru, tankuje się zaledwie w 7 minut [13].

Japonia jest wiodącym krajem w dziedzinie opracowywania i wdrażania kogeneracyjnych ogniw paliwowych w skali mikro. Jako kraj wysoko uprzemysłowiony, zużywający ogromne ilości energii oraz posiadający niewiele zasobów naturalnych, Japonia dywersyfikuje swój system energetyczny i zwiększa efektywność systemów energetycznych. Działania te zostały zintensyfikowane po katastrofie w Fukushima. Istotnym aspektem stał się rozwój wodoru jako źródła energii. W wyniku projektu Ene-Farm, finansowanej przez rząd japoński inicjatywy opracowania i instalacji mikrokogeneracyjnych ogniw paliwowych dla gospodarstw domowych, od 2009 roku do 2016 roku zainstalowano w Japonii 150 000 mikroelektrociepłowni opartych na ogniwach paliwowych [14].

W Ene-Farm energia elektryczna wytwarzana jest w wyniku reakcji chemicznej między tlenem zawartym w atmosferze i wodorem wyodrębnianym z gazu miejskiego, z kolei ciepło będące produktem ubocznym tego procesu służy do ogrzewania domu i podgrzewania ciepłej wody. Producent (firma Panasonic) podaje, że w porównaniu z używaniem prądu wytworzonego przez elektrownię ciepłą i ogrzewaniem domu oraz wody za pomocą gazu ziemnego, system ogniwa paliwowych pozwala zmniejszyć zużycie energii pierwotnej o około 35% oraz emisję CO₂ o około 48% [15].

Tabela 6. Ilość ogniw paliwowych zastosowanych w różnych rejonach świata w latach 2008-2018 [10, 11]

tys. szt.	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018*
Europa	3,3	4,4	4,8	3,9	22,8	6	5,6	8,4	4,4	5,1	8,6
Ameryka Północna	1,7	3,2	3,3	3,3	20	8,7	16,9	6,9	7,7	9,4	9,8
Azja	4,5	6,7	9,5	17	31,2	51,1	39,3	44,6	50,6	55,3	55,3
Reszta świata	0	0,1	0,1	0,4	4,2	1	1,8	1	0,5	0,8	0,6
Razem	9,5	14,4	17,7	24,6	78,2	66,8	63,6	60,9	63,2	70,5	74,3

* Dane za rok 2018 są prognozą opartą na zgromadzonych danych z okresu od stycznia do października

Tabela 7. Moc ogniw paliwowych zastosowanych w różnych rejonach świata w latach 2008-2018 [10, 11]

MW	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018*
Europa	5	2,9	5,8	9,4	19,2	17,3	9,9	27,7	27,4	38,9	43,4
Ameryka Północna	23	37,6	42,5	59,6	67,4	74,7	69,8	108,4	213,6	331,8	415
Azja	22,8	45,3	42,5	39,6	87,3	122,9	104,5	159,7	273,8	285,8	343,3
Reszta świata	0,3	0,7	0,4	0,8	1,9	0,4	1,2	2,3	1,7	2,1	1,4
Razem	51,1	86,5	91,2	109,4	175,8	215,3	185,4	298,1	516,5	658,6	803,1

* Dane za rok 2018 są prognozą opartą na zgromadzonych danych z okresu od stycznia do października

Wykorzystanie ciepła wytworzonego w ogniwie paliwowym podczas reakcji chemicznej do ogrzewania oraz podgrzewania wody znacząco podnosi sprawność całej instalacji. Panasonic podaje, że całkowita sprawność ogniwa Ene-Farm wynosi 97% lub w 87,6% w oparciu o wyższą wartość opałową wodoru. Wymagana powierzchnia do instalacji systemu Ene-Farm wynosi około 2 m² [15].

Do 2018 roku zainstalowano około 270 000 mikrokogeneracyjnych ogniw paliwowych, z czego ponad 235 000 w ramach programu Ene-Farm. Dzięki temu programowi każde gospodarstwo domowe biorące w nim udział mogło zapobiec rocznej emisji 1,2 tony CO₂ [16]. Oznacza to, że Japonia oszczędza obecnie 324 000 ton CO₂ rocznie. Z każdą zainstalowaną jednostką Ene-Farm rośnie ilość unikniętej emisji CO₂.

Obecnie wspierane jest również wprowadzanie pojazdów na ognia paliwowe (FCEV), wyznaczony przez Japonię cel to 800 000 pojazdów FCEV na drodze do 2030 roku, zasilanych przez 720 stacji tankowania wodoru zlokalizowanych na terenie całego kraju [16].

W porównaniu z USA czy krajami azjatyckimi, rozwój technologii wodorowych i ogniw paliwowych w Unii Europejskiej wciąż pozostaje wolniejszy, niemniej jednak widoczny jest wzrost znaczenia tych technologii w Europie.

