

Ogniwa  
galwaniczne-  
pierwotne i wtórne.  
Ogniwa paliwowe.

DR INŻ. MONIKA TKACZUK-SERAFIN

# Ogniwa

---

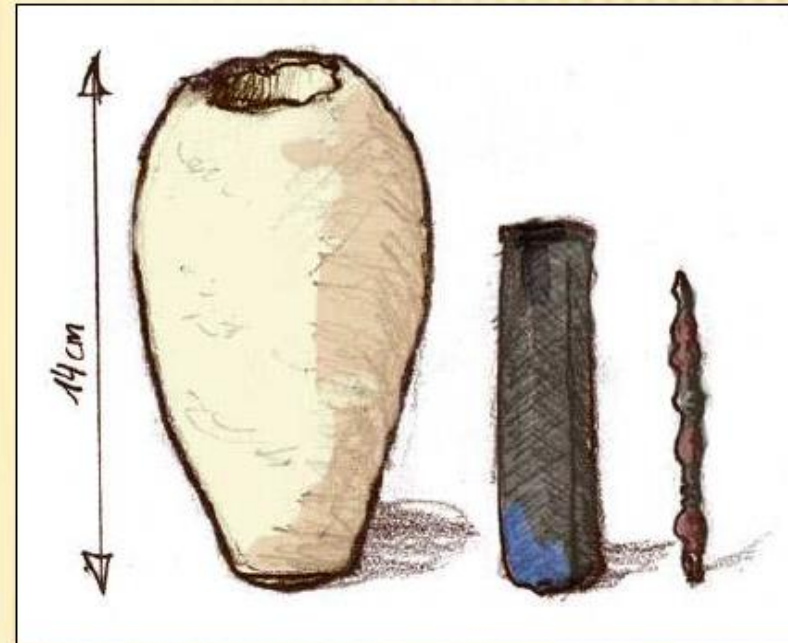
Wytwarzanie prądu elektrycznego w ogniwach osiągamy w wyniku reakcji chemicznej jakie zachodzą na elektrodach ogniwa. Tymi reakcjami są **reakcje utleniania i redukcji**, które zachodzą w izolowanych od siebie naczyniach. Przykładami ogniw są różnego rodzaju elektrochemiczne źródła energii dostępne w handlu (ogniwa, baterie, akumulatory).

W życiu codziennym stosujemy różne rodzaje ogniw, najczęściej o tym nie wiedząc. Zasilamy nimi radia, magnetofony, zegarki, kalkulatory i inne urządzenia elektroniczne. Pierwsze ogniwo skonstruował ok. 200 lat temu, w 1800 roku, włoski fizyk Alessandro Volta (1745-1827). Od tego czasu ogniwa przechodziły różne przeobrażenia zanim przybrały dzisiejszą postać.

# HISTORIA

Prawdopodobnie pierwsze ogniwa galwaniczne znane były już w III w p.n.e.

Pierwszym odkrytym ogniwem było znalezisko z 1936 r. w Chudżat Rabua (koło Bagdadu) dokonane przez niemieckiego archeologa - **Wilhelma Königa**

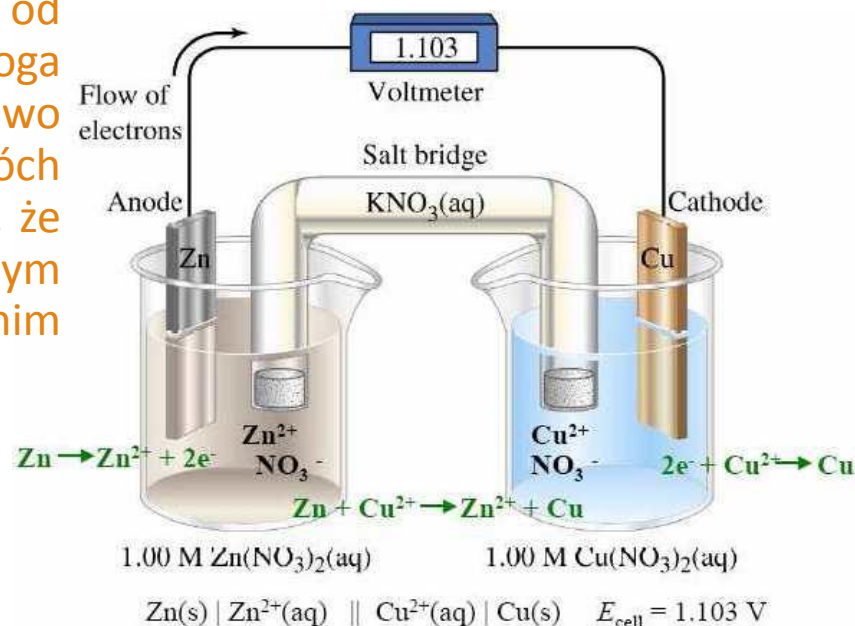


- było to naczynie z gliny zatkane korkiem osadzonym w asfalcie
- wewnątrz znajdował się skorodowany miedziany walec
- Koenig przypuszczał, że było to ogniwo galwaniczne
- opisał je w swojej książce
- niestety znalezisko Koeniga uległo zniszczeniu podczas II wojny światowej

**Ogniwo galwaniczne** – to układ, w którym zachodzi proces przemiany energii chemicznej w energię elektryczną, możliwą do zmierzenia i praktycznego wykorzystania.

- dwa półogniwa zanurzone w elektrolicie tworzą ogniwo galwaniczne
- różnica potencjałów półogniw, gdy przez ogniwo nie płynie prąd, jest równa sile elektromotorycznej ogniwa (SEM).

Nazwa "ogniwo galwaniczne" pochodzi od nazwiska włoskiego lekarza, fizyka i fizjologa Luigi Galvaniego (1737-1798). Ogniwo galwaniczne jest to układ złożony z dwóch półogniw (elektrod) i spełniający warunek, że po połączeniu półogniw zewnętrznym przewodnikiem metalicznym następuje w nim przepływ elektronów.

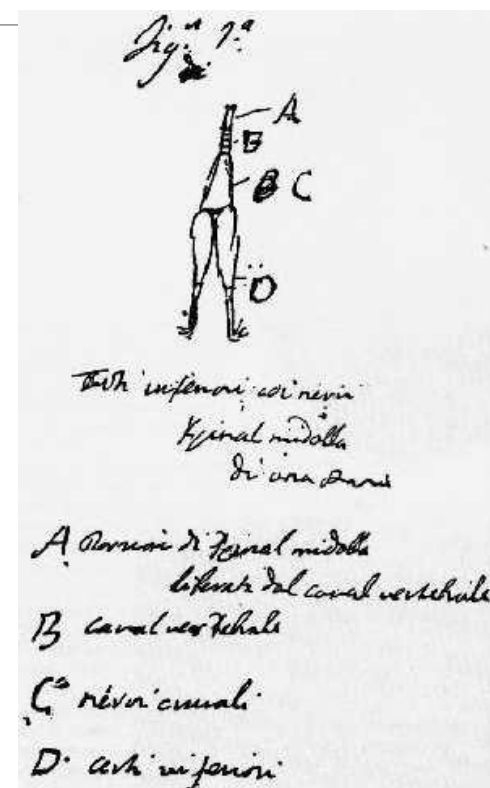
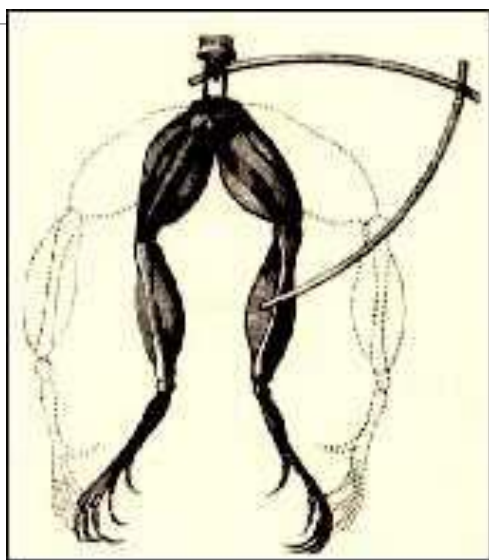


$\text{Zn} \mid \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \mid \text{KNO}_3 \mid \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \mid \text{Cu}$





Luigi Galvani (1737-1798)  
Włoski lekarz, fizyk i fizjolog.  
Profesor Uniwersytetu w Bolonii.  
Prekursor badań elektrofizjologicznych.



