

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

363 (LXIV) indeks 35810X Nr 4 lipiec/sierpień 2019 CENA 27,50 zł (w tym 5% VAT)

Samochód na wodę

Technologia i ekonomia wodorowa

Oświeć mnie

Oddziaływanie światła na materię

Załogowe loty kosmiczne

Czy ekspansja Kosmosu ma sens?

Osobliwości czarnej dziury

Zobaczyć, zajrzeć pod horyzont i przeżyć

Fizyka śmigłowców

Latające karetki

Rodon

- zmierz to!

Projekt CNK



ISSN 0426-3383



08

Samochód na wodę



Grzegorz Karwasz, Katarzyna Wyborska,
Andrzej Karbowski, Anna Kamińska, Tadeusz Bury

Artykuł mówi o przyszłości, zupełnie niedalekiej, perspektywach energetycznych i technologiach wodorowych. Całe mnóstwo nowych zagadnień będzie wymagała przygotowania interdyscyplinarnego uczniów: nie tylko w fizyce i chemii, ale i ekonomii.

Koniec węgla

Ministerstwo Energii nawołuje do elektromobilności. Za kilka lat ma być w Polsce nawet dwa miliony samochodów elektrycznych. W Gdyni (i paru innych miastach Polski) jeżdżą trolejbusy (czyli autobusy zasilane prądem elektrycznym jak tramwaj) – kiedy zjeżdżają ze wzgórza, ich silniki działają jak prądnice i oddają prąd do sieci. Między innymi dzięki trolejbusom, Gdynia ma najczystsze powietrze w Polsce. Ale gdzie i jak powstaje prąd do zasilania trolejbusów (i przyszłych samochodów elektrycznych)? Dokładne porównanie (ryc.1) wskazuje, że prąd ten powstaje na Śląsku, w Belchatowie, w Koninie. I prąd ten ma kolor czarny lub brązowy.

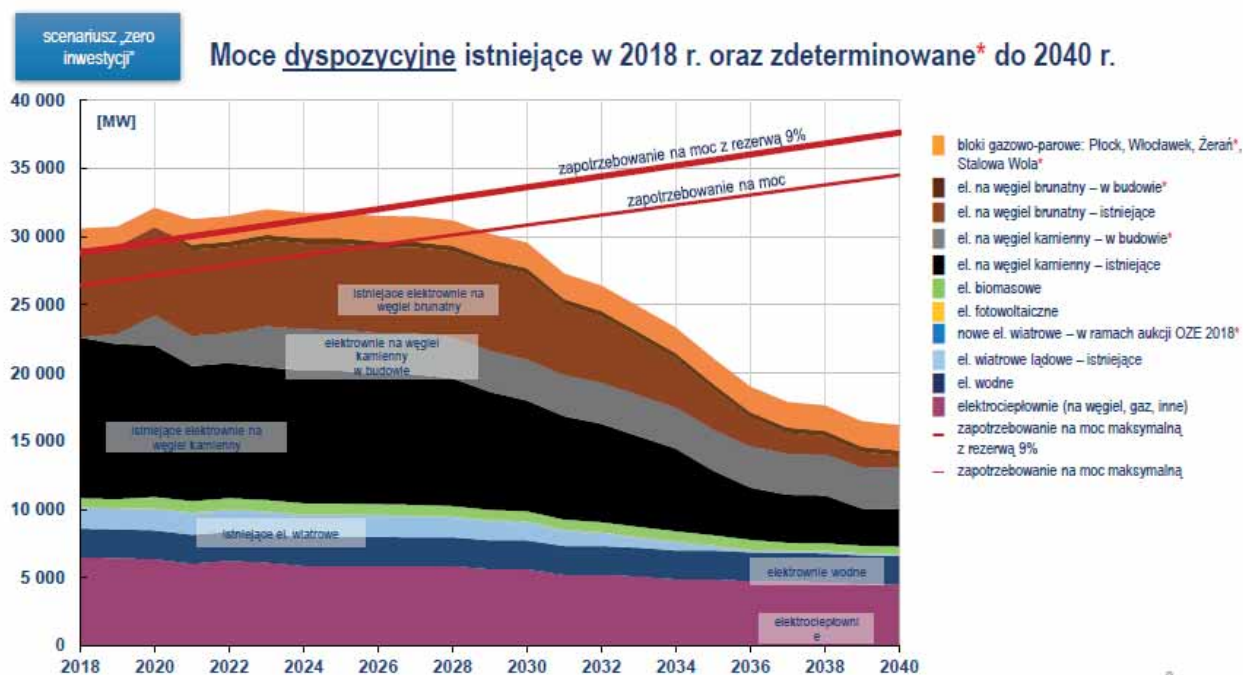
Ale z prognozy zapotrzebowania i podaży mocy elektrycznej w Polsce do 2040 roku, ryc. 1, wynika jeszcze kilka pesymistycznych wniosków. „Produkcja”¹ energii elektrycznej z węgla kamiennego i brunatnego ulegnie znacznej redukcji: złoża kopalin po prostu kończą