Aby zachęcić do rozwoju ogniw paliwowych, w maju 2014 roku Rada Unii Europejskiej formalnie zgodziła się kontynuować wspólną inicjatywę na rzecz technologii ogniw paliwowych i technologii wodorowych (The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking - FCH JU) w ramach unijnego programu Horyzont 2020. FCH JU to partnerstwo publiczno-prywatne wspierające działania w zakresie badań, rozwoju technologicznego i demonstracji w zakresie technologii ogniw paliwowych i technologii wodorowych w Europie. Jego celem jest przyspieszenie wprowadzania na rynek tej technologii. Budżet przedsięwzięcia na lata 2014-2020 wynosi 1,33 biliona euro [8, 17]. Projekty w ramach tego przedsięwzięcia poprawiają wydajność i obniżają koszty ogniw paliwowych, a także wykazują gotowość tej technologii do wejścia na rynek w sektorze transportu (samochody, autobusy i infrastruktura tankowania) oraz energii (produkcja i dystrybucja wodoru, magazynowanie energii i stacjonarne wytwarzanie energii) [17].

Jednym z projektów wspartych przez FCH 2 JU jest projekt ene.field, który otrzymał finansowanie w kwocie 26 mln euro. Ene.field (nawiązujący do japońskiego programu Ene Farm) jest ogólnoeuropejskim programem demonstracyjnym w zakresie mikrokogeneracji, zapoczątkowanym w 2013 roku. W projekcie wzięli udział producenci, w tym: Baxi, Bosch, Ceres, Hexis, SOFCPower i Vaillant. W ramach projektu zainstalowano 1046 jednostek mikro-CHP opartych na ogniwach PEM i SOFC o mocy od

300 W do 5 kW, w gospodarstwach domowych na terenie 12 państw członkowskich Unii Europejskiej. Projekt zakończył się w sierpniu 2017 roku [8, 18].

Projekt PACE (Pathway to a Competitive European Fuel Cell micro-Cogeneration Market) o budżecie 90 milionów euro, został wsparty przez FCH 2 JU kwotą 34 milionów euro [8].

Projekt rozpoczął się w czerwcu 2016 roku i potrwa do lutego 2021 roku. Jego celem jest wsparcie wdrożenia 2800 jednostek mikro-CHP opartych na ogniwach paliwowych o mocy około 1 kW w 10 krajach europejskich [19].

Projekt skupia pięciu wiodących europejskich dostawców ogniw paliwowych: BDR Thermea, Bosch, SOLIDpower, Sunfire i Viessmann, a swym zasięgiem obejmuje gospodarstwa domowe i małe przedsiębiorstwa. Całkowita sprawność instalowanych jednostek mikro-CHP wynosi do 95%, z czego sprawność wytwarzania energii elektrycznej wynosi do 60% [19].

Kraje biorące udział w projekcie to między innymi: Niemcy, Holandia, Belgia, Francja, Szwajcaria, Austria, Włochy, Wielka Brytania [8, 19].

Podsumowanie

Rynek ogniw paliwowych oraz energetyka wodorowa stanowią obecnie dynamicznie rozwijającą się gałąź energetyki. Rządowe programy wspierające komercjalizację ogniw paliwowych w Ameryce Północnej, Azji i Europie przyczyniły się do redukcji kosztów, postępu technologicznego i akceptacji społecznej. Jednocześnie rządowe regulacje i inicjatywy dotyczące zmniejszenia poziomu emisji szkodliwych substancji do powietrza oraz wzrost zapotrzebowania na niekonwencjonalne źródła energii, dodatkowo napędzają popyt na ognia paliwowe.

Zastosowanie ogniw paliwowych może zminimalizować zależność od nieodnawialnych źródeł energii, takich jak węgiel, gaz ziemny i pochodne petrochemiczne. Pod względem wydajności, trwałości i niezawodności systemu, ognia paliwowe nie odbiegają od pozostałych technologii dostępnych na rynku. Na korzyść ogniw wpływa również wysoka sprawność w układach kogeneracyjnych oraz krótki okres budowy jednostek energetycznych, który dla przykładu dla instalacji 50 MW zajmuje zaledwie 10 miesięcy.

Zgodnie z nowym raportem Grand View Research, światowy rynek ogniw paliwowych ma osiągnąć 24,81 miliarda USD do 2025 roku [20]. Oczekuje się również wzrostu na rynku ogniw paliwowych o CAGR (Compound Annual Growth Rate) wynoszący około 14,97% w okresie prognozy na lata 2020–2025 [21].

Największy wzrost popytu na ognia paliwowe prognozowany jest w sektorze transportu oraz w sektorze energetycznym w postaci stacjonarnych instalacji

kogeneracyjnych małej i dużej mocy. Wraz z rosnącą liczbą pojazdów napędzanych przez ogniwa, wzrostowi ulegnie również liczba stacji ładowania.

