

# Czy ogniwa paliwowe staną się przyszłością elektroenergetyki?

Prof. dr hab. inż. Antoni Dmowski  
mgr inż. Piotr Biczal  
mgr inż. Bartłomiej Kras  
Instytut Elektroenergetyki  
Politechnika Warszawska

## 1. Wstęp

W systemach energetycznych występuje znane od lat zjawisko “obciążenia szczytowego”. Bardzo ogólnie można powiedzieć, że zjawisko obciążeń szczytowych może występować w cyklach dziennych, tygodniowych oraz w zależności od pory roku. Występowanie “szczytów” obciążeń energetycznych zmusza energetykę zawodową do budowy elektrowni szczytowych lub utrzymywania “gorącej rezerwy” w elektrowniach związanych z systemem energetycznym. Problemy obciążeń szczytowych będą stawały się coraz bardziej ostre w miarę dołączone do systemu energetycznego coraz większej ilości źródeł alternatywnych (odnawialnych). Okres dostarczania maksymalnej ilości energii przez źródła odnawialne nie koniecznie musi się pokrywać ze szczytami obciążeń w systemie energetycznym. Jest rzeczą ogólnie znaną, że ilość energii dostarczana przez źródła odnawialne zależy od:

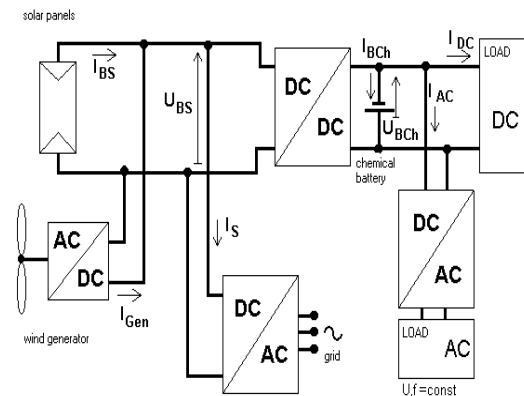
1. siły wiatru (elektrownie wiatrowe);
2. intensywności promieniowania słonecznego (elektrownie fotowoltaiczne – kolektory słoneczne);
3. ilości wody (małe elektrownie wodne).

Ponieważ maksimum dostarczonej mocy przez źródła odnawialne bardzo rzadko pokrywa się z szczytami obciążenia systemu energetycznego powoduje to konieczność zwiększenia “gorącej rezerwy systemu” energetycznego. Tą gorącą rezerwę systemu ma być:

1. utrzymanie pewnej ilości turbozespołów przy obniżonym obciążeniu w elektrowniach ciepłych;
2. wykorzystanie szczytowo pompowych elektrowni wodnych;
3. wykorzystanie elektrowni z turbinami gazowymi;

4. wykorzystanie urządzeń z możliwością magazynowania lub wytwarzania energii w źródłach chemicznych;

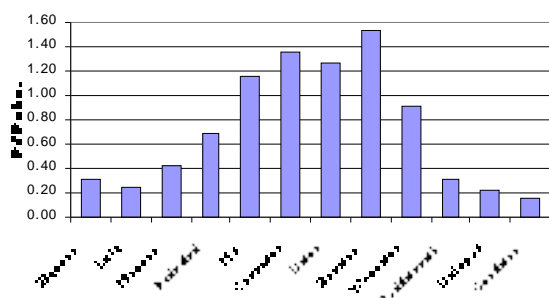
Do magazynowania energii w krótkim okresie (np. 1 tydzień) mogą być wykorzystywane np. baterie ołowiowo kwasowe. Do magazynowania przez długi czas (np. 0,5 roku) oraz do wytwarzania energii mogą być użyte ogniwa paliwowe.



Rys. 1. Schemat blokowy wyspowej elektrowni fotowoltaiczno wiatrowej.

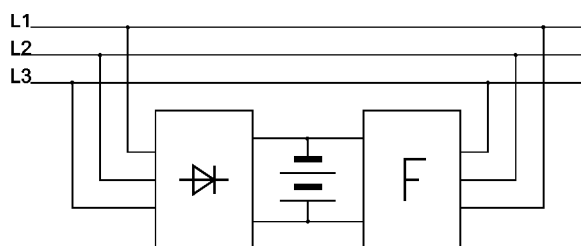
## 2. Elektrownie z krótkim okresem magazynowania energii..

Rysunek nr 1 przedstawia schemat blokowy wyspowej elektrowni fotowoltaiczno wiatrowej, w której do magazynowania energii zastosowano baterię chemiczną (żelową). Użyta w tym przypadku bateria chemiczna służy do pokrycia zapotrzebowania energetycznego odbiornika w przypadku braku oświetlenia słonecznego lub braku wiatru. Rysunek nr 2 przedstawia ilość energii produkowanej w opisywanej elektrowni wyspowej w zależności od pory roku.