Ryc. 2. Polska jest, według najnowszego raportu „Nature” [6] jednym z czterech krajów (obok Mongolii, Kazachstanu i Indii) opierających swą energetykę o węgiel. Tak dymią kominy elektrowni na węgiel brunatny w Pątnowie koło Konina (foto M. Karwasz)

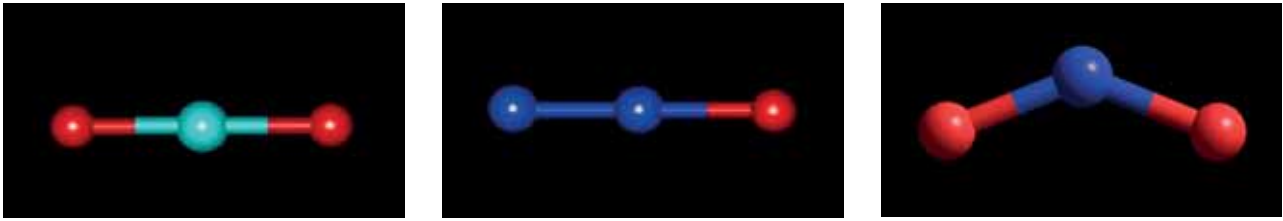
się. Jeśli nie podjęte zostaną innowacyjne inwestycje, np. w energetyka jądrowa, tak na „oko”, w 2040 roku zabraknie 50% potrzebnej mocy elektrycznej (w Polsce zapotrzebowanie wynosi mniej więcej 1 GW na milion mieszkańców, a w Republice Korei jest to 1,5 GW).

Węgla i ropy zabraknie nie tylko w Polsce. W chwili obecnej największą reaktorów jądrowych powstaje w krajach arabskich. Oczywiście, rządy tych krajów znają wła-



Ryc. 1. Raport Ministerstwa Energii (22/1/2019): prognoza zapotrzebowania i podaży mocy elektrycznej w Polsce do 2040 roku. Główne „źródła” energii – węgiel kamienny i brunatny (paski czarny i brązowy) są na wyczerpaniu. <https://www.gov.pl/web/energia/raport-mit-o-przyszlosci-energii-jadrowej>

¹ Energii, oczywiście, nie „produkuje się” ale tylko przetwarza jej jedną formę na inną.



Ryc. 3. Cząsteczka CO_2 jest liniowa i symetryczna; dopiero wzbudzona do drgań zginających (010) uzyskuje moment dipolowy. Cząsteczka N_2O jest liniowa, ale ma moment dipolowy. Cząsteczka NO_2 jest zgięta, więc ma moment dipolowy, choć 5-krotnie mniejszy niż H_2O ; di-tlenek azotu powstaje w miejskim smogu i jest trujący. Model w skali – obliczenia HyperChem.

sne zasoby i na czas planują zastąpienie ropy przez inne „źródła” energii. Reaktor jądrowy nie jest tani – 1 GW mocy kosztuje tak około 4 mld euro. A Polska zaczęła właśnie płacić kary za emisję CO_2 – po parę miliardów euro rocznie. Dymiące kominy pod Koninem, ryc. 2, muszą więc zniknąć, nie tylko ze względu na kary, ale też przez szacunek dla mieszkańców Pątnowa i okolic.

