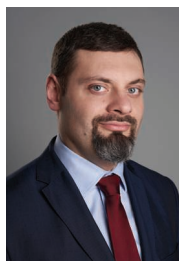


# Praktyczne wykorzystanie wodoru jako strategicznego nośnika energii na przykładzie sektora kolejowego

## Practical use of hydrogen as a strategic energy carrier on the example of the railway sector



**Alan Beroud**

Mgr inż.

Szybka Kolej Miejska sp. z o.o.

**Streszczenie:** W artykule autor omawia i analizuje założenia polityki klimatycznej i energetycznej UE. Wskazuje także oraz opisuje stan i perspektywy polskiego sektora energetycznego w kontekście wykorzystania nowych źródeł energii. W publikacji znalazły się - poparte obliczeniami - argumenty za wykorzystaniem wodoru jako strategicznego źródła energii na przykładzie sektora kolejowego.

**Słowa kluczowe:** Wodór; Energia; Kolej; UE

**Abstract:** In the article, the author submits and analyzes the assumptions of the EU climate and energy policy. He also indicates and describes the condition and prospects of the Polish energy sector in the context of the use of new energy sources. The publication includes - supported by calculations - arguments for the use of hydrogen as a strategic energy source on the example of the railway sector.

**Keywords:** Hydrogen; Energy; Railway, EU

### Wprowadzenie

Kryzys energetyczny wywołany prowadzonymi przez Federację Rosyjską działaniami wymierzonymi we wspierające Ukrainę państwa UE uświadomił decydentom politycznym konieczność przyspieszenia procesu przechodzenia z paliw kopalnych na te, które można wytworzyć w sposób sztuczny. Ważnym przy tym jest przestrzeganie zasad dotyczących ochrony środowiska naturalnego. Połączenie obydwu tych zadań jest procesem trudnym, aczkolwiek już nie karkołomnym jak można było sądzić jeszcze dwie, trzy dekady temu. Obecnie największe nadzieje wiąże się z wodorem jako paliwem przyszłości. W przeciwieństwie do energii wiatrowej i słonecznej nie jest on bowiem uzależniony od sił przyrody, a więc skutek jego zastosowania zarówno sektor przemysłowy, jak i szeroko definiowany sektor usług mogą liczyć na stabilne, bezpieczne dostawy.

Sektor kolejowy można traktować

zarówno jako element sektora przemysłowego w części dotyczącej wytwarzania składów kolejowych, modernizacji, przeglądów, w końcu napraw jak również jako sektor usługowy, który umożliwia szybkie przemieszczanie się zarówno w wymiarze lokalnym, jak i szerszym krajowym i międzynarodowym. Szczególną rolę wodór może odegrać jako paliwo już nie przyszłości, ale czasów nam współczesnych, np. w kolejach miejskich, które obsługują wielkie aglomeracje i które siłą rzeczy obok metra stanowią o możliwościach i ograniczeniach miejskiego transportu definiowanego jako całość istotnego systemu funkcjonowania, nie tylko miejskiej, ale i pozamiejskiej społeczności. W Polsce istnieją dwie aglomeracje miejskie, w których wykorzystanie pomysłu szybkich kolei miejskich już odgrywa lub będzie odgrywać istotną rolę. Pierwszą jest aglomeracja warszawska, drugą aglomeracja śląska. W obydwu przypadkach mówimy o potencjalnych setkach tysięcy pasażerów

dziennie. Prace nad szybką koleją miejską trwają również w dynamicznie rozwijającej się aglomeracji krakowskiej, która stosunkowo szybko przekroczyła milion mieszkańców. Stąd też kwestia kosztów zużywanej energii, jak również stabilność dostaw stanowi kluczowy problem dla sektora kolejowego.