Rys. 2. Produkcja energii elektrycznej ze słonecznej w roku.

Na podstawie analizy rysunku nr 2 można zauważyć, że w miesiącach zimowych wystąpi deficyt energii. Rozwiązanie tego problemu może nastąpić w wyniku zastosowania innego magazynu energii elektrycznej o długim czasie przechowywania. Rysunek nr 3 przedstawia schemat blokowy urządzenia energetycznego, które zaczyna być stosowane w krajach wysoko rozwiniętych (USA, Niemcy, Japonia, Wlk. Brytania, Kanada) do ograniczenia obciążeń szczytowych w systemach energetycznych.



Rys. 3. Schemat blokowy zasobnika energii.

Przedstawione na schemacie (rys. 3.) urządzenie – zwane często zasobnikiem energii – pobiera energię z systemu w czasie doliny obciążenia. Energia ta jest następnie magazynowana w baterii chemicznej (ołowiowej). W czasie szczytu obciążenia energia ta przez przetwornicę DC/AC jest przekazywana do sieci energetycznej. Ze względu na użyty magazyn energii układ nadaje się do wyrównywania obciążeń systemu energetycznego w cyklu dobowym lub tygodniowym. W cyklu długo okresowym np. 1 miesiąc ÷ 5 miesięcy duża ilość energii magazynowanej w baterii w baterii chemicznej jest tracona. Powoduje to, że opisane urządzenie nie spełnia swojego zadania.

### 3. Ognio paliwowe jako długo okresowy magazyn energii elektrycznej

Magazynowanie energii od lat jest problem, nad którym pracują zespoły inżynierów i naukowców z całego świata. Zmagazynowanie dużej lub bardzo dużej ilości energii na długi czas pozwoli na rozwój wielu dziedzin techniki (np. pchnie przemysł motoryzacyjny na drogę pojazdu elektrycznego). Poszukuje się rozwiązania tego problemu przez rozwój technologii baterii chemicznych różnych rodzajów, budowę układów akumulatorów mechanicznych tzw. wirujących kół lub budowę superkondensatorów. Wszystkie te techniki nie pozwalają na dłuższe przechowywanie bardzo dużych ilości energii. Nie spełnią więc opisanych wyżej wymagań wyrównywania mocy w systemie energetycznym.

Poszukiwanie źródeł energii o bardzo dużej gęstości mocy na potrzeby programów kosmicznych zwróciło uwagę badaczy na wynalazek Wiliama Grove'a z 1837 r. – ogniwo paliwowe. Bezpośrednią przyczyną tego stało się wynalezienie efektywnego elektrolitu niezbędnego do pracy tego urządzenia. W konsekwencji rozwijano technologię wytwarzania i przechowywania wodoru.

Dzisiaj wielu specjalistów od przechowywania i wytwarzania energii elektrycznej upatruje w technologii wodorowej przyszłości energetyki. Wynika to z kilku przesłanek:

- nieograniczonych zasobów wodoru;
- braku emisji szkodliwych związków;
- wysokiej sprawności wytwarzania energii z wodoru;
- łatwości magazynowania wodoru;
- dużej dynamiki układów wytwarzania energii;
- możliwości budowy wysokosprawnych małych siłowni.

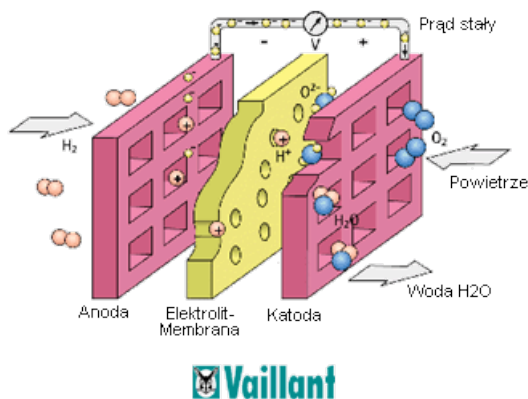
#### 3.1. Zasada działania ogniwa paliwowego

Działanie ogniwa paliwowego opiera się na reakcji syntezy wody na drodze elektrochemicznego "spalania" wodoru, czyli na odwróconej elektrolizie wody.

Budowę ogniwa paliwowego prezentuje rysunek nr 4. Anoda i katoda rozdzielone są przez elektrolit, który przepuszcza tylko dodatnio naładowane jony wodoru  $H^+$  – protony. Elektrody pokryte są warstwą katalizatora.

