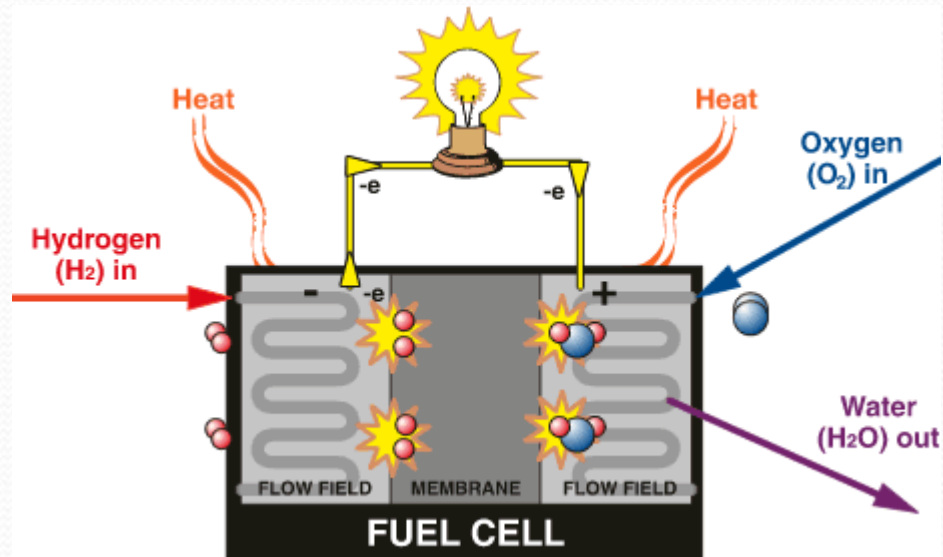


Ogniwa paliwowe

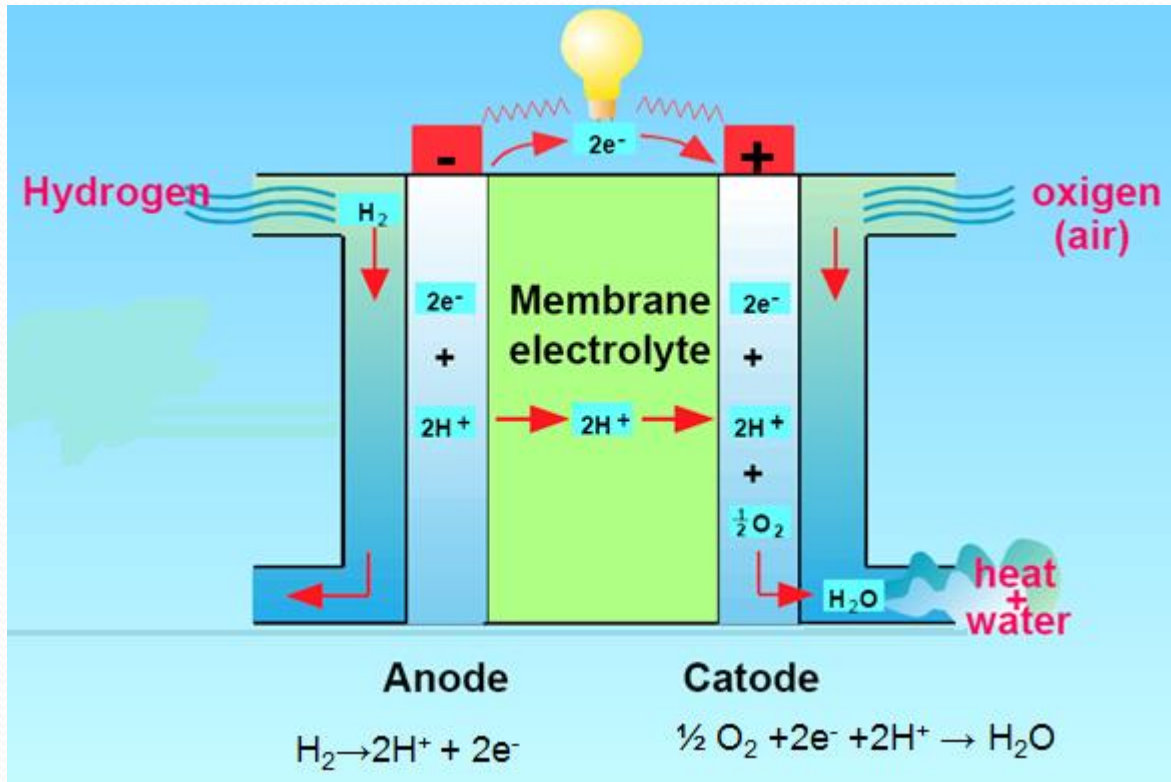
PEM

Ogniwa paliwowe

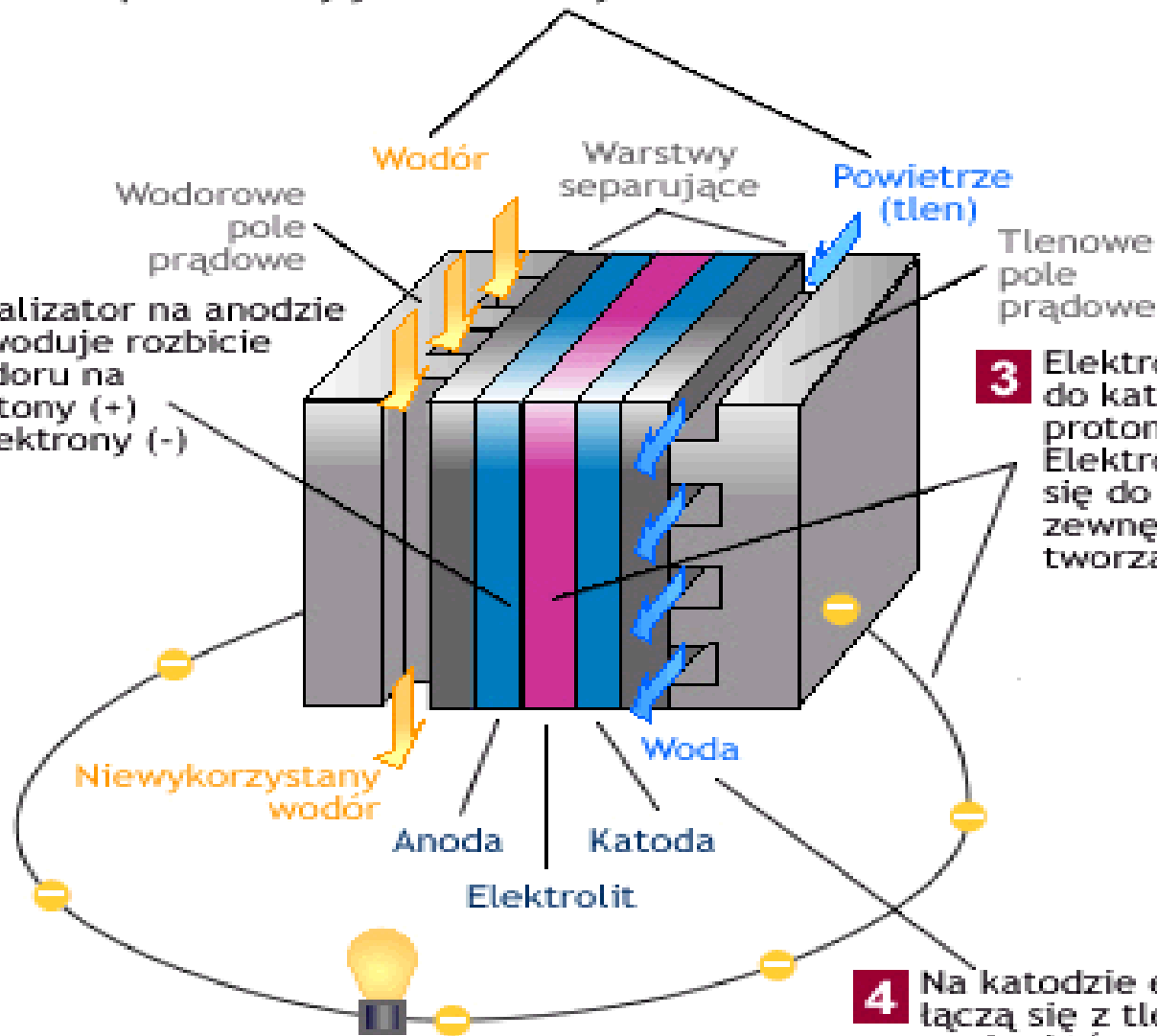
Ogniwa paliwowe są urządzeniami elektrochemicznymi, które wytwarzają energię użyteczną (elektryczność, ciepło) w wyniku reakcji chemicznej wodoru z tlenem. Produktem ubocznym jest woda.