Przy obecnym rozwoju techniki, ogniwa paliwowe, które zapewniają stały dostęp do energii elektrycznej i ciepła wytwarzanych w sposób efektywny i ekologiczny, nie stanowią już technologii dostępnej w przyszłości, one stały się technologią przyszłości. Wielokrotność ich zastosowania w dowolnej skali, ekologia, bezpieczeństwo i coraz większy rynek producentów czynią tą technologię coraz bardziej atrakcyjną w stosunku do dostępnych obecnie technologii energetycznych.

Chcę wyrazić swoją wdzięczność i podziękowanie wszystkim recenzentom artykułu, za poświęcony czas i wysiłek włożony w przygotowanie recenzji oraz za cenne wskazówki i sugestie, które przyczyniły się do podniesienia wartości artykułu.

Artykuł został opracowany w ramach realizacji prac własnych w Centrum Czystych Technologii Węglowych.

Autorzy: mgr inż. Agnieszka Leśniak, Główny Instytut Górnictwa, ul. Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice, E-mail: alesniak@gig.eu.

LITERATURA

- [1] Comparison of fuel cell technologies, Study Report, US Dept. of Energy, available: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/comparison-fuel-cell-technologies>, accessed: 10.2019
- [2] <https://www.wnp.pl/motoryzacja/producent-ogniw-paliwowych-sceptyczny-wobec-samochodow-wodorowych,342240.html>, accessed: 10.2019
- [3] Pasek J., Klos M., Ogniwa paliwowe przyszłością wytwarzania energii elektrycznej i ciepła? *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr. 8, 93-99
- [4] Krauz M., Opracowanie technologii wytwarzania stałotlenkowych ogniw paliwowych, Praca doktorska AGH, available: <http://www.ogniwa-paliwowe.info/download.php>, accessed: 10.2019
- [5] <https://www.netl.doe.gov/>, accessed: 10.2019
- [6] Maheshwari K., Sharma S., Sharma A., Verma S., Fuel Cell and Its Application: A Review, *International Journal of Engineering Research & Technology*, (2018), vol 7 issue 06
- [7] Saxena S., Verma A., Introduction to fuel cell technology. A Review, *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, (2015), vol. 2, Special issue 1
- [8] Zhang X., Current status of stationary fuel cells for coal power generation, *Clean Energy*, Volume 2, Issue 2, (2018), Pages 126-139
- [9] Global Fuel Cell Technology Market Professional Survey Report 2019, available: <https://www.marketwatch.com/press-release/fuel-cell-technology-market-2019-global-industry-share-size-revenue-latest-trends-business-boosting-strategies-cagr-status-growth-opportunities-and-forecast-2025---market-reports-world-2019-10-17>, accessed: 10.2019
- [10] The Fuel Cell Industry Review 2018, available: <https://www.californiahydrogen.org/wp-content/uploads/2019/01/TheFuelCellIndustryReview2018.pdf>, accessed: 10.2019
- [11] The Fuel Cell Industry Review 2012, available: http://www.fuelcelltoday.com/media/1713685/fct_review_2012.pdf, accessed: 10.2019
- [12] Chaben J., South Korean Fuel Cell Industry Developments, (2019), Fuel Cell & Hydrogen Energy Association, <http://www.fchea.org/in-transition/2019/2/19/south-korean-fuel-cell-industry-developments>, accessed: 10.2019
- [13] <https://www.hyundai.co.nz/hyundai-motor-and-h2-energy-to-bring-the-world-s-first-fleet-of-fuel-cell-electric-trucks-into-commercial-operation->, accessed: 10.2019
- [14] Ściążko M., Smółka B., Wenecki T., Perspektywy wodoru w transporcie i energetyce, (2018), *Nowa Energia*, 03/2018
- [15] <https://www.controlengineering.pl/przydomowe-elektrociepownie-beda-dostepne-w-europie/>, accessed: 10.2019
- [16] Pathway to a Competitive European Fuel Cell micro-CHP Market, available: <http://www.pace-energy.eu/japan-a-success-story-in-deploying-fuel-cell-micro-cogeneration/>, accessed: 10.2019
- [17] Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking, available: <https://www.fch.europa.eu/>, accessed: 10.2019
- [18] <http://enefield.eu/>, accessed: 10.2019
- [19] Pathway to a Competitive European Fuel Cell micro-CHP Market, available: <http://www.pace-energy.eu/>, accessed: 10.2019
- [20] Grand View Research, available: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-fuel-cell-market>, accessed: 10.2019
- [21] Fuel Cell Market – Growth, Trends and Forecast (2019-2024), available: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-fuel-cell-market-industry>, accessed: 10.2019