W 1786 roku Galvani dokonał słynnego odkrycia przy jednoczesnym dotknięciu mięśnia wypreparowanej kończyny żaby dwoma różnymi metalami - połączonymi ze sobą jednym końcem - mięsień kurczy się.

Strona z notatnika  
Galvaniego

# Rodzaje ogniw

---

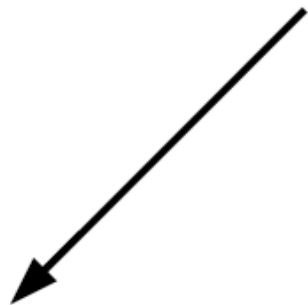
Ogniwa są podzielone na pierwotne i wtórne.

**Ogniwa pierwotne** po wyczerpaniu nie nadają się do dalszego użycia - elektrody zużywają się,

**Ogniwa wtórne** można zregenerować, ładując - „magazynowanie” jonów w elektrodach.

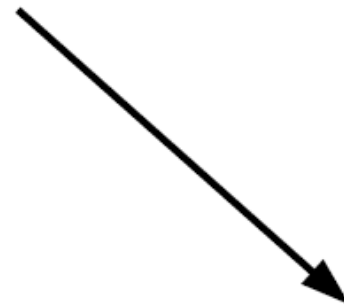
Przykładem ogniwa pierwotnego jest bateria alkaliczna.  
Ogniwami wtórnymi są akumulatory.

# Ogniwa elektrochemiczne



**BATERIE**

PIERWOTE



**AKUMULATORY**

WTÓRNE

# Ogniwo Volty

Alessandro Volta (1745-1827), fizyk,  
profesor na uniwersytetach w Como  
i Pavii we Włoszech.  
Jako pierwszy zbudował ogniwo  
galwaniczne.



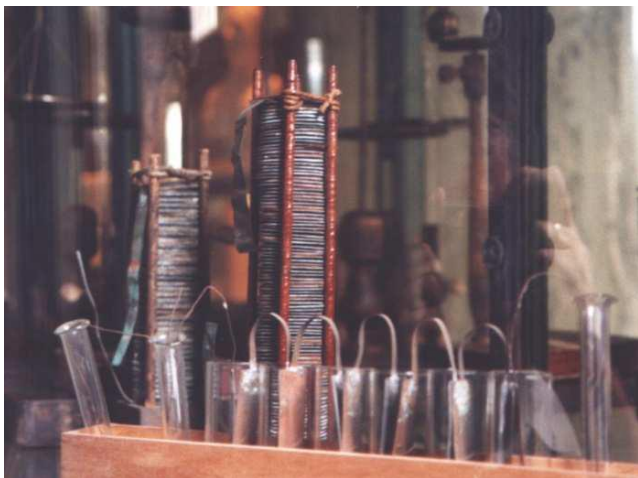


# Ogniwo Volty

Galvani odkrył, że mięsień kurczy się, gdy jest połączony z metalowymi drutami podczas uderzenia pioruna, a także gdy zostanie dotknięty dwoma różnymi połączonymi metalami. Galvani interpretował to zjawisko jako "**elektryczność zwierzęcą**", czyli wytwarzanie prądu przez organizmy zwierząt[2][3]. Alessandro Volta w 1791 roku powtarzał doświadczenia Galwaniego i wyjaśnił, że powstawanie prądu nie jest związane z organizmem żywym, lecz metalami zanurzonymi w elektrolicie, do badań napięcia wytwarzanego przez metale używał własnego języka. Określił szereg metali według wywoływanego efektu. Zbudował także pierwsze ogniwo zwane na jego cześć ogniwem Volty



# Ogniwo Volty



Alessandro Volta prezentuje ogniwo  
Napoleonowi  
(obraz G. Bertiniego z 1897 r.)  
muzeum Volty w Como

# Ogniwo Volty – SEM ok. 1,1 V

**budowa:**

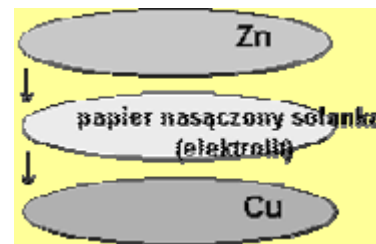
**blaszki Zn i Cu zanurzone w wodnym roztworze  $H_2SO_4$**

**Schemat ogniwa**



**Ogniwo Volty w pierwotnej wersji składało się:**

- 1. z ustawione w kolumnę monet dwóch rodzajów – miedzianych i cynkowych, ułożonych przemiennie jedna na drugiej**
- 2. oddzielonych (co druga) papierem nawilżonym w słonej wodzie**



*Pila di Volta*

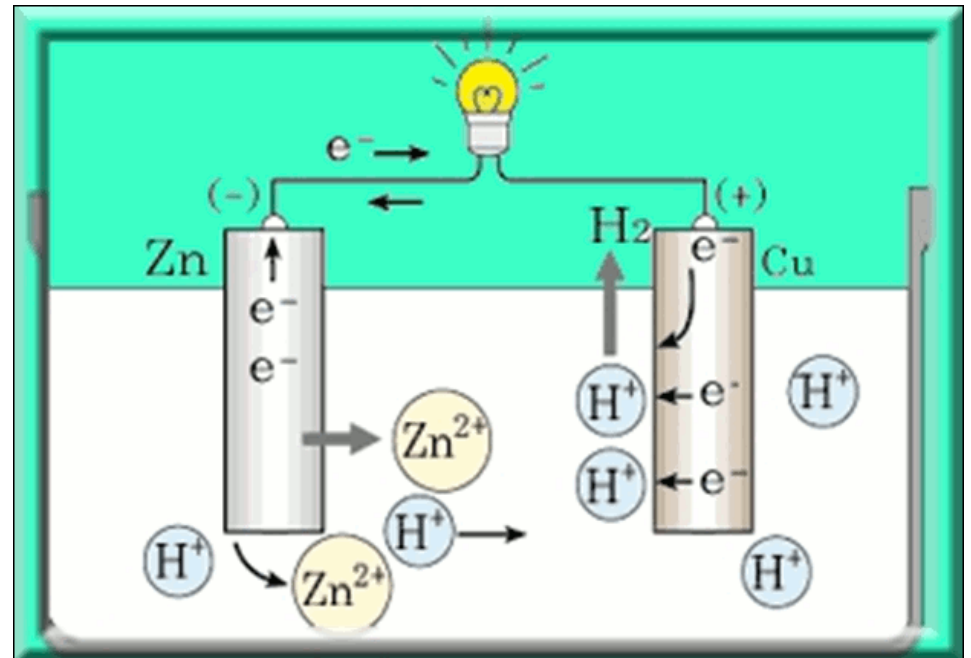
# Ogniwo Volty

W ogniwie tym elektroda cynkowa jest anodą, ulega utlenieniu (przechodzi do roztworu w postaci jonów  $Zn^{2+}$ ), natomiast na katodzie miedzianej jony wodorowe z roztworu kwasu redukują się do gazowego wodoru.