Ogniwa paliwowe- zasada działania



- 1** Wodór doprowadzany jest do anody
Tlen doprowadzany jest do katody

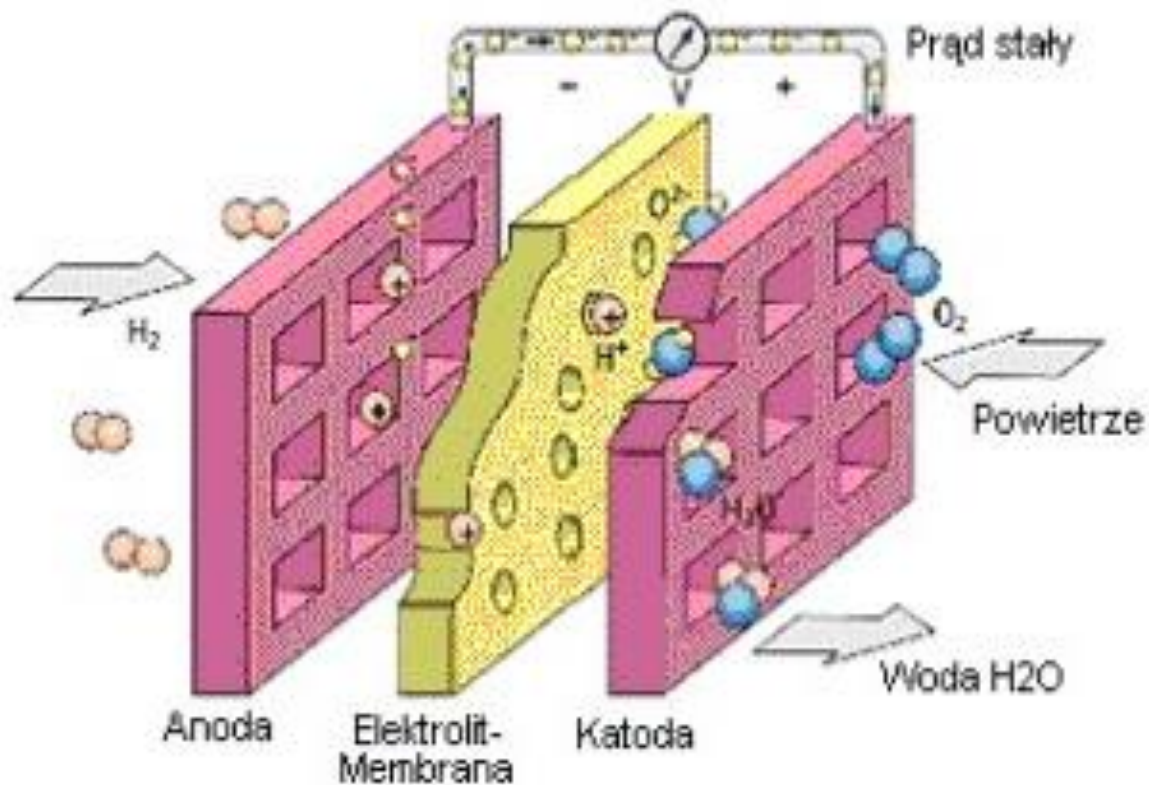


- 2** Katalizator na anodzie powoduje rozbitcie wodoru na protony (+) i elektrony (-)

- 3** Elektrolit przepuszcza do katody jedynie protony (+). Elektrony przemieszczają się do katody zewnętrznym obwodem, tworząc prąd elektryczny

- 4** Na katodzie elektrony i protony łączą się z tlenem tworząc wodę, która wydostaje się z ogniwa

Ogniwa paliwowe



Ogniwo paliwowe zbudowane jest z dwóch elektrod: **anody i katody**. Elektrody odseparowane są poprzez **elektrolit** występujący w formie płynnej lub jako ciało stałe. Elektrolit umożliwia przepływ kationów, natomiast uniemożliwia przepływ elektronów.

Reakcja chemiczna zachodząca w ogniwie polega na rozbiciu **wodoru na proton i elektron na anodzie**, a następnie na połączeniu substratów reakcji na katodzie. Procesom elektrochemicznym towarzyszy przepływ elektronu od anody do katody z pominięciem nieprzepuszczalnej membrany. W wyniku elektrochemicznej reakcji wodoru i tlenu powstaje **prąd elektryczny, woda i ciepło**.

Paliwo - wodór w stanie czystym lub w mieszaninie z innymi gazami - jest **doprowadzany w sposób ciągły do anody**, a **utleniacz** - tlen w stanie czystym lub mieszaninie (powietrze) - podawany jest **w sposób ciągły do katody**.



https://www.youtube.com/watch?v=imV_uflzxPY

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cell-animation>

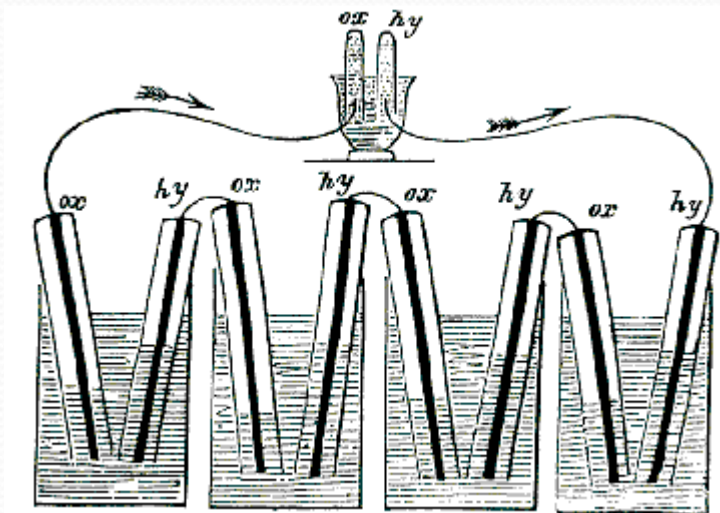
https://www.youtube.com/watch?v=g2vZ9o_0WyA

Pierwsze ogniwo paliwowe

W 1842 r. Grove przedstawił swoje pierwsze ogniwo jako "gazową baterie" składającą się z pięciu ogniw zawierających tlen i wodór umieszczonych w szklanych ampułkach, których otwarte końce były zanurzone w roztworze kwasu siarkowego stanowiącego elektrolit. Ogniwa te połączono ze sobą za pomocą platynowych elektrod. Tak skonstruowaną baterię połączono z elektrolizerem, który służył do obserwacji i oceny wielkości ładunku elektrycznego generowanego bezpośrednio z reakcji syntezy tlenu i wodoru.



Sir William Robert Grove, urodzony 1811 roku w Swansea w Walii (Anglia), zmarł w 1896 roku w Londynie. Brytyjski chemik i wynalazca. Skonstruował on pierwsze ogniwo paliwowe (1839), które produkowało energię elektryczną z reakcji łączenia wodoru i tlenu (odwrócenie procesu elektrolizy).



Rodzaje ogniw paliwowych

Ogniwo paliwowe	Temperatura pracy [°C]	Rodzaj elektrolitu	Paliwo	Utleniacz	Sprawność [%]
alkaliczne	80–90	roztwór alkaliczny KOH, NaOH	wodór, tlen	tlen	50–65
polimerowe	70–90	membrana polimerowa	wodór, metanol	tlen, powietrze	50–65
fosforowe	160–220	kwas fosforowy H ₃ PO ₄	wodór, metan	powietrze	35–45
węglanowe	650	węglan potasu K ₂ CO ₃	wodór, metan, gaz węgłowy	powietrze	160–220
z tlenków metali	850–1000	stabilizowany cyrkon i itr ZrO ₂ , Y ₂ O ₃	wodór, metan, gaz węgłowy	powietrze	50–60

Podział ogniw paliwowych

Cztery podstawowe typy ogniw paliwowych:

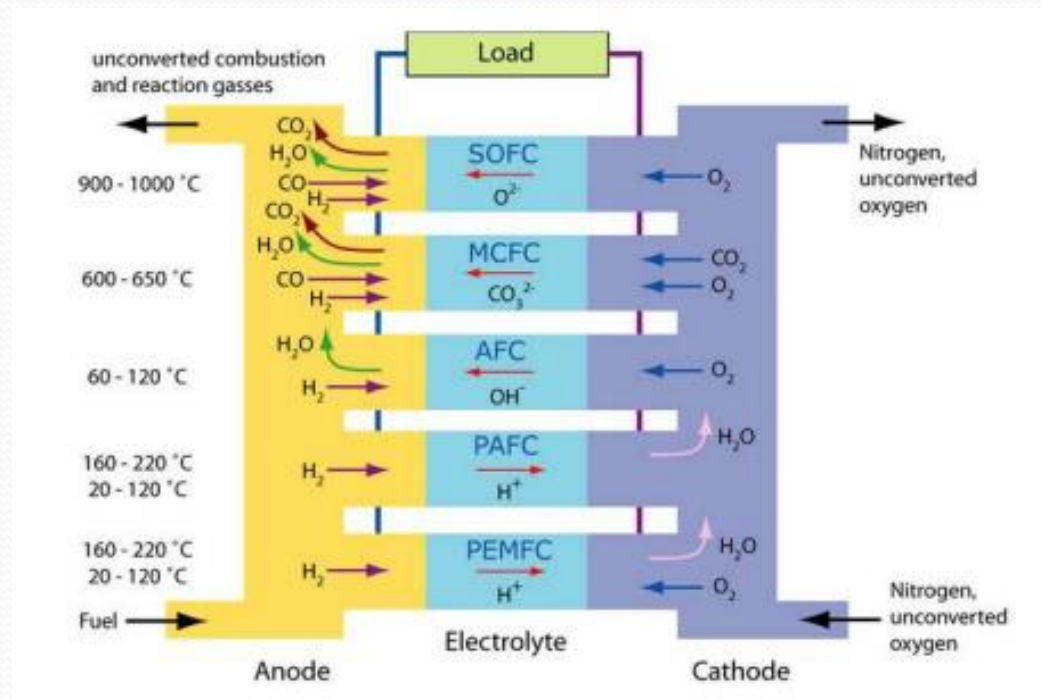
- **ogniwo fosforowe PAFC** (*od ang. Phosphoric Acid Fuel Cell*),
- **ogniwo węglanowe MCFC** (*od ang. Molten Carbonate Fuel Cell*),
- **ogniwo tlenkowe SOFC** (*od ang. Solid Oxide Fuel Cell*),
- **ogniwo polimerowe PEMFC** (*od ang. Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, Proton Exchange Membrane Fuel Cell*), **PEFC** (*od ang. Polymer Electrolyte Fuel Cell*), **SPEMFC** (*od ang. Solid Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*).

Poza tym podziałem wyróżnia się jeszcze **ogniwa alkaliczne AFC** (*od ang. Alkaline Fuel Cell*) oraz ogniwa **metanolowe z bezpośrednim zasilaniem DMFC** (*od ang. Direct Methanol Fuel Cell*), stanowiące podgrupę ogniw PEMFC.

Klasyfikacja ogniw paliwowych wg różnych kryteriów

Podział ogniw według:		AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
elektrolit		alkaliczny	membrana polimerowa		kwas fosforowy	stopione węglany	stałe tlenki metali
temperatura pracy	niskotemperaturowe	100°C	80°C	100°C			
	średnitemperaturowe				200°C		
	wysokotemperaturowe					650°C	1000°C
ciśnienie	atmosferyczne	X	X	X	X	X	X
	ciśnieniowe					X	X
paliwo	gazowe	X	X		X	X	X
	ciekłe			X			
	stałe					X	
utleniacz	tlen	X	X	X	X		X
	powietrze		X	X	X		X
	powietrze + CO ₂					X	
zastosowanie	motoryzacja		X				
	urządzenia przenośne		X	X			
	specjalne	X	X	X			
	energetyka				X	X	X

Mechanizm działania ogniw paliwowych różnego typu



Reakcje redox

Reakcje, w których następuje przekazywanie elektronów pomiędzy reagentami nazywamy reakcjami redoks (red-ox)

Reakcje spalania, oddychania, fotosyntezy, korozji...