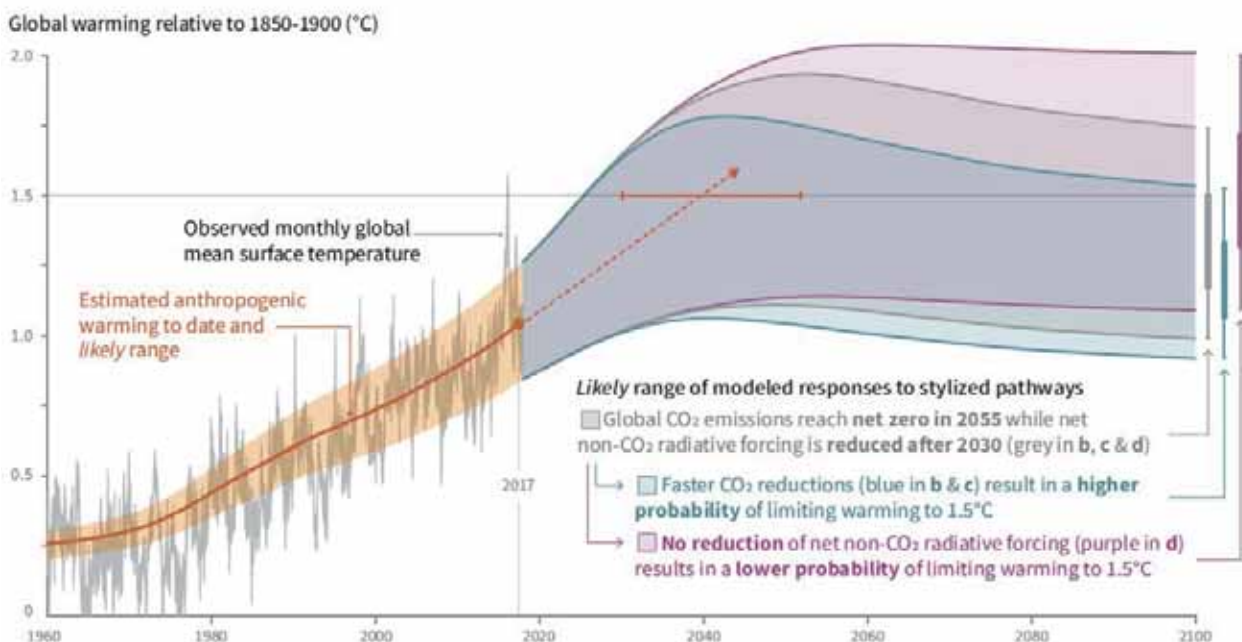
Coraz cieplej

Globalny wzrost temperatury jest faktem coraz rzadziej negowanym. Zresztą, fizycy nie mają wątpliwości. To gazy „odsyłające” promieniowanie podczerwone z powrotem w kierunku powierzchni Ziemi są odpowiedzialne za efekt cieplarniany. Przypominamy zresztą, że naturalny (bez działań człowieka) efekt cieplarniany na Ziemi wynosi $+33\text{K}$: bez niego średnia temperatura wynosiłaby nie $+15^\circ\text{C}$ a -18°C . I to para woda jest głównym gazem cieplarnianym, jak to dyskutowaliśmy we wcześniejszym artykule [1].

Fizycy nie tylko rozumieją mechanizmy, ale też potrafią szybko szacować. Wzrost zawartości CO_2 w atmosfery

ferze z 270 ppm przed początkiem ery przemysłowej do ponad 400 ppm to tak, znów „na oko”, co najmniej 50%. Tak dużo CO_2 , jak wykazują badania lodów Antarktydy, nie było przez ostatnie 400 tysięcy lat. Na szczęście (?), węgiel, gaz, ropa kończą się: miarodajne czasopismo, jakim jest „Nature” w 2002 roku oceniło światowe zasoby węgla na 200 lat a gazu ziemnego na 55 lat².

Niestety, wzrost temperatury nie ustanie wraz z emisją CO_2 : inne gazy, jak N_2O (pochodzący z upraw rolnych) i CH_4 (wydobywający się z rozmarzającej tundry i emitowany przez bakterie w procesach trawiennych) są jeszcze bardziej „cieplarniane”. Wszystkie te gazy są cząsteczkami wieloatomowymi: istnieje wiele różnych sposobów (modów), na które mogą w nich drgać atomy. Energia tych drgań odpowiada energii kwantów światła podczerwonego, tak więc gazy te nie „wypuszczają” ciepła promieniowania z Ziemi. Cząsteczka CO_2 ma geometrię liniową, symetryczną: dopóki nie zacznie drgać, słabo pochłania promieniowanie elektromagnetyczne. Cząsteczka N_2O ($\text{N}=\text{N}=\text{O}$), ryc.3. mimo że liniowa, posiada stały moment dipolowy – ładunek dodatni i ujemny są w niej przesu-



Ryc. 4. Najistotniejszy wynik ostatniego raportu IPCC nt. zmian klimatycznych: przewidywany wzrost temperatury (w stosunku do epoki przed-przemysłowej) wyniesie około $1\text{-}2^\circ\text{C}$ (w zależności od scenariuszy emisji CO_2) i osiągnie maksimum około roku 2050. W modelu zakłada się zredukowanie emisji CO_2 do zera w roku 2055. Źródło: [4]

² Było to przed rozpoczęciem przemysłowego wydobycia gazu łupkowego w USA. Polska, w opinii geologów, ma po USA największe złoża gazu łupkowego. Niestety, jego wydobycie powoduje znaczne zniszczenie środowiska przyrodniczego.

nięte. W efekcie, jej wpływ na efekt cieplarniany jest 300 razy większy niż CO₂ (a czas „życia” w atmosferze 144 lata [2]).

Ostatni raport Międzyrządowego Panelu nt. Zmian Klimatycznych (IPCC) mówi o wzroście temperatury o 1,5°C do roku 2050 (w porównaniu z rokiem 1850). Już nie tylko „ekolodzy” biją na alarm. Kolejne prestiżowe czasopismo, „Science” poświęciło w 2013 cały sierpniowy numer (No. 341) zmianom klimatycznym. Najgorzej dzieje się polarnym misionom: letni zasięg lodu na Arktyce zmniejszył się od 1980 roku o połowę [3] – nie mają gdzie polować na fokę.