### Założenia polityki klimatycznej i energetycznej UE

W związku z narastaniem kryzysu energetycznego oraz problemami związanymi z zanieczyszczeniem środowiska naturalnego będącymi pochodną efektu cieplarnianego państwa UE rozpoczęły intensywne działania na rzecz procesu dekarbonizacji i przechodzenia na OZE. Należy przy tym jednak zauważyć, iż proces ten jest kosztochłonny i wymaga czasu. Stąd też w dalszym ciągu na terenie niektórych państw UE trwa wydobywanie węgla kamiennego oraz brunatnego. Część z państw wygasza produkcję tych surowców,

część ma zaś z tym poważne problemy, bowiem ich gospodarki są zbyt uzależnione od istotnego dla sektora energetycznego paliwa kopalnego. Niewątpliwie do tych państw należy Polska. Niemniej jednak członkostwo w UE daje nam możliwości uzyskania środków finansowych, które mogą w sposób wyraźny wspomóc proces przechodzenia na inne źródła zaopatrzenia w energię.

Obecnie państwa członkowskie UE, w tym również Polska na COP w Paryżu przyjęły liczne zobowiązania oraz cele wiążące się zarówno z prowadzoną w ramach Wspólnoty polityką energetyczną, jak również szeroko definiowaną klimatyczną. Wśród nich na uwagę zasługują:

- 95% redukcji emisji gazów cieplarnianych;
- zerowe emisje CO<sub>2</sub> netto;
- całkowita dekarbonizacja sektora elektroenergetycznego.

Płynący z paryskiego COP przekaz jest wzmocniony licznymi unormowaniami prawnymi przyjętymi przez kraje członkowskie, w analizowanym przez mnie obszarze badawczym. Szczególnie istotna w tym względzie jest AFID – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/EU przyjęta głosami eurodeputowanych 22 października 2014 roku. Obejmuje ona wdrożenie do gospodarczego krwioobrotu UE infrastruktury paliw alternatywnych, przy czym - co należy zauważyć - niestety nie zakłada istotnych zobowiązań w zakresie problemów związanych z wykorzystaniem wodoru. Szczególnie przy tym istotne byłoby nałożenie zobowią-

zań w zakresie procesu wdrażania w życie infrastruktury tankowania paliwa wodorowego. Innym kluczowym dokumentem jest RED II - Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 roku w zakresie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. W myśl treści dokumentu, aby umożliwić szybsze, stabilniejsze i wydajniejsze wprowadzanie nowych ekologicznych źródeł energii każde z państw członkowskich zostało zobligowane do wprowadzenia obowiązku dla firm dostarczających paliwo do 14% udziału energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii w sektorze transportu. Zadania związane z przyjętymi unormowaniami prawnymi zakładają, iż do 2030 roku problem ten zostanie ostatecznie rozwiązany. Istotne przy tym są gwarancje pochodzenia paliw co pozostaje w ścisłej korelacji z koniecznością zdynamizowania działań na rzecz ochrony środowiska naturalnego.

W celu obliczenia tak zwanego „udziału minimalnego” państwa członkowskie są zobligowane do uwzględnienia odnawialnych ciekłych i gazowych paliw transportowych pochodzenia niebiologicznego. Według wytycznych dzieje się tak i wtedy, gdy są one wygenerowane jako produkt stanowiący paliwowy sworzeń w produkcji finalnej paliw konwencjonalnych. Zdaniem autora gwarancje pochodzenia powinny zostać znacznie rozszerzone również o gaz ze źródeł odnawialnych.

System gwarancyjny w omawianym obszarze powinien również obejmować energię ze źródeł nieodnawialnych. Gwarancje pochodzenia, które

są obecnie stosowane do odnawialnej energii elektrycznej, powinny zostać rozszerzone na gaz ze źródeł odnawialnych. Wskutek tak zdefiniowanej polityki energetycznej pojawiłaby się możliwość zastosowania gwarancji w odniesieniu do wodoru.