Utlenianie (ox):



Utrata
elektronu

Redukcja (red):



Przyłączenie
elektronu

Reakcje w ogniwie paliwowym

reakcje chemiczne zachodzące w ogniwie paliwowym:

na anodzie:



na katodzie:



Sumarycznie:



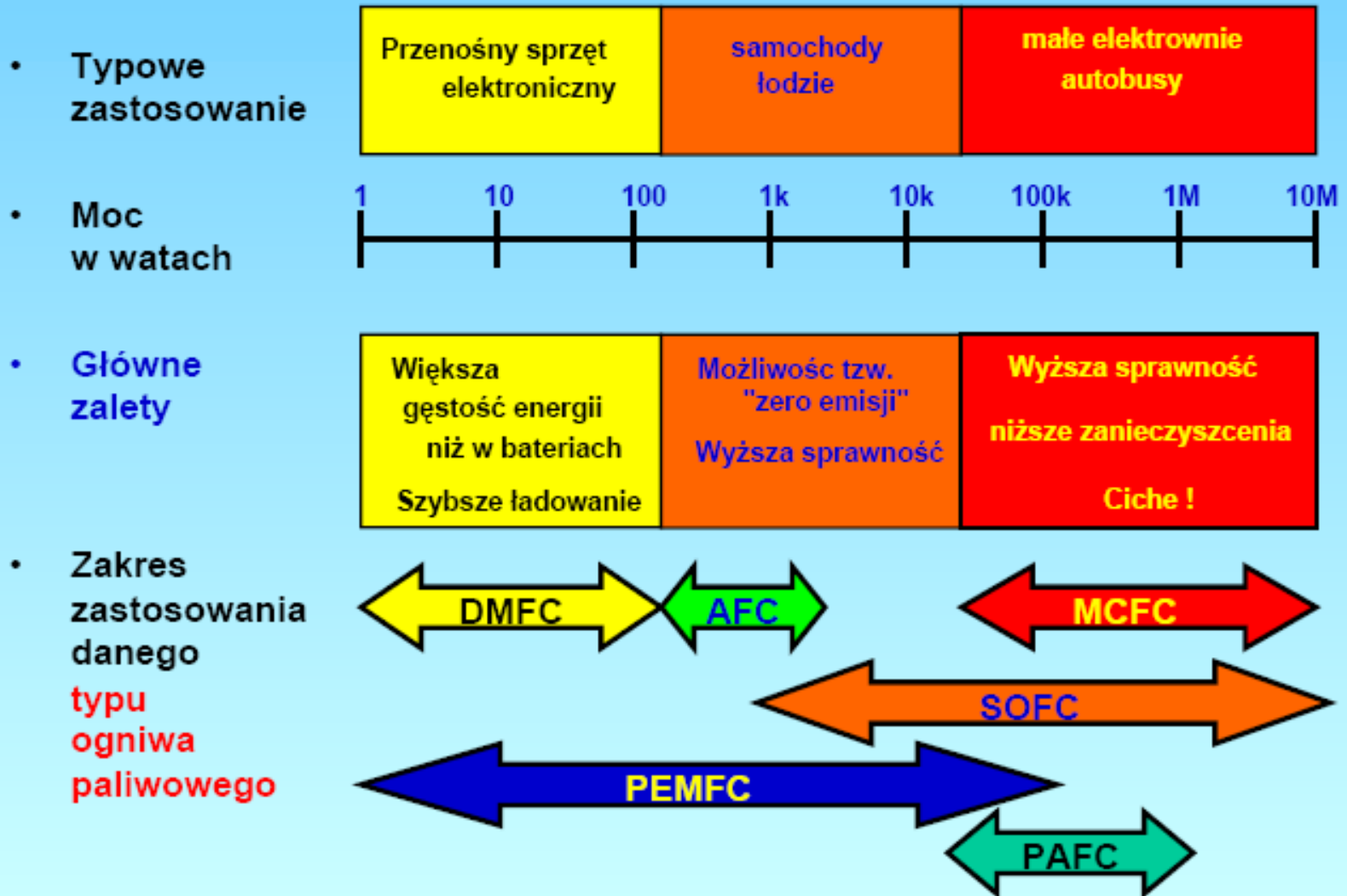
Ogniwa paliwowe- ulepszenia

Zasada działania ogniwa paliwowego jest doskonale znana, znaczący postęp dokonuje się obecnie w opracowywaniu materiałów na budowę **elektrod, membran, uszczelnień oraz katalizatorów**. Celem badań jest **wydłużenie żywotności i sprawności ogniwa**, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów jego produkcji.

Ponadto opracowywane są nowe technologie wytwarzania elementów ogniw, poprzez zastąpienie obróbki mechanicznej, precyzyjnymi technologiami natryskowymi. Efekty badań są już widoczne dla odbiorców końcowych: **następuje wydłużanie cyklu życia ogniw paliwowych i jednoczesny spadek ceny produkowanej energii**.

Aplikacje i główne zalety

różnych rodzajów ogniw paliwowych w różnych zastosowaniach



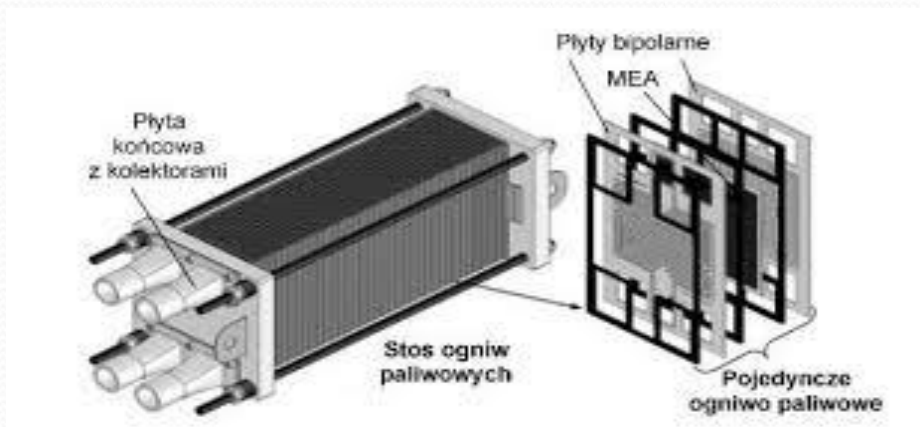
Ogniwa PEM

- PEM (Proton Exchange Membrane lub Polimer Electrolyte Membrane).

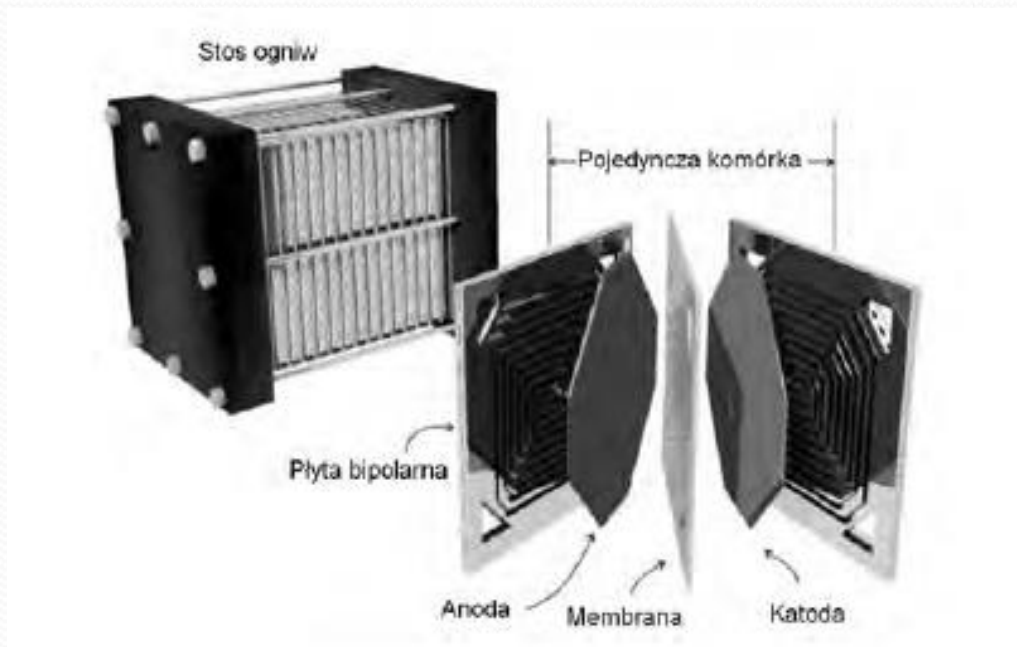
Ogniwa paliwowe PEM zasilane są **czystym wodorem lub reformatem**. Membraną ogniwa PEM jest materiał polimerowy np. nafion. Charakterystyczną cechą ogniw PEM jest duża sprawność w produkcji energii elektrycznej - *do 65%* oraz **mała ilość wydzielanego ciepła**. Niewątpliwą zaletą ogniwa PEM jest **dobra nadążność ogniwa** w systemach poddawanych zmiennym obciążeniom oraz krótki czas rozruchu. Cechy te wynikają z niskiej temperatury reakcji zachodzącej w ogniwie - 60 do 100 stopni Celsjusza.

Ogniwa PEM są stosowane głównie do napędzania pojazdów oraz do budowy stacjonarnych i przenośnych generatorów energii.