Anoda (Zn)  $Zn - 2e = Zn^{2+}$

Katoda (Cu)  $2H + + 2e = H_2$

$Zn + 2H^+ \rightarrow Zn^{2+} + H_2$





# Ogniwo Daniella

Układ złożony z dwóch półogniw nazywamy **ogniwem galwanicznym** lub krótko ogniwem.

Ogniwo galwaniczne jest urządzeniem, w którym kosztem energii reakcji chemicznych w nim zachodzących otrzymuje się energię elektryczną.

Najprostszym ogniwem galwanicznym jest OGNIWO DANIELLA



# Ogniwo Daniella

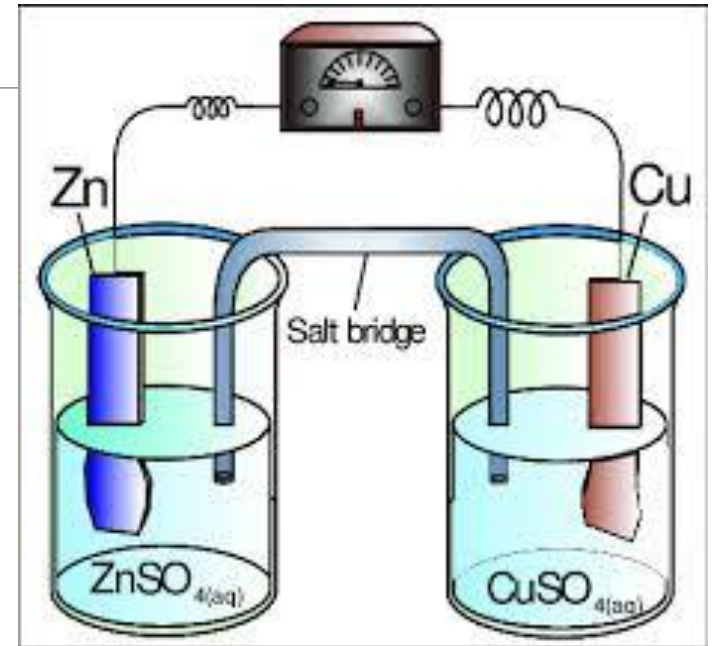
stworzone przez brytyjskiego chemika Johna Daniella w 1836 roku.

SEM = 1,13 V

Budowa:

dodatnią elektrodę stanowi miedź - zanurzona w  $\text{CuSO}_4$ ;

ujemną - cynk zanurzony w  $\text{ZnSO}_4$ ;



<https://www.youtube.com/watch?v=-hubJ9Z5x1o>

<https://www.youtube.com/watch?v=HIGITf-rhCE>



# Siła elektromotoryczna ogniwa

Wielkością charakteryzującą ogniwo galwaniczne, jest różnica potencjałów między elektrodami (ściślej różnica potencjałów wewnętrznych przewodów łącznikowych), wtedy gdy ogniwo jest w równowadze, a więc, gdy nie płynie przez nie prąd wypadkowy (ogniwo otwarte).

Siła elektromotoryczna ogniwa (*SEM*)

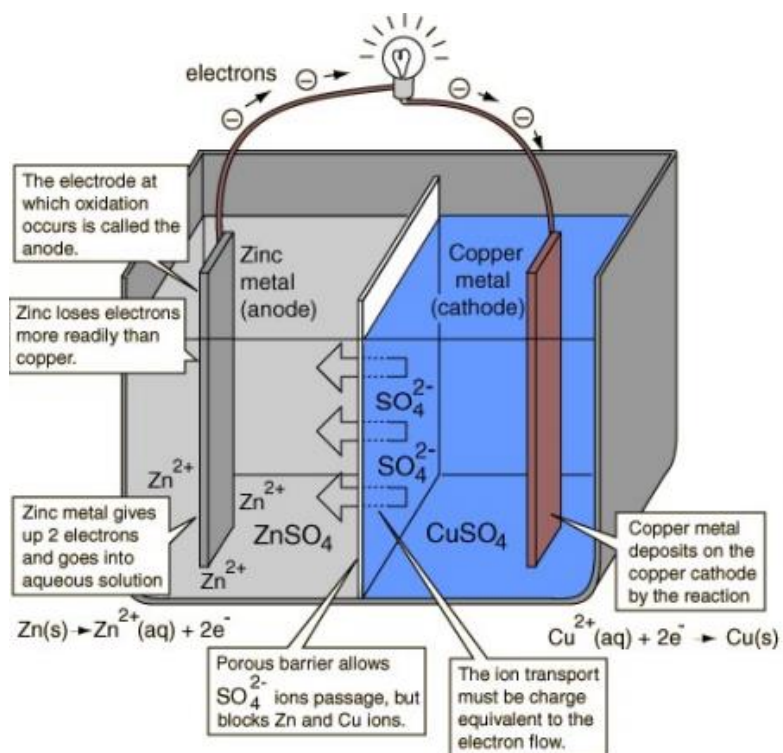
jest miarą zdolności reakcji ogniwa do spowodowania przepływu elektronów przez obwód.

SEM ogniwa definiuje się jako różnicę potencjałów elektrody dodatniej (o wyższej wartości potencjału  $E_{katoda}$ ) i ujemnej ( $E_{anoda}$ ) dla ogniwa otwartego, czyli takiego, w którym obwód elektryczny nie jest zamknięty, a opór między biegunami ogniwa jest nieskończenie wielki.

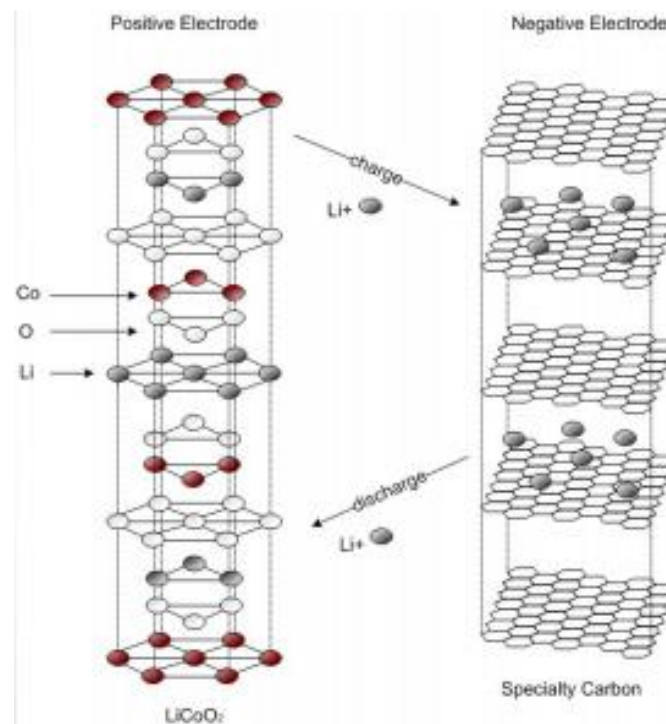
$$SEM = E_{katoda} - E_{anoda} = E$$

# Rodzaje ogniw

## Pierwotne



## wtórne



the electrodes are consuming

"Storage" of ions in electrodes

# Baterie, akumulatory

Producenci baterii (akumulatorów) zaprojektowali wiele różnych rozmiarów, napięć i obciążeń prądowych dla różnych specjalistycznych zastosowań. W przypadku zwykłych akumulatorów domowych standardowe rozmiary i właściwości elektryczne zostały ustalone przez American National Standards Institute (ANSI) i Międzynarodową Komisję Elektrotechniczną (IEC).