## Rozwój polskiego sektora energetycznego w ramach wykorzystania nowych źródeł energii. Stan obecny, perspektywy

Problemem związanym z rozwojem polskiego systemu energetycznego jest opóźnienie we wprowadzaniu niezbędnych zmian. Od wielu lat wiadomym było, iż wyczerpują się nasze możliwości w zakresie produkcji węgla kamiennego oraz brunatnego, a wraz ze zmianami świadomościowymi mającymi miejsce w UE nastąpi przyspieszenie procesu dekarbonizacji oraz przechodzenia na OZE.

W zasadzie jedynie rząd premiera Jerzego Buzka miał w tym zakresie spójny plan, który powinien być kontynuowany przez kolejne ekipy władzy, bez względu na ich polityczne zapatrywania. Niestety obecnie stoimy przed wyzwaniem skumulowanymi w wyniku zaniechań ostatnich kilku lat, z którymi - wraz z upływem czasu - będzie coraz trudniej sobie poradzić bez wydatnej pomocy z zewnątrz, w domyśle z UE.

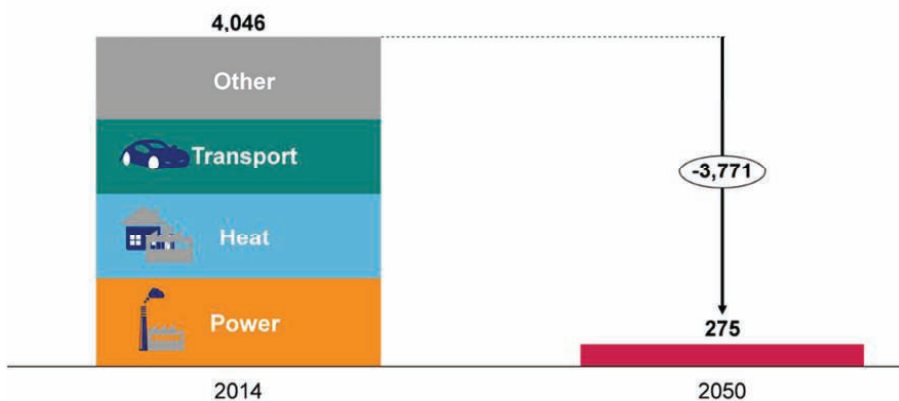
W perspektywie dwóch dekad jesteśmy zobligowani do rezygnacji z 20 tys. MW wytwarzanych w obecnej chwili w oparciu o węgiel kamienny oraz brunatny. Otwartym pozostaje pytanie czy zdążymy z budową elektrowni jądrowych, bowiem jak na razie projekty związane z sektorem atomowym pozostają w fazie prac wstępnych, nawet nie studyjnych.

Według autora niniejszej publikacji w bilansie energetycznym Polski powinno znaleźć się minimum jedno źródło energetyczne o mocy zbliżonej do tej którą dysponują bloki atomowe elektrowni jądrowej Kashiwazaki - Kariwa w Korei Południowej. Moc bloków koreańskiej elektrowni wynosi 7965 MW i opiera się na siedmiu bezpiecznych, bowiem wygenerowanych w oparciu o nowoczesne proekologiczne technologie reaktorach jądrowych. Ko-



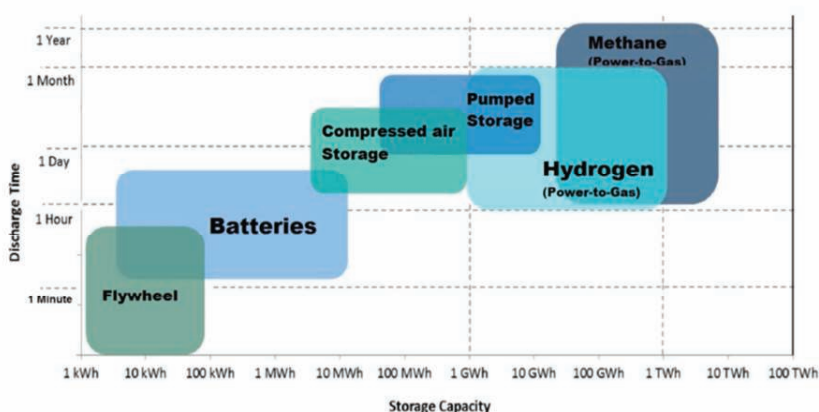
1. Strategiczne cele polityki klimatycznej oraz energetycznej UE [1]