Ogniwa PEM

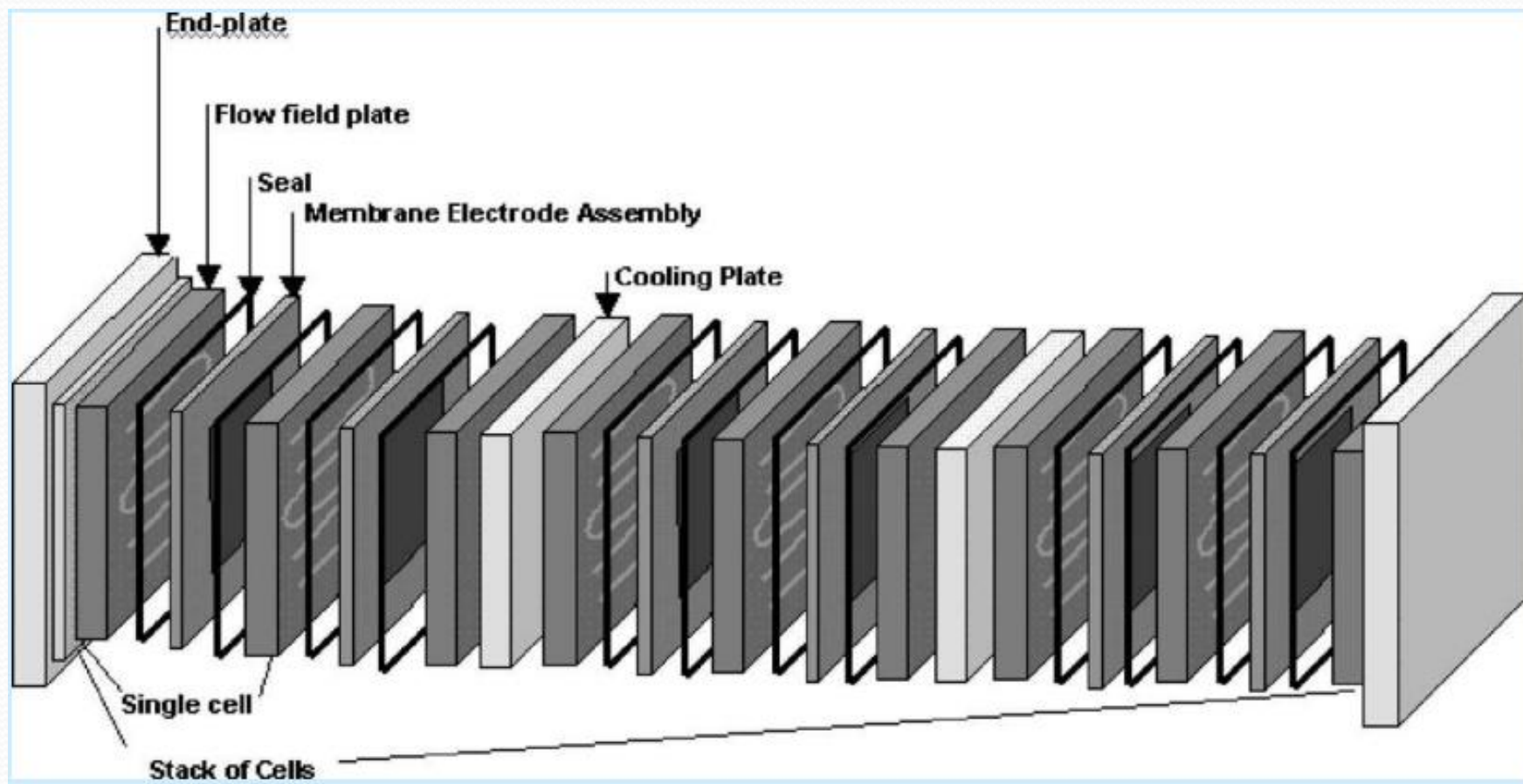


Budowa ogniw PEM



złożenia elektrody– elektrolit (Membrane Electrode Assemblies – MEAs) są łączone szeregowo przy użyciu płyt bipolarnych

Budowa ogniw paliwowych

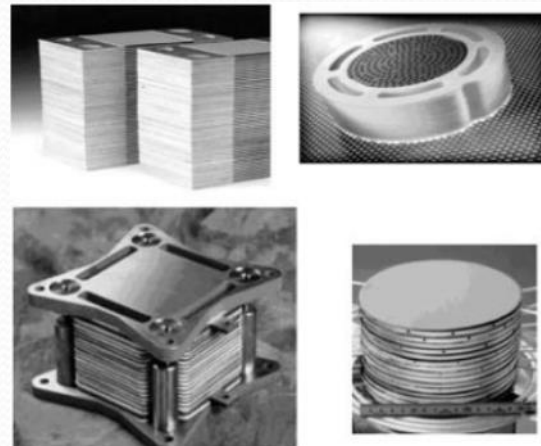




https://www.youtube.com/watch?v=_MsG9REFN3s

Konstrukcje stosów

Stosy płaskie



Stosy rurowe



Rozwój ogniw PEM

Ogniwa paliwowe PEM rozwijały się w różnym tempie na przełomie lat 70 i początku lat 80 ubiegłego wieku. W późnych latach 80 i na początku lat 90 nastąpił regres w rozwoju tego typu ogniwa. Jednak znaczne fundusze rządowe, które zostały skierowane do kanadyjskiej firmy Ballard i do Los Alamos Laboratory w Stanach Zjednoczonych, zmieniły tę sytuację. Rozwój technologiczny prowadzony w ciągu następnych kilku lat przyniósł owoce w postaci **wzrostu gęstości prądu** generowanego przez ogniwo o przeszło

1 A/cm² i równocześnie ponad 100-krotną **redukcję zużycia platyny**. Owe osiągnięcia przyczyniły się do **ogromnej redukcji kosztów produkcji ogniwa** w przeliczeniu na kilowat generowanej mocy.

Cele firmy Ballard-wprowadzenie do masowej produkcji pojazdów zasilanych ogniwami paliwowymi

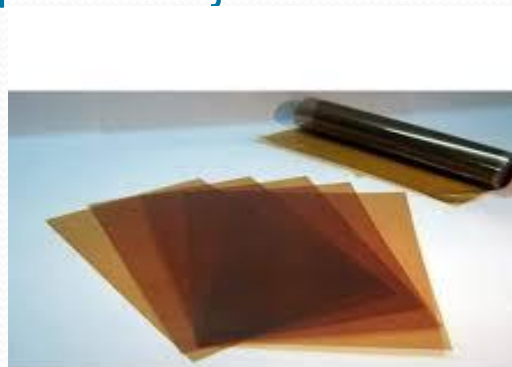
- zwiększenie **trwałości i wydłużeniu czasu życia** ogniwa,
- zwiększenie zdolności związanych z **zimnym startem ogniwa**,
- zwiększenie **gęstości mocy stosu** ogniw,
- obniżenie **kosztów produkcji**,
- obniżenie **kosztów eksploatacji**.

Komponenty ogniw PEM

- Elektrolit
- Katoda
- Anoda
- Interkonektor (płyta bipolarna)

Elektrolit- membrana polimerowa

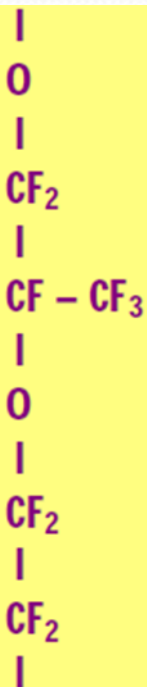
Wczesna wersja ogniwa PEM, zastosowana przez NASA w misji Gemini, miała długość życia szacowaną na około 500 godzin, ale była to wartość zadowalająca dla misji wczesnego podboju kosmosu. Program rozwoju tego typu ogniw został kontynuowany we współpracy z nowym typem polimerowej membrany nazwanej w roku 1967 jako **Nafion** i zarejestrowanej pod znakiem handlowym **firmy Dupont**. Ten rodzaj membrany stał się standardem dla ogniw typu PEM i jest nim do dnia dzisiejszego.



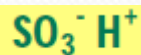
Elektrolit- membrana polimerowa



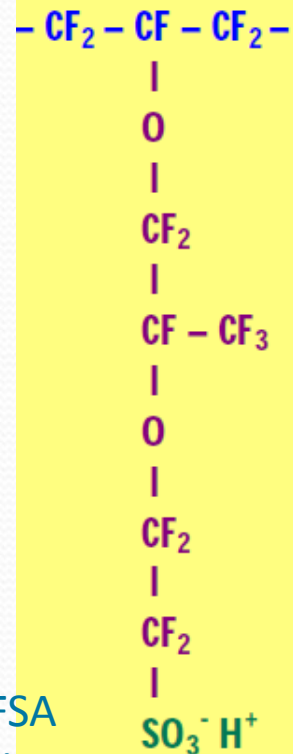
powtarzalna jednostka podobna do Teflon'u® występująca wzdłuż, będąca fluoro-węglową (ang. fluorocarbon) podbudową



stanowi boczny łańcuch podbudowy służący do połączenia z trzecim regionem



dzięki ostatniej grupie składającej się na PFSA (ang. poliperfluorosulfonic acid), czyli grupie jonów mogących się swobodnie poruszać w membranie, ma ona właściwości protonowymienne i może być używana w ogniwach jako elektrolit.



Elektrolit- membrana polimerowa

Problem **zwilżania wodą membrany**, mający związek z niezawodnością pracy ogniwa, spowodował, że NASA do misji Apollo wybrała konkurencyjne **alkaliczne ogniwo paliwowe (AFC)**.

General Electric zaprzestał wówczas dalszego rozwoju tych ogniw prawdopodobnie ze względu na wyższe koszty w porównaniu z innymi rodzajami ogniw, między innymi z ogniwami o elektrolicie w postaci kwasu fosforowego (Phosphoric Acid Fuel Cell). W tym czasie zużycie platynowego katalizatora wynosiło 28 mg/cm^2 elektrody, co można porównać do $0,2 \text{ mg}$ w czasach współczesnych.

Elektrody

Najlepszym katalizatorem obydwu elektrod ogniw PEM jest **platyna**.

W początkowej fazie rozwoju wykorzystywano około **28 mg/cm²** tego kruszcu.

To duże zapotrzebowanie doprowadziło do powstania mitu, że platyna stanowi główny koszt produkcji ogniw PEM. W ostatnich latach zużycie platyny **zmałało poniżej 0,2 mg/cm²**, z jednoczesnym wzrostem mocy generowanej z jednostki powierzchni. W związku z tym koszt platyny w przeliczeniu na 1 kW mocy wynosi około **10 \$** i stanowi jedynie niewielki ułamek całkowitego kosztu produkcji.