## TECHNOLOGIA OGNIW PALIWOWYCH

### Zasada działania



Rys. 4. Zasada działania ogniwa paliwowego

Do anody dostarczane jest paliwo w postaci wodoru. Tutaj obecność katalizatora powoduje uwolnienie elektronów z atomów wodoru. Elektrony te przepływają przez obwód elektryczny na drugą stronę elektrolitu do katody. Mogą wtedy wykonać pracę. Wzór (1) opisuje reakcję zachodzącą na powierzchni anody.



Elektrony, które docierają do katody, pod wpływem warstwy katalitycznej, jonizują atomy tlenu. Następnie jony tlenu  $\text{O}^{2-}$  łączą się z protonami tworząc cząsteczki wody. Opisuje to wzór (2).



Ruch elektronów oraz wydzielające się ciepło mogą być wykorzystane praktycznie.

Wodór do zasilania ogniwa paliwowego może być otrzymywany z gazu ziemnego w wyniku reformowania. Węglowodory są egzotermicznie cząsteczkowo oksydowane w obecności katalizatora z tlenem ( $\text{O}_2$ ) lub endotermicznie reformowane parowo z parą wodną ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Podczas obu reakcji powstaje dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ) oraz wodór ( $\text{H}_2$ ). Opisują to wzory odpowiednio (3) i (4).



### 3.2. Różne przykłady wykorzystania ogniów blokowych

W krajach wysoko uprzemysłowionych wybudowano już kilkadziesiąt instalacji wykorzystujących ogniwa paliwowe do generowania energii elektrycznej. Poniższe zdjęcia prezentują kilka z nich. Układy te można podzielić na generacyjne i szczytowe.

Rysunek nr 5 pokazuje generator firmy Ballard o mocy 250 kW, rysunki 6 i 7 pokazują układy te w miejscach pracy. Rysunek 8 przedstawia instalację pięciu generatorów firmy International Fuel Cells o mocy 200 kW każdy zasilający rejonowy urząd poczty USPS w Anchorage na Alasce.



Rys. 5. Generator z ogniwnem paliwowym o mocy 250 kW firmy Ballard Power Systems.



Rys. 6. Genrator z rys. 5 w Cinergy USA.

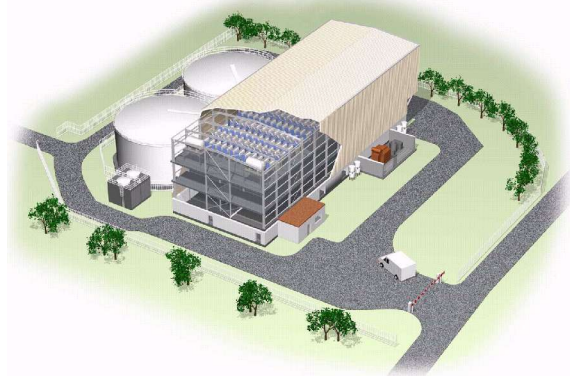


Rys. 7. Generator z rys. 5 w Bewag, Niemcy.



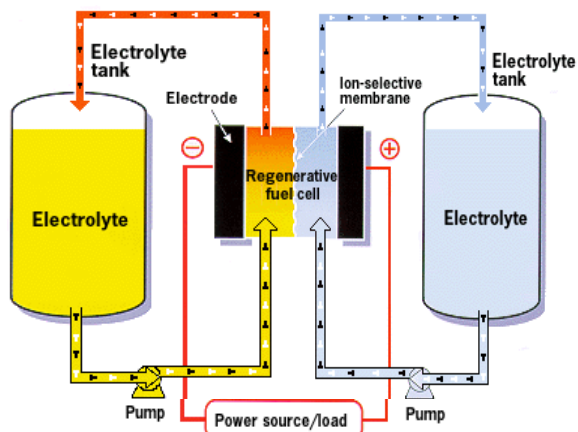
Rys. 8. Układ pięciu generatorów firmy International Fuel Cells zasilający rejonowy urząd poczty (USPS) w Anchorage, Alaska.

Kolejny rysunek nr 9 jest wart szczególnej uwagi. Przedstawia on układ szczytowy o mocy 15 MW i energii 120 MWh, którego budowę rozpoczęła firma Innogy Technology Ventures Ltd. w Little Barford w Wielkiej Brytanii. Przybliżony koszt budowy takiej instalacji wynosi 21 mln. USD.



Rys. 9. Wizja elektrowni szczytowej w Little Bradford, Wlk. Brytania

Instalacja ta jest oparta o system Regenesys™ opracowany w Innogy, którego ideę przedstawia rysunek nr 10. Zdjęcie modułów Regenesys™ prezentuje rysunek nr 11.