FIGURE 1 – THE SCALE OF EUROPE'S DECARBONISATION PROBLEM (MtCO<sub>2</sub>e)

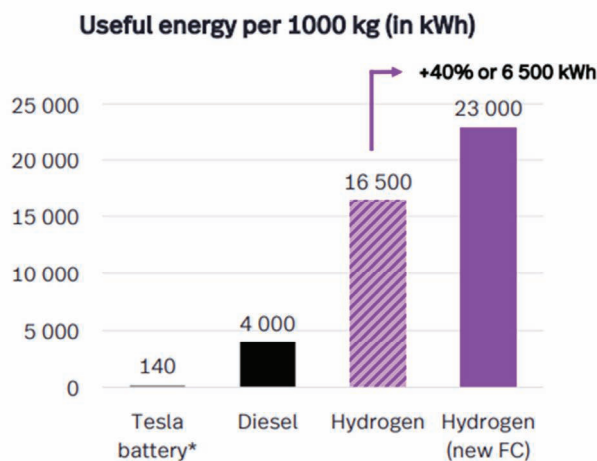


Source: 2016 National Inventory Submissions (Common Reporting Format) for EU, Norway and Switzerland.

## 2. Proces dekarbonizacji na przykładzie UE, Norwegii, Szwajcarii [3]



## 3. Cechy wodoru jako uniwersalnego paliwa XXI wieku [4]



## 4. Efektywność konwersji [6]

lejne 10 tys. MW powinno pochodzić ze źródeł gazowych zabezpieczonych odpowiednimi zdolnościami magazynowymi, które w efekcie końcowym wpływają na ocenę stabilności systemu energetycznego państwa. Zwiększenie mocy magazynowych państwa ma również sens w obliczu zwiększania możliwości skraplania LNG w terminalu w Świnoujściu, jak również w przypadku realizacji dalszej rozbudowy infrastruktury LNG w Polsce[2].

Pozostałe moce energetyczne państwo polskie powinno sukcesywnie zastępować OZE. Należy podkreślić, iż jest to zgodne z kierunkiem rozwoju europejskiego sektora energetycznego. Podstawowym problemem do rozwiązania w tym przypadku jest jednak kwestia magazynowania energii. Obecnie jedyną znaną technologią umożliwiającą realnie magazynowanie energii w skali niezbędnej do osiągnięcia strategicznych celów dekarboniza-

cji (TWh) jest ta opierająca się na wodrze.

Po przeanalizowaniu powyższych ilustracji oraz w oparciu o dostępne w tym względzie materiały źródłowe należy wyciągnąć co najmniej kilka istotnych wniosków przemawiających - zdaniem autora - w sposób jednoznaczny za wykorzystaniem wodoru. I tak, aby obecnie przy wykorzystaniu posiadanych technologii zmagazynować 10% rocznie zużywanej przez konsumenta indywidualnego i zinstytucjonalizowanego w naszym kraju energii elektrycznej, należałoby zainstalować akumulatory o łącznej wadze 160 mld ton, co świadczy o absurdalności walki z postępowaniem na rzecz utrzymania dotychczasowego status quo. Inną cechą wodoru przemawiającą za jego wykorzystaniem jest wysoka gęstość energetyczna tego gazu co powoduje, iż może on znaleźć skuteczne zastosowanie praktycznie we wszystkich środkach transportu. Należy przy tym pamiętać, iż im większy dystans i zapotrzebowanie na moc tym bardziej efektywne staje się wykorzystanie tego rodzaju gazu. W dodatku wykorzystanie wodoru w systemie tłoczenia gazu zwiększa możliwości magazynowe do 4,5 TWh. Kolejną kwestią przemawiającą za wykorzystaniem wodoru są stałe postępy w pracach na rzecz zwiększenia wydajności i stabilności systemu ogniwo-paliwowych. Wszystko to łącznie zdaje się generować lepszy, niż dziś obraz przyszłości pozbawionej w dużym stopniu paliw kopalnych [5].