Nowe energie

Nie ma jednej recepty na nowe źródła energii. Panele fotowoltaiczne do niedawna miały czas zwrotu inwestycji 20 lat; nowy raport „Nature” [4] mówi o czasie zwrotu 1 roku. Dla zapewnienia energii na potrzeby jednego gospodarstwa domowego (moc używana 3 kW maksimum), przy efektywności paneli 10%, potrzebne jest pokrycie nimi części dachu domku jednorodzinny (przypominamy wartość stałej słonecznej 1340 W, ale jest to wartość energii przypadającej na 1m² w kierunku prostopadłym i poza atmosferą).

Problemem paneli (i wiatraków) jest magazynowanie energii w okresie, kiedy słońce nie świeci i nie wieje wiatr. W Niemczech ten problem już jest rozumiany jako ogólnopaństwowy. Rozważa się najróżniejsze możliwości – od gigantycznych baterii akumulatorów litowych, przez zbiornik na wodór, do pompowania sztucznie wytworzonego metanu do podziemnych pieczar. (W Polsce zbiorniki rezerwowe gazu są, podobno, w żupach solnych w Inowrocławiu, ale gazu w nich starczy dla kraju jedynie na 48 godzin.)

Wspomniany raport „Nature” wymienia kilkanaście opcji „źródeł” energii, od elektrowni jądrowych, poprzez elektrownie wiatrowe na morzu, wodne na rzekach, do spalania śmieci i wytwarzania metanu z biomasy. Autorzy zakładają, że w różnych częściach świata będą się rozwijały - niejako prawem „doboru naturalnego” różne technologie, przy czym w roku 2050 większość

energii elektrycznej będzie wytwarzana z ogniw fotowoltaicznych. A główny koszt rachunku za prąd to będzie jego magazynowanie. Jednym z rozwiązań są technologie wodorowe: wytwarzanie i magazynowanie wodoru.

Ekonomia wodorowa

Wodór, mimo że jest głównym składnikiem Wszechświata (czytaj: gwiazd) na Ziemi nie występuje w stanie wolnym: zbyt lekki, aby pozostać w atmosferze. Na Ziemi jest związany w postaci wody (a także węglowodanów i wielu różnych minerałów). Istnieje kilka sposobów wytwarzania wodoru, np. przez pirolizę (tj. rozkład w wysokiej temperaturze) metanu $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$ (odpadem jest węgiel w postaci sadzy) lub poprzez reakcję reformingu $\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4 \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ (też w wysokiej temperaturze).

Najczystszy ekologicznie (choć nie najtańszy) sposobem wytwarzania wodoru jest elektroliza wody. Ale ważną zaletą elektrolizy jest, że nie wymaga wielkich instalacji przemysłowych. Jak to opisał w 2002 roku noblista Jeremy Rifkin, pojawia się nowa ekonomia, wodorowa („Hydrogen Economy”): każde gospodarstwo domowe wytwarza wodór na własne potrzeby (z własnych paneli słonecznych lub wiatraków) i zużywa go w miarę potrzeb, np. do tankowania zbiornika w samochodzie.

I znów problemem nie będzie wytwarzanie, ale magazynowanie. Naukowcy pracują nad różnymi rozwiązaniami: wtłaczaniem do butli (mówi się o ciśnieniu 800 atm.), skraplaniem lub chemicznym wiązaniem w porowatych metalach, w postaci wodorków, np. MgH_2 . Wadą tego ostatniego pomysłu są trudności w szybkim (i regulowanym) odzyskiwaniu wodoru, co jest potrzebne np. w samochodzie. Potrzebny też jest nowy „silnik”.

Spalanie wodoru w silniku termicznym nie miało by sensu: wydajność takiego procesu jest ograniczona prawem Carnota – różnicą temperatur między silnikiem a chłodnicą. W praktyce wydajność silników spalinowych sięga jakiś 35%. Sposobem na uzyskanie wydajności, teoretycznie nawet do 80%, są tzw. ogniwa paliwowe, choć powinny się nazywać raczej „wodorowe”. Ogniwo wodo-



Ryc. 4a) Oryginalne ogniwo Volty z Muzeum w Como: stosik par krążków cynkowych i miedzianych, przełożonych filcem zwilżonym kwasem. b) To samo muzeum – dwa ogniwa „stosy” i bateria szklane, połączonych elektrycznie (płytki cynkowe i miedziane). Foto: GK; Tempio Voltiano, Como.

rowe to nic innego jak odwrócenie elektrolizy. A działa jak każda „bateria” Volty (lub Galvaniego – sami Włosi się o to spierają).

Ogniwo Volty

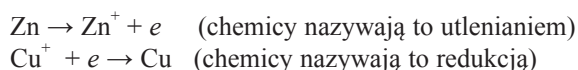
Pierwowzorem ogniwa paliwowego jest ogniwo Volty – dwa różne metale zanurzone w wodzie (z dodatkiem soli, kwasu, zasady³). Pierwsze ogniwo Volty (1799 r.) to był stosik monet – cynowych i srebrnych, ułożonych na przemian, a pomiędzy nimi (tj. między każdą parą) – filc nasączony rozcieńczonym kwasem. Volta próbował działania ogniwa kładąc pary monet na języku [6]. Zauważył, że jeśli na czubku języka kładł monetę cynową, czuł smak kwaśny.⁴

Volta słusznie stwierdził, że przyczyną powstawania prądu jest obecność dwóch różnych metali. A kierunek prądu określił od srebra (droższego) do cyny. Dziś wiemy, że jest to odwrotnie niż kierunek przepływu elektronów. Ale elektron został odkryty dopiero sto lat później.