Najczęstsze rozmiary, podane w postaci ANSI (IEC), to R3/AAA, R6/AA (tzw. paluszek), R10, R14, R20 (o napięciu 1,5 V) lub baterie płaskie (o napięciu 4,5 V – trzy ogniwa R12 połączone szeregowo).



# Akumulator elektryczny

to ogniwa wtórne, rodzaj ogniwa galwanicznego, które może być wielokrotnie użytkowane i ładowane prądem elektrycznym (w przeciwieństwie do ogniw pierwotnych, których nie można ładować). Wszystkie rodzaje akumulatorów elektrycznych gromadzą i później uwalniają energię elektryczną. Proces ten jest odwracalny dzięki reakcjom chemicznym zachodzącym w elektrolicie oraz na styku elektrolitu i elektrod.

Wyróżnia się dwa cykle pracy:

- **ładowania**, podczas którego akumulator gromadzi energię, przetwarzając ją na energię chemiczną
- **pracy**, podczas którego akumulator uwalnia energię elektryczną ulegając przy tym stopniowemu rozładowaniu.

# Parametry pracy

Podstawowe parametry pracy akumulatora to:

---

- pojemność, podawana zwykle w Ah (amperogodzinach), 1 Ah = 3600C, 36 Ah oznacza, że akumulator może podawać prąd o natężeniu 1A przez okres 36 godzin
- napięcie pracy, zwykle 12V lub 24V

Akumulatory ze względu na budowę i zasadę działania można dalej dzielić na:

- kwasowo-ołowiowe
- niklowo-kadmowe NiCd
- niklowo-metalowo-wodorkowe NiMH
- litowo-jonowe Li-jon
- litowo-polimerowe

# Akumulator kwasowo-ołowiowy (akumulator Plantego)

---

Najpopularniejszy typ akumulatora stosowany już od ponad 100 lat. Składa się z ogniów wykonanych z ołowiu, przy czym jedną elektrodę ujemną (anodę) stanowi gąbczasty ołów, a elektrodę dodatnią (katodę) tlenek ołowiu  $PbO_2$ . Elektrody zanurzone są w roztworze kwasu siarkowego  $H_2SO_4$  o stężeniu  $>30\%$ . Na elektrodach w czasie rozładowywania akumulatora zachodzą reakcje utleniania i redukcji.





# Akumulator kwasowo-ołowiowy (akumulator Plantego)

---

akumulator kwasowo-ołowiowy (akumulator Plantego) – elektrolitem jest roztwór kwasu siarkowego, elektroda (-) wykonana jest z ołowiu (z dodatkami) w formie siatki, zaś elektroda (+) jest wykonana z tlenku ołowiu(IV)  $PbO_2$  immobilizowanego na ramce ołowianej – tego rodzaju akumulatory są masowo wykorzystywane w samochodach. Zaletą akumulatora ołowiowego jest zdolność rozładowania dużym prądem przez krótki czas, prostota układu ładowania, niska cena w stosunku do pojemności. Wadą jest znaczna masa przypadająca na jednostkę pojemności.

# AKUMULATOR OŁOWIOWY ( $U = 2,23 \text{ V}$ )

najbardziej popularne odnawialne źródło prądu elektrycznego



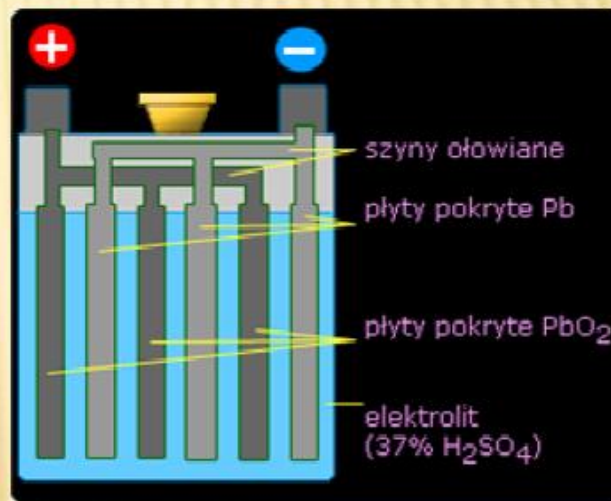
ANODA:

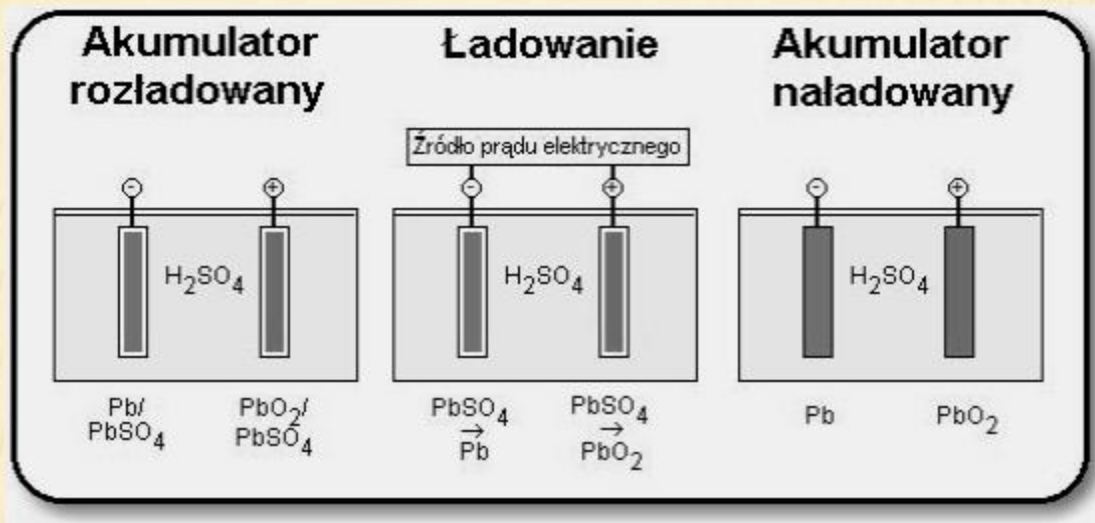


KATODA:



sumaryczna reakcja:



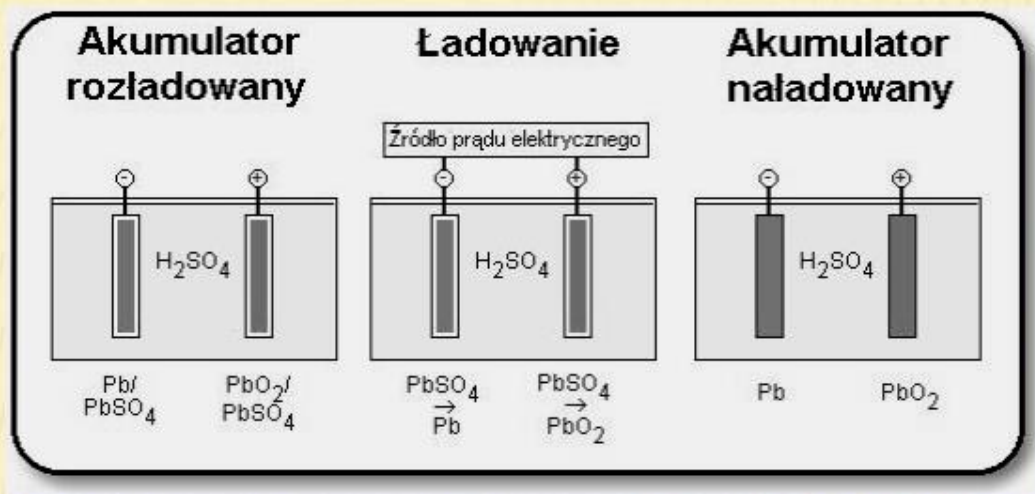


• podczas ponownego ładowania akumulatora zachodzące procesy wyglądają nieco inaczej niż pierwotnie:



- podczas ponownego ładowania gęstość elektrolitu rośnie
- pełne naładowanie akumulatora wiąże się z intensywnym wydzielaniem gazów, związanym z elektrolizą wody





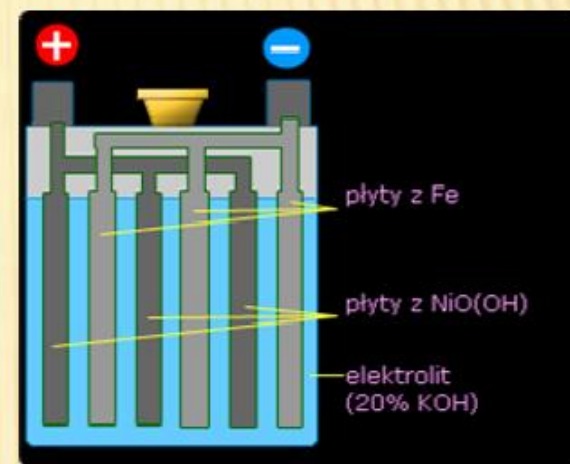
• podczas ponownego ładowania akumulatora zachodzące procesy wyglądają nieco inaczej niż pierwotnie:



- podczas ponownego ładowania gęstość elektrolitu rośnie
- pełne naładowanie akumulatora wiąże się z intensywnym wydzielaniem gazów, związanym z elektrolizą wody

# AKUMULATOR ŻELAZOWO – NIKLOWY (U = 1,40 V)

(akumulator Edisona lub NiFe)



skonstruowany w 1899 roku przez szwedzkiego naukowca **Waldemara Jungnera** unowocześniony przez **T. A. Edisona**.

- zbudowany jest z płyt stalowych w postaci ramek i dziurkowanej blachy
- elektroda dodatnia : wodorotlenek niklu, nikiel i grafit
- elektroda ujemna – sproszkowane Fe i Cd
- płyty dodatnie połączone są ze stalową obudową akumulatora
- jako elektrolit stosowany jest ok. 21% roztwór **KOH** lub **LiOH**



**Thomas Alva Edison** (1847 – 1931) – genialny samouk był wynalazcą i właścicielem ponad stu patentów, w tym unowocześnił i zastosował praktycznie akumulator żelazowo -niklowy.

Powiadał on :

**JEŚLI CZEGOŚ NIE MOŻNA SPRZEDAĆ, TO NIE WARTO O TYM MYŚLEĆ**

Akumulator zasadowy NiFe ma budowę:

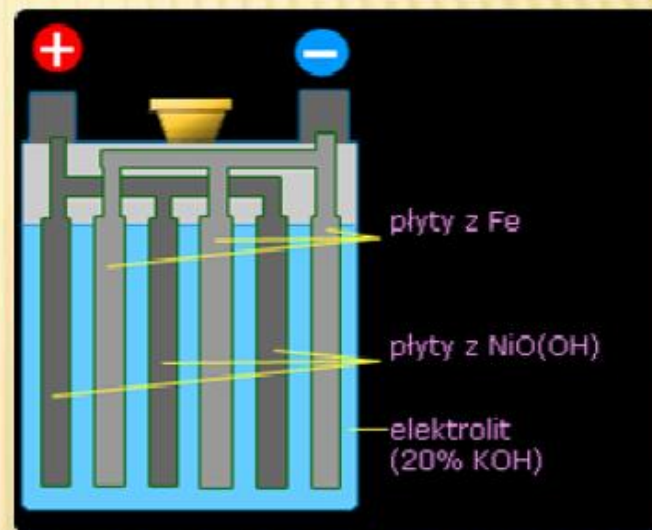


Sumaryczna reakcja elektrodowa ma postać

rozładowanie



ładowanie



Zastosowanie tego akumulatora:

przeważnie w jego zminiaturyzowanej formie – *m.in.* do zasilania przenośnych urządzeń elektronicznych, zegarów, itp.



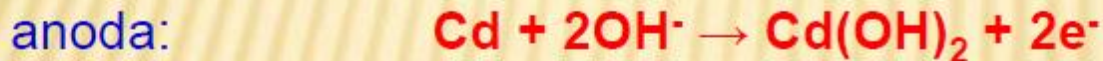
- pierwsze akumulatory Ni-Cd w postaci *paluszków AA (R6)* miały pojemność 500 mAh
- obecnie pojemność większa niż 2000 mAh
- napięcie znamionowe wynosi ok. 1,2 V

**budowa akumulatora:**



Spotykane oznaczenia: KR3, KR6, KR14 itd. (analogicznie do R3, R6, R14 itd.)

KR11/45 (rozmiar R3)  
KR15/51 (rozmiar R6)



**sumaryczna reakcja elektrodowa:**

*rozładowanie*



*ładowanie*

# Akumulator litowo-jonowy (Li-Ion)

---

Akumulator litowo-jonowy (Li-Ion) – akumulator elektryczny, w którym jedna z elektrod jest wykonana z porowatego węgla, a druga z tlenków metali, zaś rolę elektrolitu stanowi ciecz zawierająca sole litowe rozpuszczone w mieszaninie organicznych rozpuszczalników lub ciało stałe. Akumulatory tego typu mają napięcie ok. 3,6 V na ogniwo.





Akumulator litowo-jonowy, Varta



Akumulator Li-ion 3,7V/700mAh do telefonu komórkowego

Stosowane elektrolity:

najczęściej  $\text{LiPF}_6$  ,  $\text{LiBF}_4$  lub  $\text{LiClO}_4$   
w węglanie propylenu (PC).