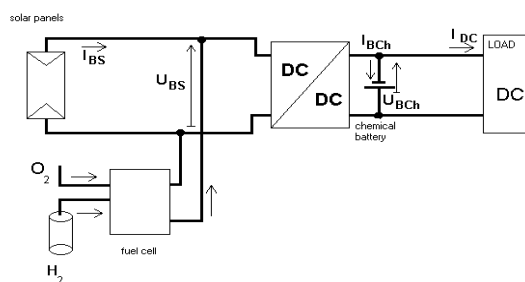
Rys. 10. Schemat układu Regenesys™.



Rys. 11. Moduły Regenesys™ różnej wielkości firmy Innogy Technology Ventures Ltd.

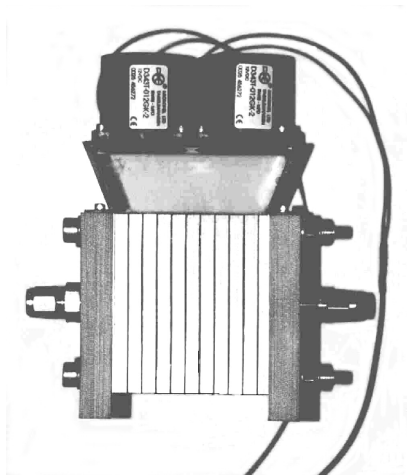
#### 4. Instalacje z ogniwami paliwowymi w Polsce

Z posiadanych przez nasz zespół informacji wynika, że opisany w tym rozdziale i pokazany na rysunku nr 12 układ jest jedyną w Polsce instalacją wykorzystującą ogniwo paliwowe do produkcji energii elektrycznej.



Rys. 12. Elektrownia słoneczna z ogniwem paliwowym.

System składa się z dwóch paneli fotowoltaicznych o mocy 110W, ogniwa paliwowego o mocy 50W (rys. ??) firmy Heliocentris GmbH, baterii chemicznej, układu przetwarzania energii i układu sterowania. Układ ma zasilać odbiornik o mocy 40W.



**Rys. 13.** Fotografia zastosowanego ogniwa paliwowego.

W tym układzie zadaniem ogniwa paliwowego jest dostarczenie energii do odbiornika w okresie deficytu mocy pochodzącej ze słońca, głównie w okresie jesienno zimowym i nocą. W dalszej perspektywie zostanie dołączony elektrolizer, którego zadaniem będzie przetworzenie nadwyżki energii słonecznej, występującej w okresie letnim, na wodór. Wodór ten zostanie wykorzystany do wytworzenia prądu w ogniwie paliwowym w okresach niedoboru energii.

## 5. Zakończenie

Reasumując należy powiedzieć, że istnieje ogólnoswiatowy trend do budowy instalacji szczytowych w oparciu o technologię wodoru i ogniwa paliwowego. Stosuje się różne rodzaje ogniw i paliw. Dzisiaj główną barierą rozwoju tej dziedziny jest wysoki koszt wykonania ogniwa paliwowego. Trzeba się jednak spodziewać gwałtownego spadku cen związanego ze zwiększonym popytem na te instalacje.

Zwiększenie zainteresowania, a co za tym idzie popytu, wynika z faktu poszukiwania nowych źródeł energii, które będą mogły w najbliższym czasie zastąpić paliwa kopalne oraz z rozwijającego się trendu rozproszonego wytwarzania energii elektrycznej. Znaczący

wpływ na rozwój tej technologii ma też deregulacja rynku, tendencja do unikania kosztów związanych z przesyłem energii i lokalne bilansowanie energii.

## 6. Literatura

1. Dmowski, Biczek, Iwaszko, Kras: Układ niekonwencjonalnego gwarantowanego źródła zasilania z ogniwem paliwowym. Podstawowe Problemy Energoelektroniki i Elektromechaniki, PTETIS, Wisła 11 – 14.12.2000.
2. Dmowski, Kras, Szczupak: Wind-Solar Power Plant With The Chemical Battery. Ogólnopolskie Forum Odnawialnych Energii, Jurata 1999
3. Hartkopf Thomas: Mini Storage Systems. MICRO.tec 2000 Proceedings Volume 1 p. 435. Expo 2000, Hannover, Germany
4. <http://www.regenesys.com>
5. <http://www.ballard.com>
6. <http://www.onsicorp.com>
7. <http://www.vaillant.com.pl>

## 7. Autorzy

Prof. dr hab. inż. Antoni Dmowski  
mgr inż. Piotr Biczek  
mgr inż. Bartłomiej Kras  
Politechnika Warszawska  
Instytut Elektroenergetyki  
ul. Koszykowa 75  
00-662 Warszawa  
tel. 0-22 660 73 66  
fax. 0-22 621 86 46  
e-mail: biczelp@ee.pw.edu.pl