To z różnic chemicznych między metalami, np. srebro i cyny wynika, że jeden z nich (cyna) łatwiej traci elektrony a inny trudniej. W fazie gazowej mówilibyśmy o energii jonizacji. Dla srebra wynosi ona 7,58 eV a dla cyny 7,34 eV. W fazie stałej wartości energii niezbędnej do wybicia elektronu (np. poprzez efekt fotoelektryczny) są niższe: 4,7 eV dla Ag i 4,3 eV dla Sn. (Wartości energii fotonów niezbędne do wybicia elektronów z metalu nazywamy, za Einsteinem, „pracą wyjścia”).

„Praca wyjścia” w ogniwie Volty – metalach zanurzonych w wodzie – jest jeszcze inna. Fizycy nie potrafią jeszcze wyliczyć, jakie napięcie powstanie między srebrem a cyną czy miedzią a cynkiem (to była druga wersja ogniwa Volty – w postaci blaszek zanurzonych w szklankach z kwasem, foto 4b).

Procesy zachodzące w ogniwie Volty (a właściwie Daniella, o tym za chwilę) to oddawanie elektronu przez atom cynku (i przechodzenie powstałego jonu Zn^+ do roztworu), przepływ elektronów zewnętrznym przewodem do miedzi, oraz na elektrodzie miedzianej - przyłączanie elektronu do jonu miedzi (osadza się metaliczna miedź z roztworu ubywa Cu^+).



Elektrodą ujemną w ogniwie Daniella jest cynk (fizycy nazywają taką elektrodę anodą) a dodatnią (katodą) jest miedź.

Szereg elektrochemiczny

Fizycy (ani chemicy) nie potrafią jeszcze wyliczyć, jakie napięcie powstanie między dwoma różnymi meta-

lami. To nie tylko metal, ale również granica faz woda-metal, decydują o tym napięciu. Dopiero kilka miesięcy temu pojawiła się praca, próbująca wyliczyć pracę wyjścia elektronów z platyny zanurzonej w wodzie [7]. Nie jest to jeszcze wynik w pełni poprawny, ale zaczynamy rozumieć, że *interface* (warstwa graniczna) między wodą a metalem zasadniczo zmienia fizykę procesu.

Jeśli nie można policzyć, to trzeba zmierzyć, przyjmując jakiś punkt odniesienia. Punktem tym jest najbliższy metal-niemetal, czyli wodór. Nie dysponujemy jednak wodorem w postaci elektrody; używa się więc elektrody z platyny (ale koniecznie pokrytej platyną koloidalną, tzw. czernią platynową). Platyna działa jak katalizator (o tym za chwilę), „zachęcając” wodór do oddawania elektronów (a przed tym, ułatwiając rozpad drobinę wodoru H_2 na atomy, czyli *dysocjację*).

Potencjały elektrochemiczne wynoszą⁵:

Li	Al	Zn	Fe	Sn	H_2	Cu	Ag	Au	O_2^+
-3,04	-1,66	-0,76	-0,44	-0,13	0	+0,34	+0,80	+1,23	

* Reakcja ma przebieg $O_2 + 4H^+ + 4e^- \leftrightarrow 2H_2O$

Na początku szeregu Volty leży lit, z napięciem w stosunku do wodoru -3,05 V (dlatego bateria litowe dają największe napięcia). Cynk daje napięcie -0,76 V a miedź +0,34 V. Nie oznacza to jednak, że wkładając do roztworu soli lub kwasu elektrodę miedzianą i cynkową otrzymamy różnicę potencjałów $0,76+0,34=1,1$ V. Byłoby tak, gdyby w ogniwie zachodziły reakcje jak w równaniu (1). Ogniwo powinno mieć dwa zbiorniki na elektrolit – jeden z jonami cynku, drugi z jonami miedzi. To jest właśnie „poprawka” wprowadzona do ogniwa Volty przez Johna Daniella (1836 r.): unika się bąbelkowania wodoru na katodzie.

Bez przegrody (i dwóch różnych elektrolitów) na elektrodzie dodatniej nie wydzieli się miedź, bo nie ma jonów Cu^+ w roztworze - wydzieli się wodór z wody. Użyteczne napięcie wyniesie więc jedynie 0,76 V, nawet jeśli jako katody użyjemy elektrody ze złota. Ale dla zamknięcia obwodu, potrzebna jest albo porowata przegroda (aby umożliwić przepływ jonów SO_4^{2-}) albo wręcz zewnętrzny „klucz jonowy” wypełniony żelem z KNO_3 . Elektrochemia jest skomplikowaną dziedziną badań.