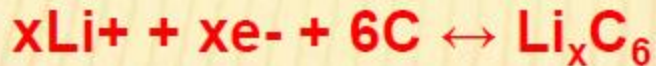


# *Działanie ogniwa litowo-jonowego*

**katoda**

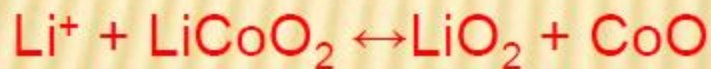


**anoda**



**Ograniczenia:**

Nadmierne rozładowanie powoduje powstanie  $\text{Li}_2\text{O}$  i  $\text{CoO}$

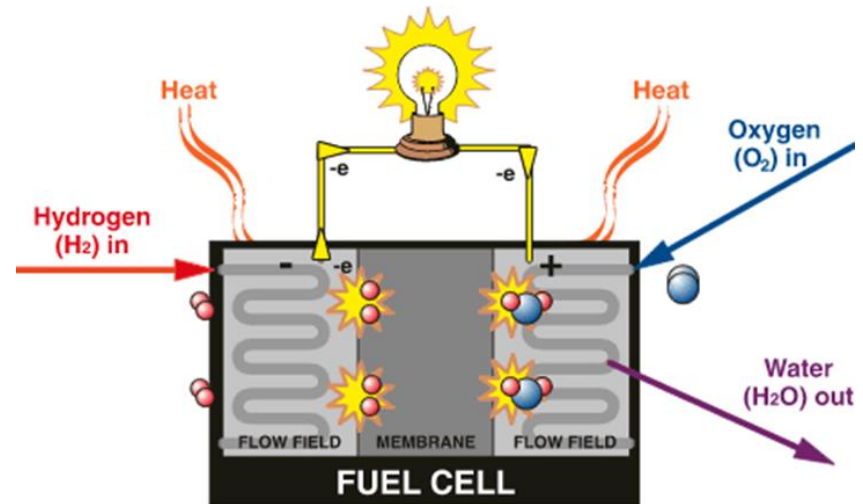
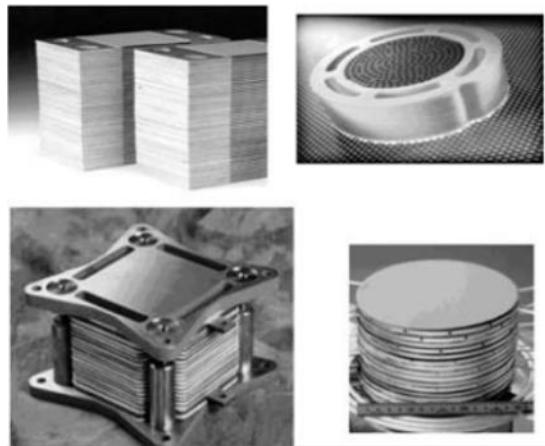


Nadmierne przeładowanie (do 5.2 V) prowadzi do utworzenia tlenku kobaltu(IV)



# Ogniwa paliwowe

**Ogniwo paliwowe** jest urządzeniem pozwalającym na ciągłą przemianę energii chemicznej paliwa w energię elektryczną oraz ciepło, tak długo jak, dostarczane jest paliwo i utleniacz.





# Historia

- **1838** – odkrycie przez szwajcarskiego chemika **Christiana Friedricha Schönbeina** zasady działania ogniw paliwowych
- **1839** – stworzenie przez walijskiego naukowca, sir **Williama Grove** pierwszego działającego ogniwa



- **Lata 60-te XX wieku** – pierwsze praktyczne wykorzystanie ogniw paliwowych w czasie programów **Sojuz, Apollo, Gemini, Skylab** do produkcji energii elektrycznej i wody pitnej
- Specjaliści oceniają, że zastąpienie tradycyjnych metod wytwarzania energii elektrycznej z węgla przez ogniwa paliwowe powinno **zmniejszyć emisję:**
  - dwutlenku węgla o 40% - 60%,**
  - tlenków azotu o 50% - 90%.**

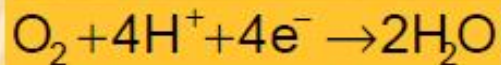


# Zasada działania ogniwa paliwowego

× Rekcja anodowa:



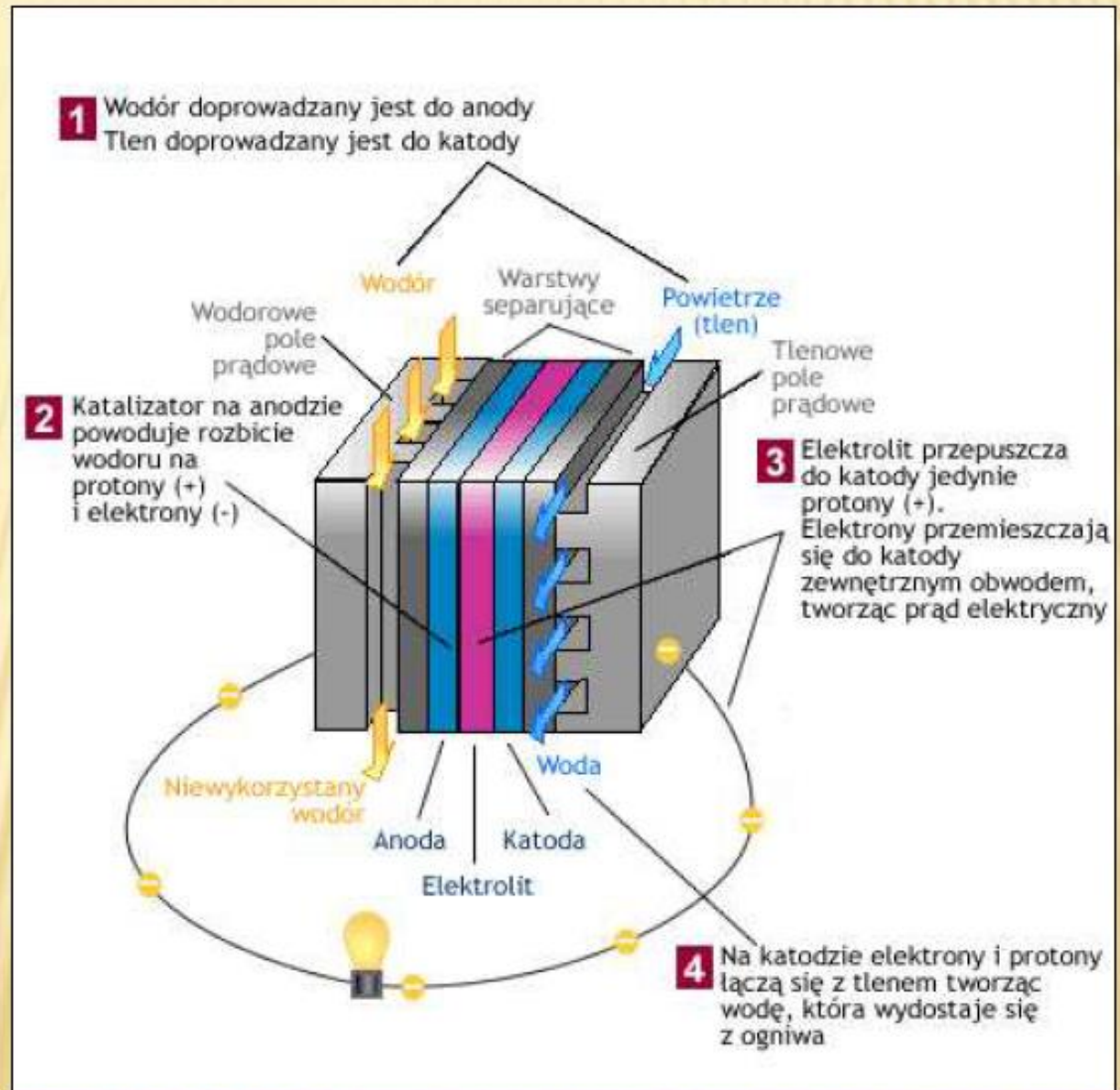
× Rekcja katodowa:



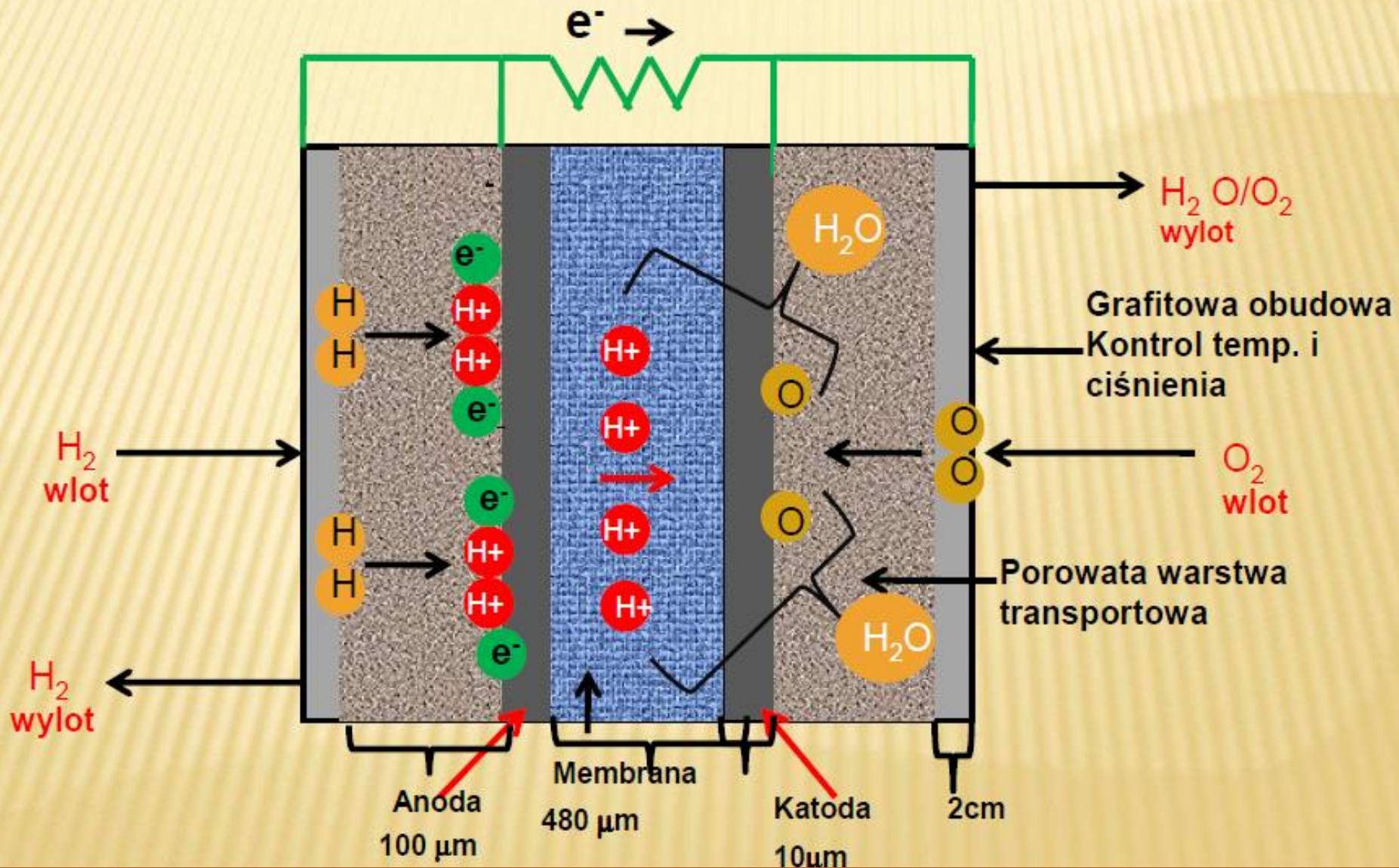
Powstały podczas elektrolizy wody tlen i wodór łączą się ponownie.

Następuje także zamiana elektrod – anoda staje się katodą, a katoda anodą ogniwa.

Wodór utlenia się, a tlen redukuje:



# Schemat typowego ogniwa paliwowego





✘ W ogniwie paliwowym, zasilanym gazem ziemnym lub metanolem, cały proces zaczyna się od:

- ✘ wydzielania czystego wodoru w urządzeniu zwanym **reformerem (1)**.
- ✘ powstający **CO<sub>2</sub> (2)** jest usuwany na zewnątrz.



- ✘ wodór trafia do **właściwego ogniwa (3)**, wywołując kolejne procesy
- ✘ platynowy katalizator na anodzie **"wrywa"** z gazu **elektrony (4)**
- ✘ dodatnio naładowane jony (protony) reagują z **elektrolitem (5)**
- ✘ obojętny elektrycznie tlen, doprowadzany do **katody (6)** przechwytuje swobodne elektrony
- ✘ powstaje **prąd stały (8)**





- ✘ Ujemnie naładowane jony tlenu reagują w elektrolicie z protonami
- ✘ **powstaje woda (7)**
- ✘ wytworzony stały prąd elektryczny ulega zamianie na **prąd zmienny (9)**