Elektrody

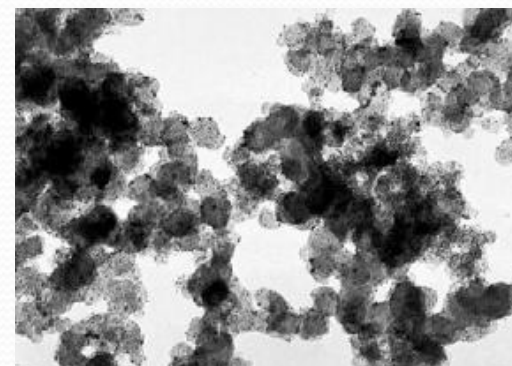
Elektrody produkowane przez firmę Ballard zawierają **0,6 mg/cm² platyny – katoda** oraz **0,25 mg/cm² platyny i 0,12 mg/cm² rutenu – anoda**. Ruten został wprowadzony w celu zwiększenia odporności anody na zatrucie CO i CO₂, co umożliwia pracę ogniw PEM nie tylko na czystym wodorze, ale także na paliwach pochodzących z reformingu (zawierających tego typu zanieczyszczenia).

Główna struktura elektrod w różnych ogniw paliwowych PEM jest bardzo podobna. Anoda i katoda w większości przypadków są identyczne.

Katalizator platynowy jest formowany w postaci małych kuleczek

nanoszonych na powierzchnię o wiele większego proszku grafitowego, z którego wykonane są elektrody. Proszek ten o nazwie **XC72 (® Cabot)**

jest obecnie powszechnie używany



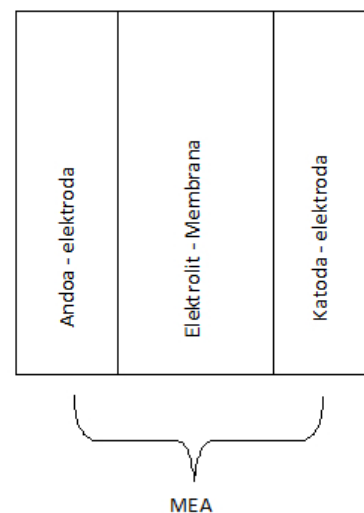
Struktura katalizatora

Elektroda- membrana (MEA)

Sposoby wytworzenia złożenia *elektroda- membrana (MEA)*:

metoda separacji elektrod polega na tym, że proszek grafitowy z naniesionym katalizatorem jest nakładany na obydwie strony papieru węglowego, który stanowi mechaniczny szkielet elektrody. Ze względu na swoje właściwości związane z przepuszczaniem gazów papier ten jest nazywany *warstwą przepuszczającą gazy* (*ang. gas diffusion layer*). Dodawany jest także PTFE (politetrafluoroetylen) w celu poprawy własności elektrod związanych z odprowadzaniem wytworzonej wody.

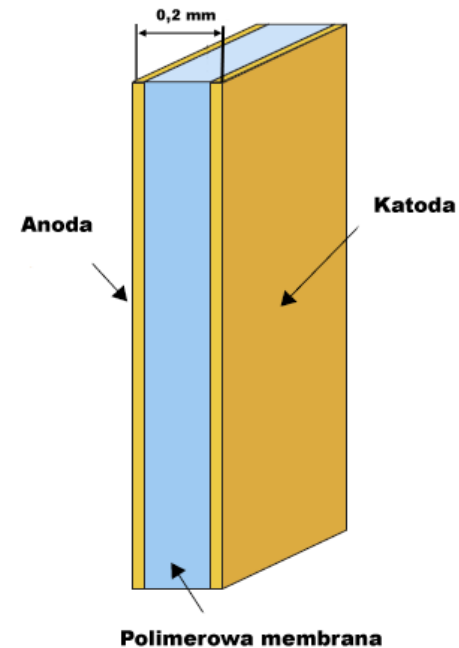
Następnie pomiędzy elektrody wkładana jest membrana polimerowa i całe złożenie jest prasowane pod dużym ciśnieniem w temperaturze 140 °C przez 3 minuty.



Elektroda- membrana (MEA)

Budowanie elektrod bezpośrednio na elektrolicie.

Polega ona na bezpośrednim nanoszeniu proszku grafitowego na materiał membrany polimerowej. Często (ale nie zawsze) dodaje się do niego również niewielkie ilości PTFE. Następnie mieszankę tę nanosi się na powierzchnię membrany metodą rolowania, metodą natrysku lub za pomocą procesu drukowania. W tym przypadku konieczne jest również zastosowanie papieru węglowego o grubości 0,2 – 0,5 mm, takiego samego, jakiego używa się do produkcji oddzielnych elektrod. Papier ten jednak pełni nie tylko rolę strefy przepuszczającej gazy, ale przede wszystkim mechanicznego szkieletu, na którym zbierany jest prąd. Papier węglowy nie zawsze musi stanowić integralną całość ze złożeniem elektrody – membrana.



PTFE

PTFE (POLITETRAFLUOROETYLEN) jest polimerem fluorowym, czyli wysokosprawnym termoplastem zaliczanym do najbardziej stabilnych termicznie tworzyw sztucznych (temperaturowy zakres pracy jest bardzo szeroki, wynosi od -200°C do $+260^{\circ}\text{C}$). Posiada wysoką odporność na działanie niemal wszystkich znanych pierwiastków i związków chemicznych wraz z uwzględnieniem rozpuszczalników. Doskonała izolacyjność elektryczna i najniższy współczynnik dielektryczny spośród wszystkich tworzyw sztucznych są właściwościami istotnymi dla zastosowań w elektrotechnice, a zwłaszcza w technice wysokiej częstotliwości.

Papier węglowy

Struktura papieru węglowego produkowanego przez firmę Ballard, który jest wytwarzany w postaci jumbo rolli o szerokości 0,8 m i długości dochodzącej do 500 m.



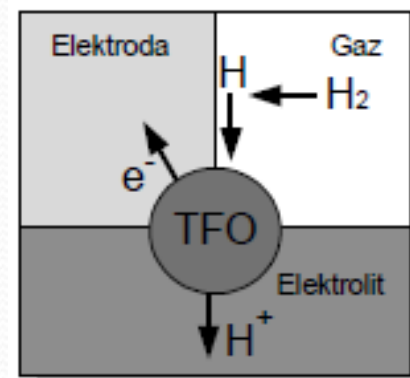
Struktura i sposób dystrybucji papieru węglowego

Obszar trójfazowy

Reakcje elektrodowe występujące w ogniwach paliwowych opisuje się wprowadzając trójfazowy obszar TFO.

TFO - obszar, w którym zdysocjowane atomy wodoru uwalniają elektron przechodzący przez elektrodę i jednocześnie rozpuszczają się w elektrolicie (w przypadku anody)

lub obszar, w którym zjonizowany wodór reaguje z tlenem pochodzącym z fazy gazowej i elektronem z elektrody (w przypadku katody). Jedno z kluczowych rozwiązań technologicznych do produkcji udanych ogniw paliwowych zakłada **obecność wielu trójfazowych obszarów.**



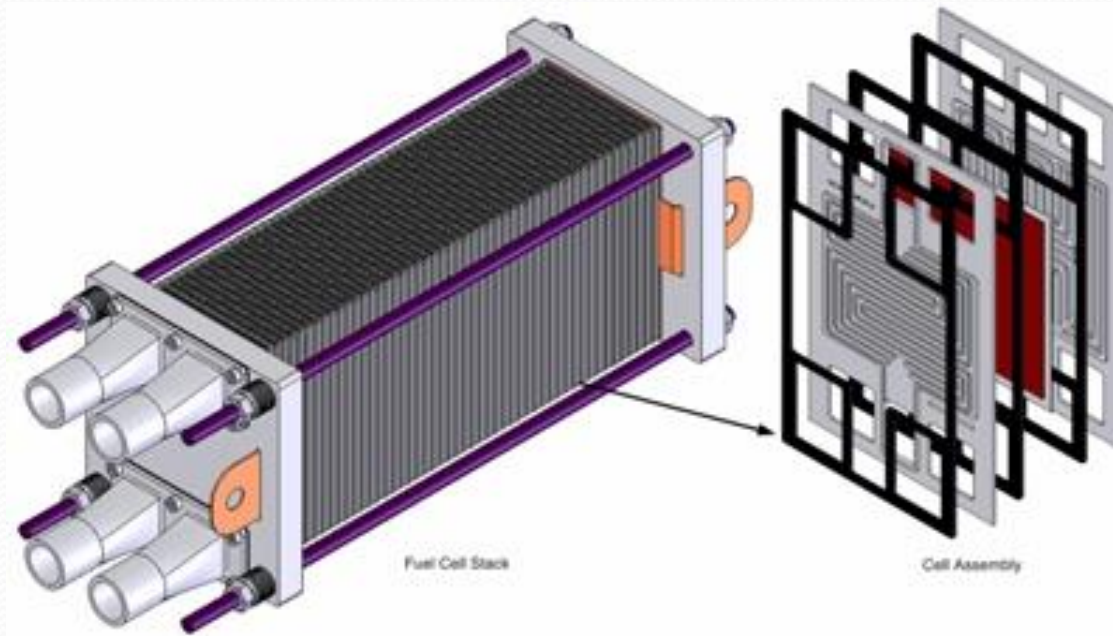
obszar trójfazowy dla anody

Płyty bipolarne i łączenie w stos

Siła elektromotoryczna pojedynczego ogniwa wynosi około 1V lub mniej, a natężenie prądu elektrycznego w obwodzie zależy od czynnej powierzchni elektrod. Napięcie można zwiększać łącząc ze sobą szeregowo wiele takich ogniw. Takie szeregowe połączenie wielu komórek jest nazywane **stosem ogniw paliwowych** i może zawierać dziesiątki, a nawet setki pojedynczych ogniw. Najczęściej spotykanym sposobem łączenia ogniw w stos jest wykorzystanie tzw. **płyt bipolarnych**.