Ogniwo wodorowe

Ogniwo wodorowe (zwane też „paliwowym”) zostało zaproponowane w 1838 roku przez Wiliama Grove’a [8]. Dopiero przy okazji lotów Apollo znalazło prawdziwą realizację: i tlen i wodór były w zbiornikach rakiety,

³ Ten dodatek wynika z niskiej przewodności elektrycznej czystej wody. Aby się o tym przekonać, wystarczy wrzucić baterijkę „paluszek” do szklanki z wodą: bez dodatku soli nie obserwujemy bąbelków wodoru i tlenu. A sama bateria musi być nowa, bo do elektrolizy potrzeba napięcia 1,23 V.

⁴ Dziś to doświadczenie można powtórzyć z eurocentami. Są one, co prawda, żelazne, ale pokryte miedzią. Zawijamy je do połowy aluminiową folią (jak pół-księżyc) i dotykamy końca języka: kwaśny smak (od jonów Al^{+3} przechodzących do śliny) czujemy jeszcze po zdjęciu monety z języka.

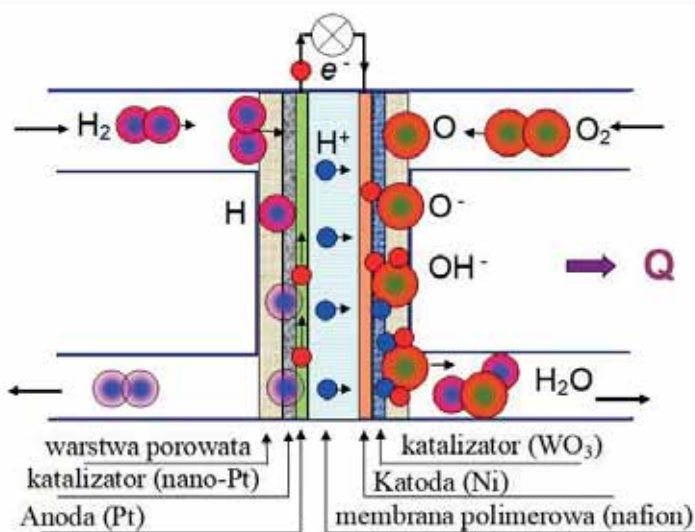
⁵ Jest to wersja uproszczona: w rzeczywistości należy zdefiniować, jaka reakcja zachodzi. Inny jest np. potencjał elektrochemiczny, jeśli w roztworze są jony miedzi Cu^+ , czyli reakcja ma przebieg $Cu^+ + e \rightarrow Cu$ (potencjał +0,52 V) a inny, gdy jony Cu^{2+} (reakcja $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$, potencjał +0,34 V).

ogniwo wytwarzało prąd elektryczny a powstała woda służyła do picia.

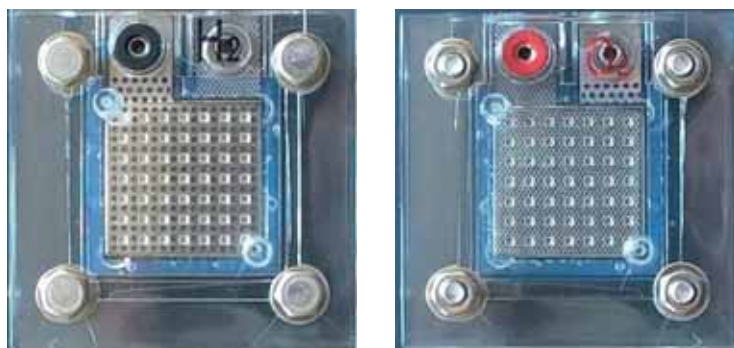
Ogniwo „paliwowe” jest odwróceniem elektrolizy wody. W elektrolizie, aby z wody wytworzyć H_2 i O_2 , należy do elektrod przyłożyć napięcie elektryczne (minimum 1,23 V). W ogniwie dostarczając do dwóch elektrod gazowy tlen i wodór uzyskujemy na elektrodach użyteczne napięcie. Jest to niejako oczywiste, bo reakcja syntezy wody jest reakcją egzotermiczną.

To „oczywiste” nie jest jednak takie proste w realizacji: i wodór, i tlen są gazami, więc najpierw należy je rozpuścić w wodzie (ale są dość dobrze rozpuszczalne), później należy „zmusić” oba gazy, H_2 i O_2 do przejścia do postaci atomowej, H i O, czyli do *dysocjacji*. Potrzebne są ku temu odpowiednie katalizatory. W przypadku wodoru używa się platyny, w jej koloidalnej (nano-strukturalnej) postaci, zwanej przez chemików czernią platynową. W przypadku O_2 próbuje się różnych katalizatorów, tak metalicznych (Ni) jak tlenkowych (np. tlenków wolframu odpowiednio aktywowanych). Ogniwo ma jednak sporo ograniczeń – mocy, konstrukcji, materiałów (i ceny)⁶.