## ***Rodzaje ogniw paliwowych***

**Ogniwa alkaliczne  
(AFC – Alkaline Fuel Cell)**

**Ogniwa polimerowe  
(PEMFC – Polimer Electrolyte Membrane Fuel Cell)**

**Ogniwa z kwasem fosforowym jako elektrolitem  
(PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell)**

**Ogniwa węglanowe  
(MCFC – Molton Carbonate Fuel Cell)**

**Ogniwa tlenkowo-ceramiczne  
(SOFC – Solid Oxide Fuel Cell)**



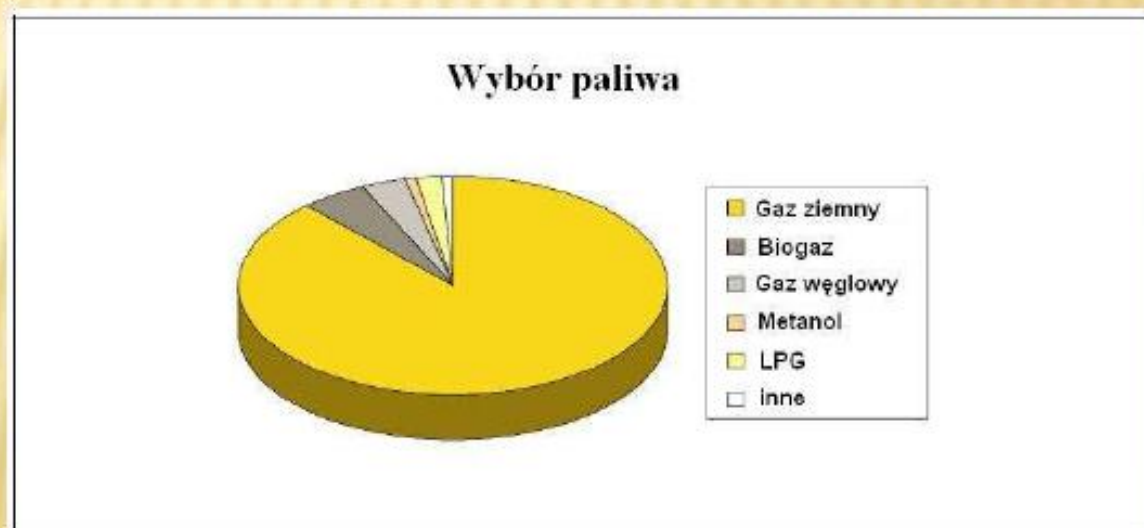
# Podział ogniw paliwowych

Rodzaj ogniwa	Elektrolit	Paliwo	Temperatura pracy	Sprawność	Zastosowania
Ogniwa alkaliczne (AFC – Alkaline Fuel Cell)	Roztwór KOH (35-50%)	Czysty H <sub>2</sub>	60-90°C	35-55%	Transport, astronautyka
Ogniwa polimerowe (PEMFC – Polimer Electrolyte Membrane Fuel Cell)	Membrana polimerowa (np. Nafion)	Czysty H <sub>2</sub> (dopuszczaln a zawartość CO <sub>2</sub> )	50-80°C	35-45%	Transport, astronautyka, energetyka
Ogniwa z kwasem fosforowym jako elektrolitem (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell)	Kwas fosforowy o dużym stężeniu	Czysty H <sub>2</sub> (dopuszczaln a zawartość CO <sub>2</sub> i CO do 1%)	160-220°C	40%	Energetyczne źródła rozproszone
Ogniwa węglanowe (MCFC – Molton Carbonate Fuel Cell)	Stopiona mieszanina węglanów litu i sodu, lub litu i potasu	H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , inne węglowodory (dopuszczaln a zawartość CO <sub>2</sub> )	620-650°C	>50%	Energetyka
Ogniwa tlenkowo-ceramiczne (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell)	Dwutlenek cyrkonu stabilizowany itrem	H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , inne węglowodory (dopuszczaln a zawartość CO <sub>2</sub> )	800-1000°C	>50%	Energetyka



# WYBÓR PALIWA

- ✦ chociaż spodziewa się ze **gaz ziemny** zachowa swoją dominującą pozycję, pojawia się jednak rosnąca liczba nowych rozwiązań.
- ✦ **biogaz** z odpadków spożywczych oraz gaz uzyskany z przetwórstwa ścieków znalazły zastosowanie w wielu ogniwach.
- ✦ rozwijane są także technologie pozyskujące **gaz** do zasilania ogniw uzyskany np. **z drewna**



# WYBÓR PALIWA

- × **metan** z kopalni, który w większości przypadków jest uwalniany do atmosfery
- × **węgiel** może być też wykorzystany do produkcji paliwa w procesie zgazowania węgla, w którym to przetwarza się go w łatwopalne gazy, m.in. tlenek węgla, wodór i metan.
- × wykorzystania **wodoru** tam gdzie gaz jest produktem ubocznym w procesach produkcyjnych w zakładach chemicznych



## ZASTOSOWANIA W TRANSPORCIE :

- ✘ Jedno z pierwszych zastosowań ogniw paliwowych, z powodu ich zalet, miało miejsce podczas amerykańskiego programu kosmicznego.
- ✘ Trzy moduły alkalicznych ogniw paliwowych dostarczały po 12 kW energii elektrycznej podczas misji Apollo w latach sześćdziesiątych XX w.
- ✘ W roku 1970 profesor Karl Kordesch z uniwersytetu w Graz w Austrii zbudował pierwszy samochód zasilany ogniwami paliwowymi.
- ✘ Był to samochód hybrydowy z alkalicznym ogniwem paliwowym o mocy 6 kW, ołowiowym akumulatorem i silnikiem elektrycznym o mocy 20 kW.
- ✘ Od tamtego czasu pole zastosowań przenośnych powiększyło się.
- ✘ Przemysł samochodowy jest bez wątpienia najaktywniejszym inwestorem w obszarze ogniw paliwowych i pompuje miliardy dolarów każdego roku w badania i rozwój



# ZASTOSOWANIA W TRANSPORCIE :



*Hybrydowy samochód z ogniwem paliwowym firmy Kordesch, 1970.*

*Samochód GM Opel Zaphira z ogniwem paliwowym*



## ZASTOSOWANIA W TRANSPORCIE :

- ✘ Krótki czas reakcji oraz krótki czas rozruchu to jedne z najważniejszych wymogów wobec samochodów.
- ✘ Wysokotemperaturowe ogniwa paliwowe jak MCFC i SOFC nie nadają się dobrze do tego, bo są bardziej skomplikowane i mają dłuższe czasy rozruchu niż PEMFC i DMFC.
- ✘ Poważnym problemem jest działanie w temperaturach ujemnych.
- ✘ Ponieważ membrana zawiera duże ilości wody, należy zabezpieczyć ją przed zamarznięciem



# ZASTOSOWANIE W PRZENOŚNYCH UKŁADACH

- × Rynek urządzeń przenośnych wzrasta bardzo szybko w kilku ostatnich dziesięcioleciach.
- × Laptopy, telefony przenośne, ręczne kamery
- × **Do tych zastosowań wymyślono nowe ogniwo**
- × **Miniature Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)**, - miniaturowe ogniwo paliwowe z bezpośrednim zasilaniem metanolem
- × Metanolem, ponieważ **kłopotliwy w przechowywaniu wodoru** zastąpiono właśnie **alkoholem metylowym**





# ZASTOSOWANIE W PRZENOŚNYCH UKŁADACH

- ✦ Jedno kompletne ogniwo DMFC ma oferować pojemność pięciokrotnie większą od akumulatora LiION, przy takiej samej wadze i rozmiarach.
- ✦ Oznacza to, że typowy telefon komórkowy mógłby pracować około miesiąca.
- ✦ Ponieważ jest niemożliwe konwencjonalne ładowanie takiego ogniwa, planuje się zaopatrywanie go w metanol w postaci tanich zbiorniczków, bardzo podobnych do tych z atramentem do wiecznych piór.
- ✦ Ogniwo zostało opracowane we współpracy Motoroli i Los Alamos Laboratories.



*Ładowarka DMFC do komórek,  
Mechanical Technologies.*



## Zalety ogniw paliwowych

- ✘ Sprawność bezpośredniej konwersji energii chemicznej paliwa w energię elektryczną nie podlega ograniczeniu wynikającemu z teorii silników cieplnych
- ✘ Wysoka sprawność produkcji energii elektrycznej
- ✘ Niski poziom hałasu
- ✘ Możliwość stosowania różnych rodzajów paliw
- ✘ Technologia bezpieczna dla środowiska naturalnego ponieważ podstawowym produktem ubocznym jest woda, a emisja  $\text{CO}_2$  zachodzi tylko w przypadku wykorzystywania paliw węglowodorowych ( $\text{CO}_2$  jest produktem ubocznym reformingu)
- ✘ Nie istnieje problem emisji tlenków siarki i azotu (występują w śladowych ilościach)
- ✘ Brak ruchomych części pracujących w trudnych warunkach
- ✘ Możliwość pracy przy szerokim zakresie obciążeń
- ✘ Możliwość ciągłej pracy (o ile jest dostęp do paliwa i utleniacza)

# Wady ogniw paliwowych

- ✘ Niskie napięcie prądu uzyskiwane z pojedynczego ogniwa ( $<1V$ )
- ✘ Drogie materiały na katalizatory
- ✘ Stosunkowo niewielkie moce uzyskiwane z modułu
- ✘ Produkcja jedynie prądu stałego (czasami jest to zaletą)
- ✘ Podatność na wpływ zanieczyszczeń zawartych w paliwie (zanieczyszczenia zmniejszają żywotność ogniw zatykając porowate elektrody przez co zmniejszają ich wydajność prądową)
- ✘ Trudności z produkcją, magazynowaniem i dystrybucją paliwa (wodoru)