Podsumowując powyższe rozważania tym razem w aspekcie ochrony środowiska naturalnego należy podkreślić, iż spalanie paliw kopalnych pozostaje nadal podstawowym źródłem emisji zanieczyszczeń. W skali globalnej ponad 75% emisji NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub>, 70 % emisji CO, ponad 75% emisji pyłów i ponad 90% emisji CO<sub>2</sub> pochodzi z procesów spalania węgla kamiennego, brunatnego, ropy naftowej i gazu ziemnego. Opracowana w ramach CAFE (Clean Air for Europe) Strategia Tematyczna Czystego Powietrza zakłada, iż na przestrzeni ośmiu lat, czyli do 2022 roku nastąpi poważna redukcja emisji związków chemicznych.

**Tab. 1.** Redukcja emisji wybranych związków chemicznych (CAFE)

SO <sub>2</sub>	82%
NO <sub>x</sub>	60%
PM <sub>2,5</sub>	59%

Źródło: Opracowanie własne

## Pociąg z napędem wodorowym wobec pociągu z napięciem elektrycznym: porównanie analityczne

Mając na uwadze przytoczone wyżej dane, posilkując się dostępnymi prognozami można założyć, że wodór ma szansę stać się strategicznym nośnikiem energii w sektorze kolejowym. W przypadku pociągu o zasilaniu bezpośrednim eliminujemy bowiem straty przesyłowe energii oraz posiadamy wyższą sprawność procesu, wynikającą z braku wytwarzania paliwa w źródle centralnym. Ponadto wodór eliminuje konieczność inwestycji w system przesyłu energii zarówno centralnej, jak też trakcyjnej.

Porównując pociąg o zasilaniu elektrycznym z pociągiem napędzanym lokomotywą wodorową należy osadzić ten pierwszy w realiach polskich, czyli systemu w przeważającej mierze opartego na węglu. Poniżej zaprezentowano porównanie analityczne w tym zakresie z uwzględnieniem wyliczenia sprawności procesu.

### Wzory i obliczenia:

$\eta_{el\ netto}$  – sprawność energii elektrycznej

$E_{ch\ pal}$  – energia chemiczna paliwa

$E_{el\ netto}$  – energia elektryczna netto

$p$  – ilość zużytego paliwa

$E_{el\ zużyta}$  – energia zużyta przez pociąg

$W_d$  – wartość opałowa zużytego paliwa

$\eta_{in}$  – sprawność przesyłu energii elektrycznej

$$\eta_{el\ netto} = \frac{E_{el\ netto}}{E_{ch\ pal}} = \frac{E_{el\ netto}}{(E_{el\ zużyta} / \eta_{in}) / (p \times W_d)} = 41\%$$

$$\eta_{el\ netto} = \eta_k \times \eta_{tp} \times \eta_m \times \eta_g \times (1 - \Sigma) \times \eta_{ecr}$$

$\eta_k$  – sprawność kotła

$\eta_{tp}$  – sprawność wewnętrzna turbiny parowej

$\eta_m$  – sprawność mechaniczna turbiny parowej

$\eta_g$  – sprawność generatora

$\Sigma$  – potrzeby własne źródła

$\eta_{ecr}$  – sprawność energetyczna obiegu

Wartość opałowa węgla  $W_d$  [7] = 21,77 MJ/kg

Wskaźnik emisji 93,49 kg/GJ

1) Obliczenia dla pociągu Impuls 45WE użytkowanego przez SKM Warszawa. Przyjęto zużycie energii 760 kWh/100 km