Kluczem ogniwa paliwowego jest membrana oddzielająca dwa obszary. Jak w ogniwie Daniella obwód elektryczny jest zamknięty przez jony SO_4^{2-} dyfundujące przez przegrodę (lub inne jony w zewnętrznym kluczu jonowym), tak w ogniwie wodorowym obwód elektryczny jest zamknięty przez przepływ jonów H^+ z obszaru anody do katody: to tam zachodzi reakcja powstawania H_2O z H^+ i tlenu, zob. ryc. 5.



Ryc.5. Schemat (GK) ogniwa paliwowego. Z dwóch stron dopływa gazowy wodór i tlen. Przegroda rozdzielająca dwa obszary ma wielowarstwową strukturę: zewnętrzne porowate warstwy mają na celu „uwieżenie” gazu, tak aby wszedł on w kontakt z katalizatorem. Membrana z nafionu ma 20 μm . Od strony wodorowej używa się platyny (warstwa rzędu 1 μm), od strony tlenowej próbuje się różnych technologii, jak Ni, nano-strukturalny WO_3 , Se itd. Procesy od strony tlenowej są słabiej zrozumiane niż od strony wodorowej. Od strony wodorowej H_2 ulega dysocjacji na H, w kontakcie z katalizatorem traci elektron (ten płynie na drugą stronę ogniwa poprzez obwód zewnętrzny), proton H^+ dyfunduje w kierunku anody. Po stronie anody H^+ łączy się z O (lub OH i OH^- , dokładnie nie wiadomo) tworząc wodę. W postaci wyblakłych krążków pokazujemy, że wodór był, ale rozpadł się na e^- i na H^+ .



Rys.6a) Strona H_2 ogniwa paliwowego z zabawkowego modelu samochodu „na wodę”. Widoczny platynowy katalizator i perforacje prowadzące do membrany. b) strona O_2 – widoczna jest nieco inna konstrukcja. Foto AK.

Przepływ jonów H^+ (czyli „gołych” protonów, o średnicy ostatnio zmierzonej $0,86 \times 10^{-15} m$) nie jest jednak procesem fizycznym, a raczej chemicznym. W specjalnym fluoryzowanym polimerze, z grupami kwasu sulfonowego, protony „skaczą” od cząsteczki do cząsteczki polimeru. Membrana więc izolować dwa katalizatory, nie przepuszczać wody ani gazów a transportować protony. Mimo wielu wysiłków, powszechnie używany pozostaje fluorowany polimer z grupą kwasu sulfonowego, tzw. nafion, o grubości 20 μm , zob. foto z mikroskopu elektronowego w Internecie [8].

Nie do końca rozumiemy tak chemię jak fizykę ogniwa wodorowego. Nie wiadomo, czy to grupa sulfonowa czy fluoryzowanie polimeru zapewnia transport H^+ . Platyna jest droga. Nie wiadomo, gdzie traci się część napięcia elektrycznego. Do elektrolizy potrzeb 1,23 V a najwyższe napięcie pozyskane z ogniwa wodorowego do 1,0 V. Na razie technolodzy nazywają tę stratę „potencjałem aktywacji”. Ale raczej przypomina ona tzw. napięcie polaryzacji (0,6-0,8 V) w krzemowym ogniwie fotowoltaicznym [9].

Samochód na wodę

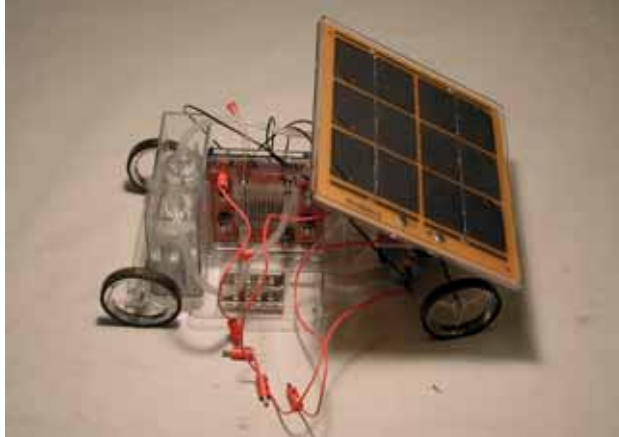
W pełni użyteczne samochody na „wodę” zostały skonstruowane już kilkanaście lat temu. Nadal brakuje jednak właściwej motywacji ekonomicznej (ropa naftowa jest wciąż tania) a technologie nie są do końca opracowane. Nafion jest drogi i niezbyt odporny na temperaturę (w procesie powstawania H_2O wydziela się ciepło) nie mówiąc o odporności całego ogniwa na mróz. Ale nafion to nie jedyna technologia możliwa.

Zbiorniki na wodór zajmują cały bagażnik, podobnie jak baterie ołowiowe w samochodach dziś, w 2019, deklarowanych na targach w Szwajcarii jako elektryczne. Nie mówiąc, że brakuje stacji do tankowania wodoru. Najbardziej zaawansowane prace nad konstrukcją samochodu z ogniwami paliwowymi są prowadzone w Korei, Chinach i Japonii.