Głównym zadaniem płyt bipolarnych w ogniwie paliwowym jest równomierne rozprowadzenie paliwa i utleniacza po całej powierzchni każdej z elektrod. Ponadto łączą elektrycznie elektrody pojedynczych komórek oraz są elementami konstrukcyjnymi stosu ogniw paliwowych.

Ogniwa paliwowe- stos



Pojedyncze cele ogniw polimerowych tworzące stos o większej mocy i generowanym napięciu.

Interkonektory (płyty bipolarne)

Materiały, z których są wykonywane płyty bipolarne, muszą charakteryzować się *dobrym przewodnictwem ciepła i prądu*.

Właściwości jakimi powinien charakteryzować się materiał wykorzystywany na bipolarne płyty:

- przewodność elektryczna większa niż 10 S/cm ,
- przewodność cieplna musi przekraczać $20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ w przypadku istnienia wewnętrznych kanałów chłodzących i $100 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ w przypadku oddawania ciepła tylko przez powierzchnie boczne płyty,
- przepuszczalność gazów musi mniejsza niż $10^{-7} \text{ mbar}\cdot\text{l/s}\cdot\text{cm}^2$,
- odpowiednia sztywność; wytrzymałość na zginanie większa niż 25MPa ,
- najniższy możliwy koszt materiału

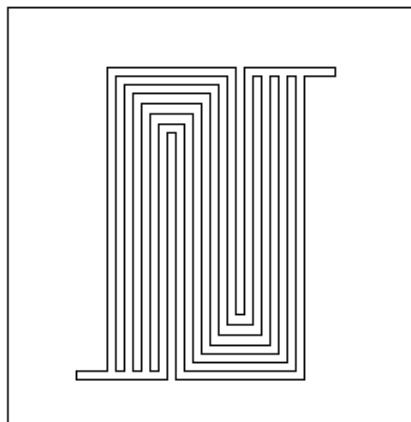
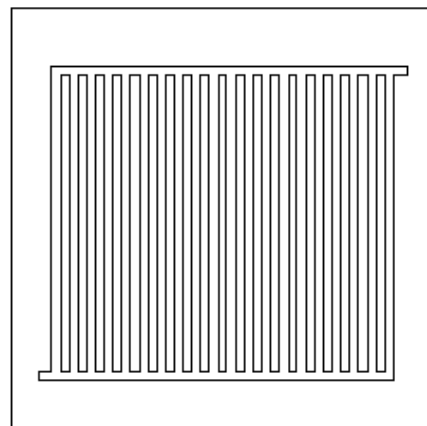
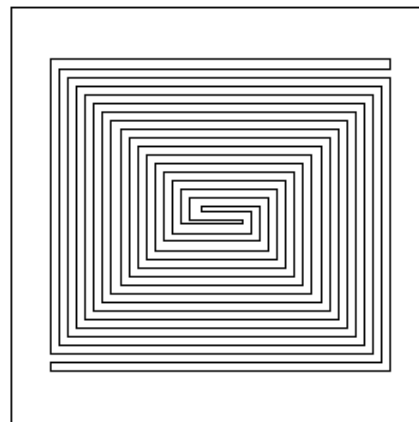
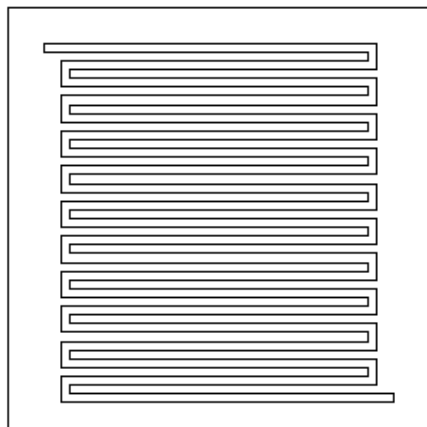
Interkonektory (płyty bipolarne)

Płyta bipolarna powinna:

- być możliwie jak **najcieńsza** w celu minimalizacji objętości stosu ogniw,
- być możliwie jak **najlżejsza** w celu minimalizacji ciężaru stosu,
- mieć jak **najkrótszy proces wytwarzania**.

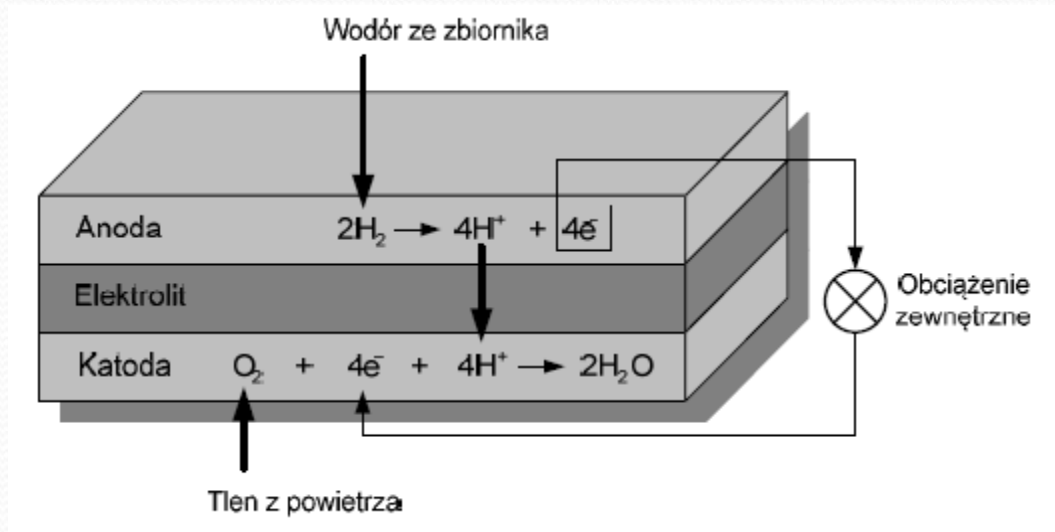
W związku z powyższymi wymaganiami płyty bipolarne są obecnie wykonywane z **grafitu, stali nierdzewnych lub kompozytów polimerowo węglowych**.

Interkonektory (płyty bipolarne)



Przykładowe kształty kanałów wycinanych w płytach bipolarnych.

Zasada działania ogniwa PEM



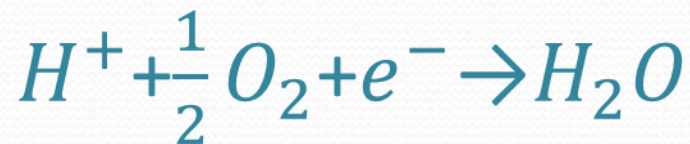
Reakcja sumaryczna ma postać:



Cząsteczka wodoru jest adsorbowana dysocjacyjnie w pobliżu pokrytej katalizatorem anody do postaci atomów wodoru. Wówczas następuje rozszczepienie atomu wodoru na proton i elektron



Protony przepływają przez elektrolit. Elektrony zaś tworzą odrębny obieg prądu, który może być wykorzystany przed dojściem do katody, gdzie z protonów i tlenu powstają cząsteczki wody.



Napięcie otwartego obwodu jest opisane równaniem:

$$E = \frac{RT}{2F} \ln \frac{p_{H_2}(anoda)}{p_{O_2}(katoda)}$$

R jest stałą gazową, T jest temperaturą pracy ogniwa, F jest stałą Faraday'a, $p_{H_2}(anoda)$ jest ciśnieniem cząstkowym wodoru w pobliżu anody, a $p_{O_2}(katoda)$ jest ciśnieniem cząstkowym tlenu w pobliżu katody.

Jeśli reakcja wyrażona równaniem: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ jest w pobliżu katody w równowadze, E jest określone przez:

$$E = E_0 + \frac{RT}{2F} \ln \left[\frac{(p_{H_2}(anoda) \sqrt{p_{O_2}(katoda)})}{p_{H_2O}(katoda)} \right]$$

E_0 jest określona za pomocą normalnej energii wymiany Gibbs'a

$$E_0 = -\frac{\Delta G}{2F}$$

G_0 może być zamieniona na energię elektryczną.

Napięcie ogniwa

Napięcie ogniwa opisuje równanie:

$$\gamma = E - IR - |\eta(\textit{anody})| - |\eta(\textit{katody})|$$

I jest prądem przepływającym przez ogniwo, R jest rezystancją elektryczną ogniwa, natomiast η jest nadpotencjałem, który powoduje straty napięcia.

Równanie Nernsta

Siła elektromotoryczna lub napięcie odwracalne ogniwa paliwowego dana jest przez równanie Nernsta:

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln[Me^{n+}]$$



E - potencjał elektrody [V]

E° - standardowy potencjał elektrody [V]

$[Me^{n+}]$ - stężenie molowe jonów metalu w półogniwie [mol/dm^3]

Równanie Nernsta

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

W temperaturze 25 °C $RT/F = 0,0257 \text{ V} = 25,7 \text{ mV}$

$$E = E^{\circ} - \frac{25,7\text{mV}}{n} \ln Q$$

Gdy w 25 °C $n = 2$ wówczas $RT/(nF) = 0,0129 \text{ V} = 12,9 \text{ mV}$

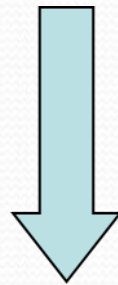
$$E = E^{\circ} - 12,9\text{mV} \times \ln Q$$

Q- iloraz aktywności produktów i substratów reakcji.