$$E_{el\ zużyta} = 760 \text{ kWh} = 2736 \text{ MJ} = 2,736 \text{ GJ}$$

$$1 \text{ kWh} = 1 \times 1000 \text{ W} \times 60 \times 60 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ Ws} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$E_{el\ netto} = E_{el\ zużyta} / \eta_{tp} = 2736 \text{ MJ} / 0,95 = 2880 \text{ MJ}$$

$$E_{ch\ pal} = E_{el\ netto} / \eta_{el\ netto} = 2880 \text{ MJ} / 0,41 = 7,024 \text{ MJ}$$

$$p = E_{ch\ pal} / W_{d\ węgla} = 7,024 \text{ MJ} / 21,77 \text{ MJ/kg} = 322 \text{ kg węgla} / 100 \text{ km}$$

$$E_{CO_2} = e_{CO_2} \times E_{ch\ pal} = 7,024 \text{ GJ} \times 93,49 \text{ kg/GJ} = 656,67 \text{ kg CO}_2$$

Przy założeniu ceny węgla z 2021 r. na poziomie 996,60 zł za tonę, czyli 0,997 zł za 1 kg, koszt paliwa niezbędnego do przejechania 100 km wynosi 321 zł.

2) Pociąg wodorowy typ Coradia ILint Alstom o zasięgu 800-1000 km, na dwóch zbiornikach wodoru po 90 kg każdy. Przyjęto zasięg 800 km.

$$m = (\text{zużycie wodoru}) / (100 \text{ km}) = (180 \text{ kg}) / (800 \text{ km}) \times 100 = 22,5 \text{ kg}$$

Portal PV-Magazine [8] na podstawie wyliczeń i szacunków grupy europejskich naukowców pod przewodnictwem ETIP-PV przewiduje, że cena 1 kg wodoru w 2030 r. (horyzont inwestycji w nowy tabor) wyniesie 1,8 euro/kg.

W takim przypadku koszt paliwa do przejechania 100 km to 22,5 kg x 1,8 euro = 40,5 Euro x 4,65 zł = 188,325 zł.

### Podsumowanie

Biorąc pod uwagę dziesięcioletni horyzont planowania inwestycji w tabor kolejowy, przy uwzględnieniu propo-

nowanej ceny wodoru oraz niewygórowanej ceny węgla z 2021 r., który obecnie jest znacznie droższy, a także mając na uwadze specyfikę polskiego sektora energetycznego i przyjęcie wersji danych technicznych producentów taboru należałoby uznać tabor wodorowy za wysoce konkurencyjny.

W przypadku porównania kosztów eksploatacji, które wynoszą 321 zł/100 km przy taborze elektrycznym do 188,325 zł przy taborze wodorowym, koszty tego drugiego są znacznie niższe.

Uzasadnione wydaje się gruntowne przeanalizowanie tematu w odniesieniu do lokomotyw o zasilaniu elektrycznym (koszt ok. 30 mln zł za elektryczny zespół trakcyjny) w porównaniu do kosztu zakupu lokomotyw wodorowych (ok. 45 mln zł, dane dla producenta ALSTOM). Dodatkowo należy zaznaczyć, że emisja CO<sub>2</sub> przy EZT konwencjonalnym to 656,67 kg CO<sub>2</sub>, zaś przy napędzie wodorowym wynosi zero. Ponadto minimalizowane są koszty kolejowej infrastruktury energetycznej, co jest niewątpliwą zaletą od strony pozycji kosztowych. ◀

### Materiały źródłowe

[1] Prezentacja „Hydrogen as an alternative fuel”, 2nd Polish Conference on Hydrogen and Technology, Nexus Consultants; Gdynia 2018, slajd 2

[2] PMG Swarzów (w wyeksploatowanym złożu gazu wysokometanowego) o pojemności 90 mln m<sup>3</sup>; PMG Strachocina (w wyeksploatowanym złożu gazu wysokometanowego) o pojemności 360 mln m<sup>3</sup>; PMG Brzeźnica