Potrzebni eksperci

Wspomniana prognoza światowej „produkcji” energii w 2050 roku zakłada, że węgla i ropy już nie ma: 80% zapotrzebowania światowego jest pokrywane z ogniw

⁶ Analiza kosztów wskazuje, że dla zasilania samochodu osobowego koszt samego ogniwa jest porównywalny z obecnym kosztem wytworzenia całej „reszty” samochodu (karoserii, wnętrza, itd.).



Ryc. 5. Zabawkowy samochód „na wodę” (firmy „Kosmos & Thames”). Najpierw wlewa się wodę (koniecznie destylowaną) do zbiornika z lewej strony, podłączając do ogniwa paliwowego (w środku) panel słoneczny (z prawej). Prąd powstający w panelu słonecznym dokonuje elektrolizy wody (ogniwo pracuje jako elektrolizer), a H_2 i O_2 trafiają do zbiorników (z lewej strony): zbiornik na H_2 jest dwukrotnie szerszy). Po wytworzeniu (gazowego) paliwa, przelacza się przewody, tak aby silnik samochodu (pod panelem) był zasilany prądem powstającym w ogniwie paliwowym. Oczywiście, w pełnym słońcu silnik może być zasilany bezpośrednio z panelu fotowoltaicznego (foto GK).

fotowoltaicznych. To z kolei rodzi problem magazynowania energii w czasie, kiedy słońce nie świeci, a energia elektryczna jest potrzebna. Rozważa się najróżniejsze pomysły, jak wytwarzanie (z CO_2 i H_2) sztucznego metanu, nowe zbiorniki do przepompowywania wody, a przede wszystkim technologie oparte o wodór. Pracujemy również [10] nad reaktorem termojądrowym, syntetyzującym hel z ciężkiego wodoru.

Bez wątplenia, potrzebne są nowe pomysły. I nowi specjaliści. Jacy? Nie wiadomo. Ale znajomość fizyki będzie kluczowa.

Artykuł powstał w ramach projektu EU H2020 „Fuel Cells HydroGen educational mOdel for schools” (FCHgo). Celem projektu jest przybliżenie, w edukacji szkolnej, problemów energii, środowiska i technologii wodorowych [11].

Prof. Grzegorz Karwasz

jest kierownikiem Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK i ekspertem IAEA ONZ w tematykach energii termojądrowej

Dr Anna Kamińska

jest adiunktem w Akademii Pomorskiej w Słupsku, współtwórcą interaktywnych wystaw „Fizyka zabawek” (1997), współ-wykonawcą projektu UE „Physics is Fun” (2004)

Dr Andrzej Karbowski

jest adiunktem w ZDF UMK, koordynatorem pakietu doświadczeń z elektromagnetyzmu w projekcie UE LdV MOSEM (2009)

Mgr Tadeusz Bury

jest nauczycielem informatyki i techniki w IX LO w Gdyni i w ZS Szkół Energetycznych w Gdańsku oraz doradcą metodycznym w zakresie informatyki, zdobywcą wielu nagród (jako nauczyciel laureatów) w konkursach krajowych z informatyki

Mgr Katarzyna Wyborska,

absolwentka UMK, jest nauczycielem fizyki w Dąbrowie Biskupiej i Ośnieszczewku, zdobywczynią II nagrody w ogólnopolskim konkursie „Postaw na Słońce” (2016)

LITERATURA

- [1] G. Karwasz, K. Stuzewski, Ziemia pod pierzynką, czyli o naturalnym efekcie cieplarnianym, Foton, 121 (Lato 2013) 37-42. http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2013/Cieplo1_2013.pdf
- [2] <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- [3] „Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers”, IPCC, 2018 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf
- [4] E. Post et al., Ecological Consequences of Sea-Ice Decline, Science 341 (2013), 519.
- [5] D. Bogdanov et al., Radical transformation [...], Nature Communications, 10 (2019) 1077.
- [6] G. Karwasz and A. Karbowski, Na końcu języka (Volty), Foton 96 (2007) 34.
- [7] S. Sarong and A. Groß, The electric double layer [...], J. Chem. Phys. 114 (2018) 084705
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell
- [9] G. Karwasz, Zjawisko fotoelektryczne (wewnętrzne), Na ścieżkach Fizyki Współczesnej, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/statki2.html
- [10] G. Karwasz, Słońce w (magnetycznym) koszyku, Głos Uczelni, UMK, 3/2017, 24. http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2017/GK_Slonce_w_koszyku_2017.pdf
- [11] FCHGo Project, <https://fchgo.eu/>
- [12] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/837



This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland



Ryc. 7a) Płytki aluminiowa i miedziana, włożone do jabłka „dają” różnicę potencjałów (warsztaty Uniwersytetu Dziecięcego w Głogowie, 2011, foto Maria Karwasz). b) Miłe zaskoczenie, gdy z wodoru i tlenu można zasilić ogniwo paliwowe a z powstałego prądu mały wiatraczek (foto KW).