Równanie Nernsta

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

logarytm naturalny

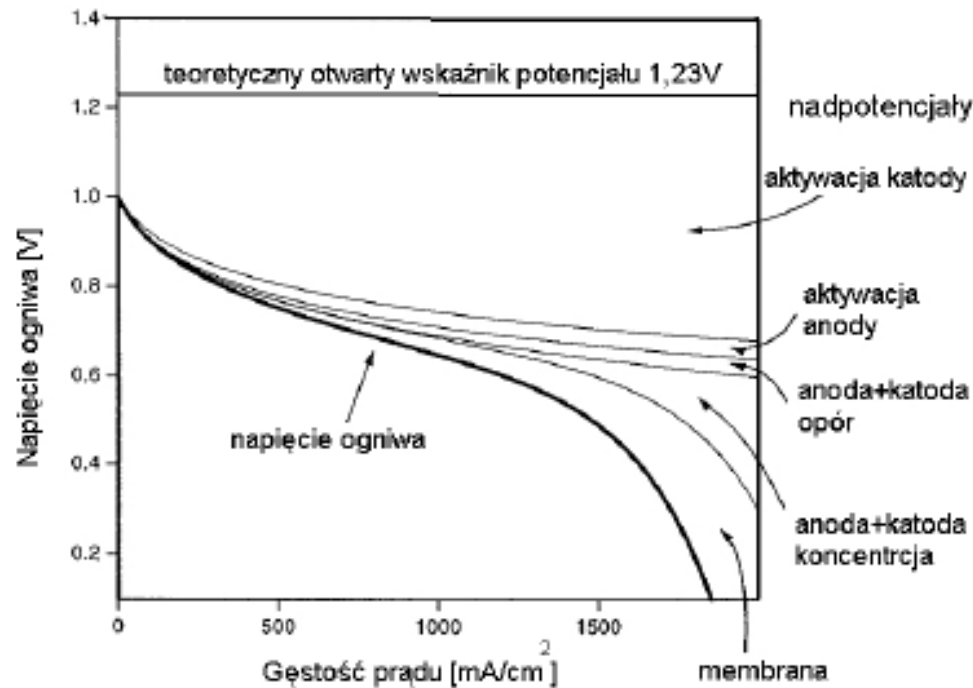


$$E = E^{\circ} - \frac{2,303RT}{nF} \log Q$$

logarytm dziesiętny

Sprawność rzeczywista ogniwa

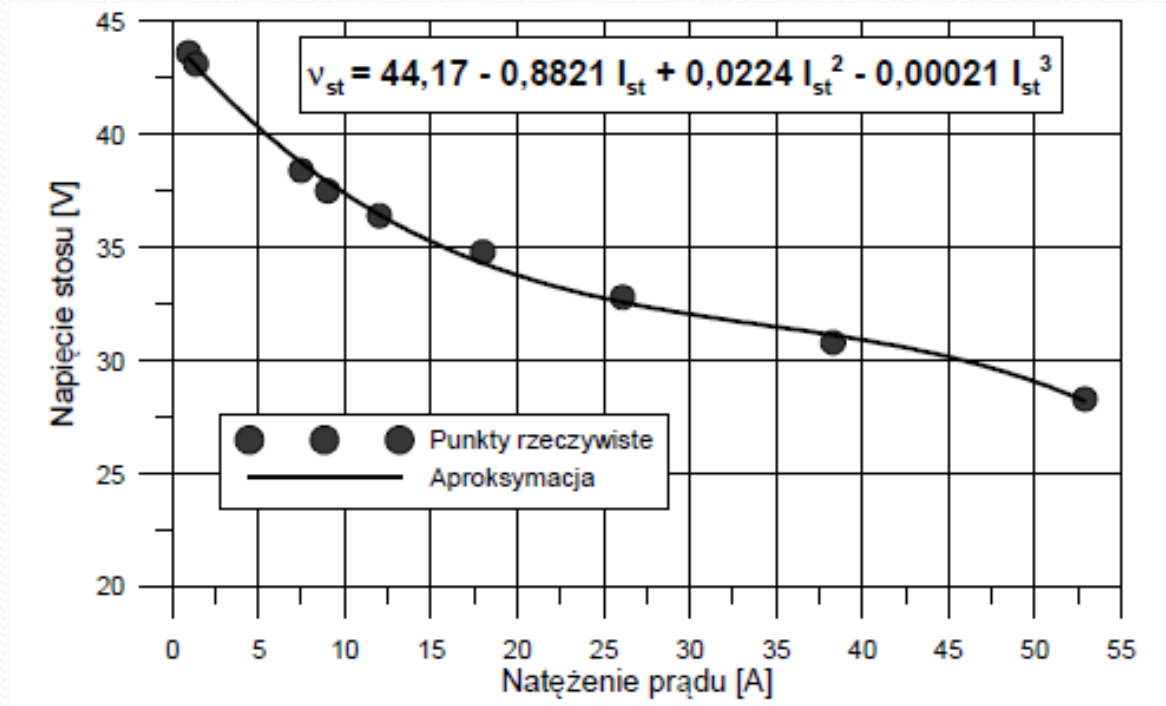
Rzeczywista sprawność jest wynikiem **strat napięcia ogniwa**, których obszary występowania pokazano na rysunku



Teoretyczne napięcie ogniwa i rejony strat napięcia

Krzywa polaryzacji

Najważniejszą charakterystyką opisującą właściwości ogniwa paliwowego jest tzw. **krzywa polaryzacji**. Przedstawia zależność napięcia wytwarzanego przez ogniwo w zależności od prądu obciążającego. Kształt krzywej polaryzacji zależy od wielkości strat w poszczególnych regionach.

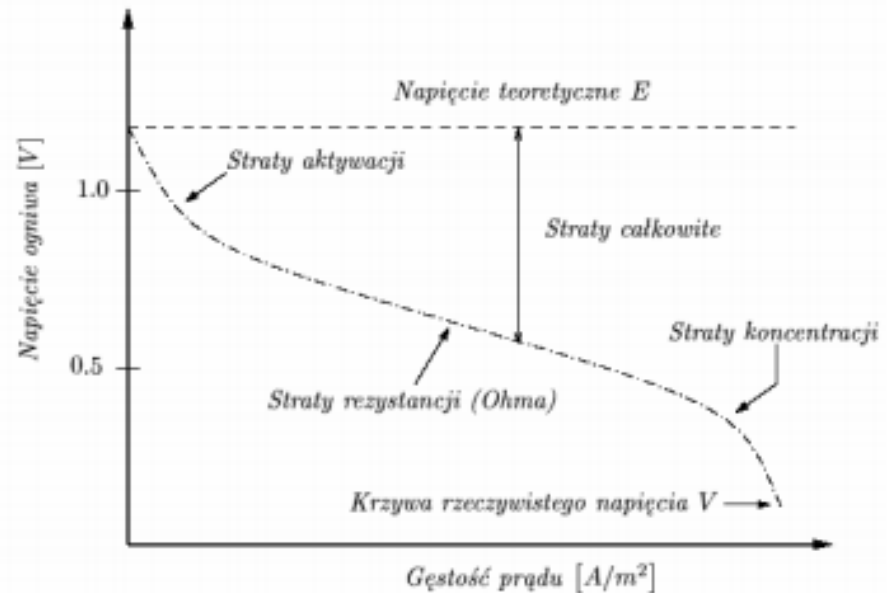


Idealna i rzeczywista charakterystyka ogniwa paliwowego

Polaryzacja aktywacyjna- straty energii związane z szybkościami reakcji elektrodowych, zmienia się liniowo z log gęstości prądu.

Polaryzacja omowa- proporcjonalna do gęstości prądu.

Polaryzacja stężeniowa- dla najwyższych gęstości prądu.



W przypadku ogniw paliwowych straty napięciowe mogą dotyczyć również innych zjawisk np. przenikania paliwa w obszar katodowy, czy też pojawiania się na jednej z elektrod produktów reakcji (tzw. starty nernstowskie).

Zastosowanie ogniw paliwowych



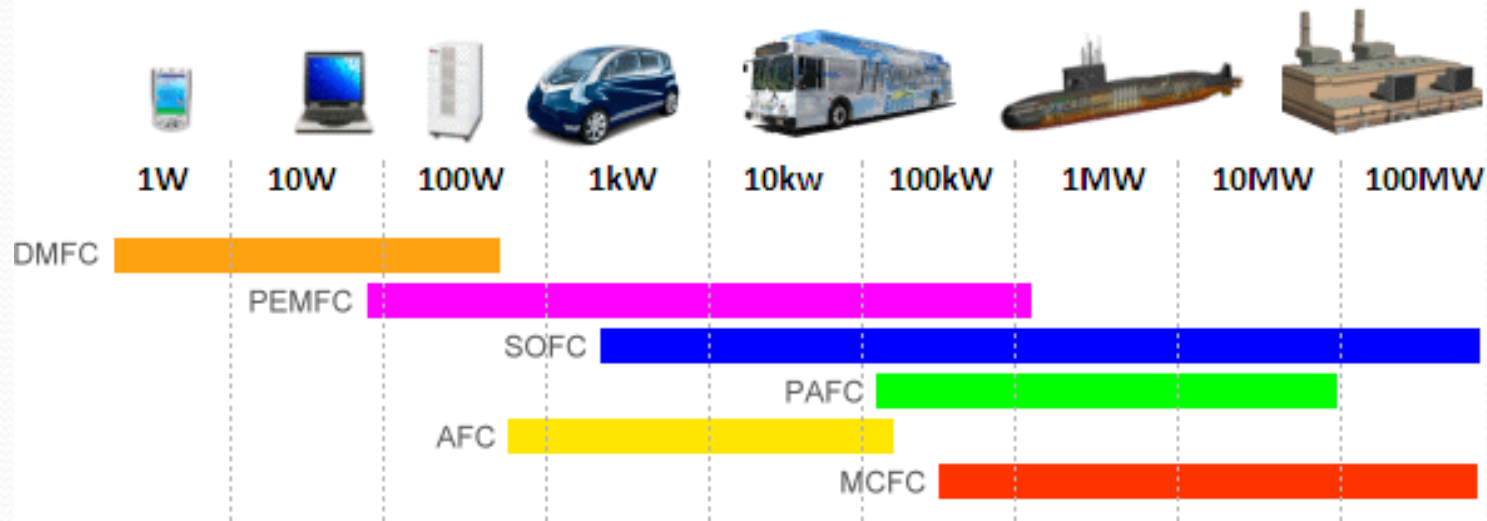
Stationary



Mobile



Portable



Zastosowanie ogniw paliwowych

- **Układy przenośne małej mocy elektrycznej (poniżej 0,5 kWe)**, oparte na ogniwach PEMFC i DMFC (zdalne urządzenia, laptopy, telefony komórkowe, aparaty fotograficzne itd.)
- **Stacjonarne układy małej mocy w przedziale od 1 kWe do 10 kWe**, głównie oparte na ogniwach PEMFC i SOFC do zastosowań domowych i użyteczności publicznej (pralnie, zasilanie awaryjne, sygnalizacja świetlna itp.)
- Ogniwa PEMFC **w sektorze transportu w zakresie mocy 50-100 kWe i wyższej** (samochody osobowe, autobusy, pojazdy ciężkie czy wózki widłowe),
- **Stacjonarne układy średniej mocy (od 10 kWe do 200 kWe i wyżej)**, mające zastosowania komunalne i inne (szkoły, szpitale, komisariaty policji, budynki przemysłowe, centra obliczeniowe, terminale lotnicze, utylizacja odpadów, małe elektrownie i obiekty wojskowe)
- **Stacjonarne układy energetyczne dużej mocy (powyżej 1 MW)**. Ogniwa te zasilają elektrownie, dostarczając energię w układach skojarzonych i kombinowanych (obecnie trochę powyżej 10 MW) oraz duże zakłady przemysłowe