(w wyeksploatowanym złożu gazu wysokometanowego) o pojemności 65 mln m<sup>3</sup>; PMG Husów (w wyeksploatowanym złożu gazu wysokometanowego) o pojemności 500 mln m<sup>3</sup>; PMG Wierzchowice

(w wyeksploatowanym złożu gazu azotanowego) o pojemności ponad 1 200 mln m<sup>3</sup>; PMG Mogilno (w kawernach solnych) o pojemności 411,89 mln m<sup>3</sup> (pierwsze 2 komory oddane do eksploatacji w 1997 roku); PMG Kosakowo (w kawer-

nach solnych) o pojemności 145,5 mln m<sup>3</sup> (w 5 kawernach, ostatnia oddana do eksploatacji w 2016)

- [3] Prezentacja "Hydrogen as an alternative fuel"..., slajd 6
- [4] Tamże, slajd 8
- [5] Za twórcę systemu działania ogniwa wodorowych uważa się Christiana Friedricha Schönbeina. Ze swoim naukowym wynalazkiem podzielił się on z czytelnikami w styczniu 1839 roku na łamach „Philosophical Magazine” („Magazynu Filozoficznego”), z których większość stanowili przedstawiciele świata nauki. Na podstawie prac studyjnych tego niemiecko – szwajcarskiego chemika Walijczyk William Grove stworzył pierwsze działające ogniwo paliwowe. Prace nad ogniwami paliwowymi kontynuowano również w latach następnych. I tak w 1887 roku Walther Hermann Nernst sporządził opis

matematyczny działania ogniwa paliwowego (równanie Nersta). W 1958 roku amerykańscy oraz brytyjscy naukowcy wyprodukowali w oparciu o posiadaną wówczas w tej dziedzinie wiedzę ogniwa paliwowe służące spalaniu wodoru. Jak to często bywa z odkryciami naukowymi (wynalazkami) ogniwa te nie znalazły jednak praktycznego zastosowania. Wpływ na to ma bez wątpienia lobby paliwowe skupione wokół producentów paliw kopalnych, którzy niechętni byli wszelkiego rodzaju innowacjom zagrażającym ich interesom ekonomicznym. W latach 60. ubiegłego stulecia w USA zaczęto wykorzystywać ogniwa z membranami polimerowymi lub AFC jako źródło elektryczności oraz wody. Znalazły one swoje zastosowanie w projektach kosmicznych (Gemini 5, Apollo). Problemem pozostawały

koszty wykorzystywanych w produkcji ogniów paliwowych materiałów. Dalszy postęp technologiczny, który przypadł na dwie ostatnie dekady XX wieku przyczynił się do rozwiązania większości z omówionych wyżej wyzwań (między innymi wykorzystano membranę polimerową jako elektrolit, zmniejszono ilość palatyny używanej do produkcji ogniów). Tym samym przyniosło to za sobą możliwości zastosowania ogniów paliwowych do celów komercyjnych.

- [6] Prezentacja "Hydrogen as an alternative fuel"...
- [7] Podana emisja CO<sub>2</sub> oraz Wd węgla za stroną internetową [www.kobize.pl](http://www.kobize.pl)
- [8] Strona internetowa <https://globenergia.pl/koszt-produkcji-wodoru-z-wykorzystaniem-pv-spadnie-do-07-18-euro-kg-w-2030-roku/>

REKLAMA



## RAILPROFILE 2D

### LASEROWY POMIAR PROFILU KAŻEGO RODZAJU SZYN ORAZ ROZJAZDÓW

Urządzenie obsługiwane jest przez aplikację na telefonie z systemem Android™.

Railprofile 2D mierzy pełny profil główki szyny oraz wylicza parametry dotyczące obszaru szlifowania. Dostępna jest również funkcja związana z pomiarem rozjazdu lub jego elementów. Urządzenie prezentuje wynik pomiaru bezpośrednio na ekranie aplikacji.

Więcej informacji na [www.graw.com](http://www.graw.com)