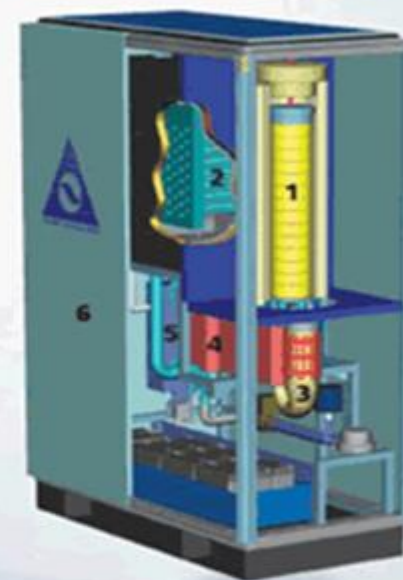
Zastosowanie

Ogniwa paliwowe doskonale nadają się do kogeneracji (skojarzona gospodarka energetyczna lub **CHP - Combined Heat and Power**), czyli jednoczesnej produkcji energii i ciepła dla budynków mieszkalnych.



System firmy Ballard

Combined Heat & Power (micro-CHP) domestic demonstration unit



- 1 – Fuel cell generator stack
- 2 – Hot water storage tank
- 3 – Heat exchanger & burner
- 4 – Fuel / air pre-treatment
- 5 – Waste heat recovery
- 6 – Mains power converter & controls

Generator CHP firmy CFC Ltd. wraz z reformatorem.

Zastosowanie- robotyka

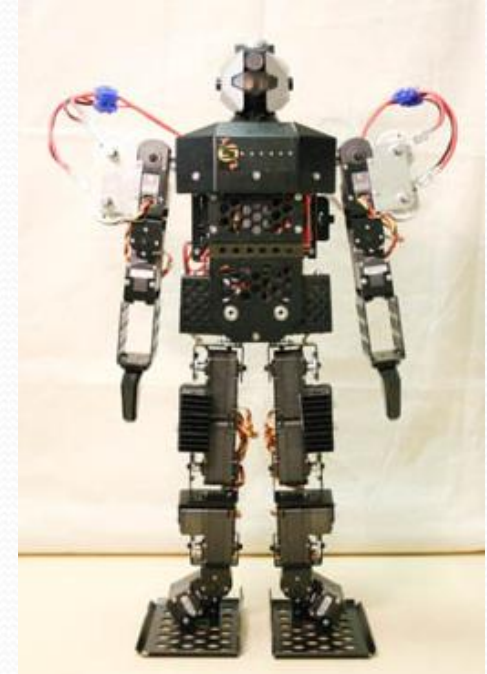
Robotyka jest dziedziną w której wydajne źródło energii jest sprawą ważną, zwłaszcza dla robotów mobilnych, zasilanych niezależnym źródłem energii. Parametry takie jak waga/objętość, sprawność, jakość dostarczanej energii mają znaczny wpływ na konstrukcję robotów i na parametry pracy robota. Ogniwa paliwowe zapewniają pewne źródło energii, zdolne do zasilania układów elektrycznych stosowanych w robotyce. Jednocześnie **masa systemu zasilania, opartego na technologii ogniw paliwowych jest relatywnie mała w stosunku do ilości wytwarzanej energii.** Ze względu na wymienione zalety, ogniwa paliwowe szybko znalazły zastosowanie jako źródło napędu w robotyce

Zastosowanie- robotyka

Specys-FC to pierwszy na świecie robot napędzany ogniwami paliwowymi. Robot zbudowany w japońskiej firmie Specys (zarządzanej przez Tomoaki Kasuga - byłego inżyniera robotyki w firmie Sony) ma 52,5 cm wysokości i waży 4.2 kg.

Robot napędzany jest 5 ogniwami paliwowymi umieszczonymi w ramionach robota. Paliwo przechowywane jest w 16 litrowym zbiorniku umieszczonym w karku. Robot sterowany jest za pośrednictwem komputera PC, drogą bezprzewodową. Robot jest przeznaczony do upowszechniania technologii ogniw paliwowych na uniwersytetach technicznych i w jednostkach badawczych.

Specys-FC pobiera 1 litr wodoru na każde 2 minuty aktywności



<http://www.asimo.pl/modele/specys.php>

Zastosowanie- robotyka

Guardrobo D1

Dzięki ogniwowym paliwowym może pracować non stop przez tydzień.

Robot wysoki na 109 cm alarmuje poprzez radio personel złożony z ludzi oraz wysyła im zdjęcie ewentualnych złodziei, pożaru, a nawet przeciekającej wody. Urządzenie wykrywa intruzów z odległości 8 metrów, zaś pożar zauważa gdy jest od niego oddalony nie więcej niż 10 . Jest w stanie zapalać światła i wymawiać na głos słowa "thief" (złodziej) i "wait" (stój).

Ostatnia wersja robota - strażnika napędzana jest ogniwami paliwowymi, które umożliwiają mu bezustanną pracę przez 1 tydzień, bez międzytankowania. Poprzedni robot zasilany był bateriami i mógł pracować przez 2,5 godziny (przerywane 3 godzinnym czasem ładowania).



<http://www.asimo.pl/modele/speecys.php>

Pierwsze seryjnie produkowane auto na wodór- Japonia 2014



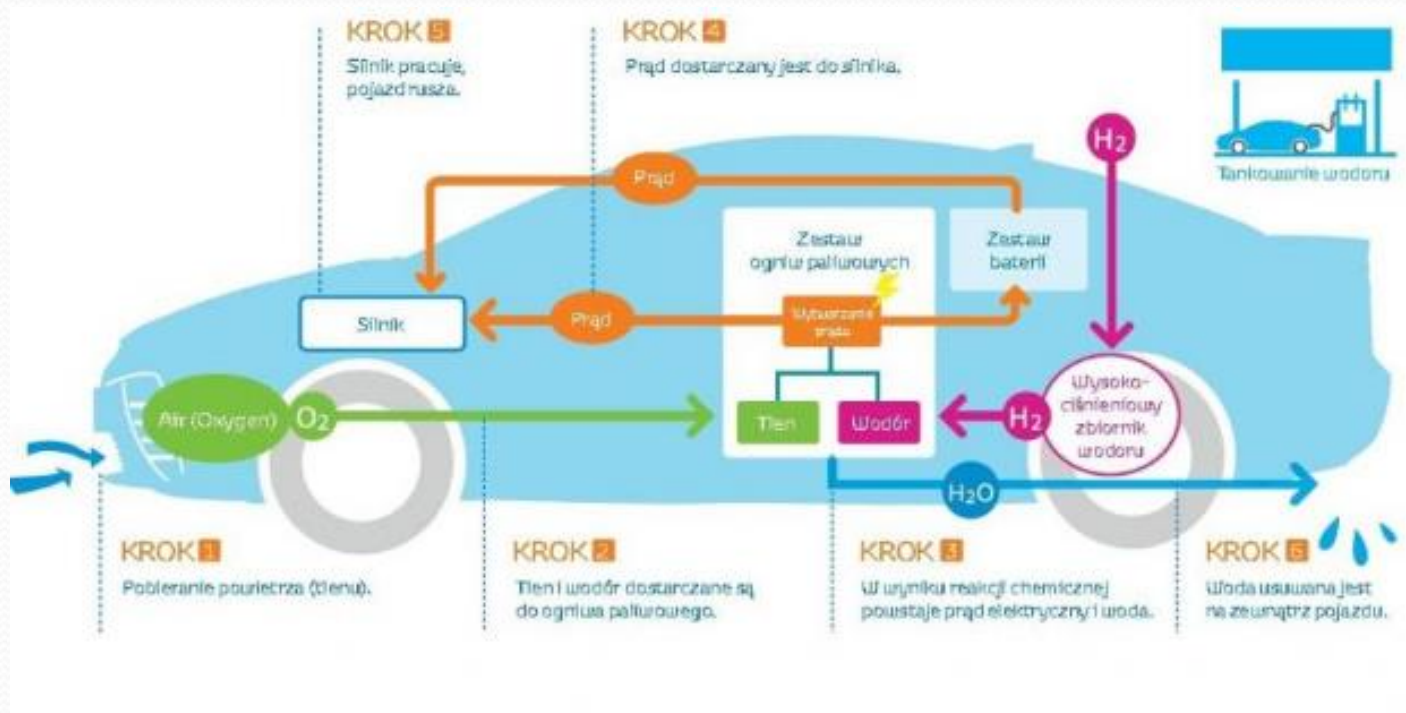
Toyota Mirai, ok.45 tyś.\$

Ogniwa paliwowe zasilają silnik elektryczny o mocy 154 KM.

<https://www.toyota.pl/new-cars/mirai/#/video/tfv2-1-0>

<https://www.toyota.pl/new-cars/mirai/#/video/tfv2-2-0>

Toyota Mirai



<https://auto.dziennik.pl/aktualnosci/artykuly/608574,toyota-mirai-wodor-hybryda-samochod-elektryczny-nowa-generacja.html>

Pierwszy polski samochód z napędem wodorowym – „Premier”, 2016r.

Wspólny projekt konstruktorów Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i naukowców Wojskowej Akademii Technicznej. Nad jego powstaniem przez pół roku pracowały 23 osoby.

Hybryda: prąd+wodór,
270 KM,
Napęd na 4 koła,
Ogniwo paliwowe,
Silniki elektryczne,
zbiornik na wodór oparty na
wodorkach metali

