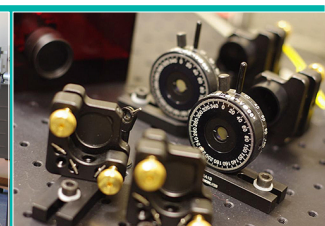
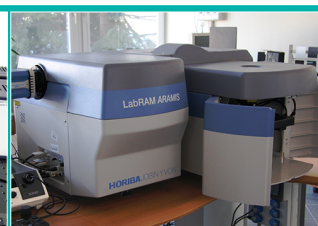


Ćwiczenie 8

Badanie własności wodorowych ogniw paliwowych (PEM)

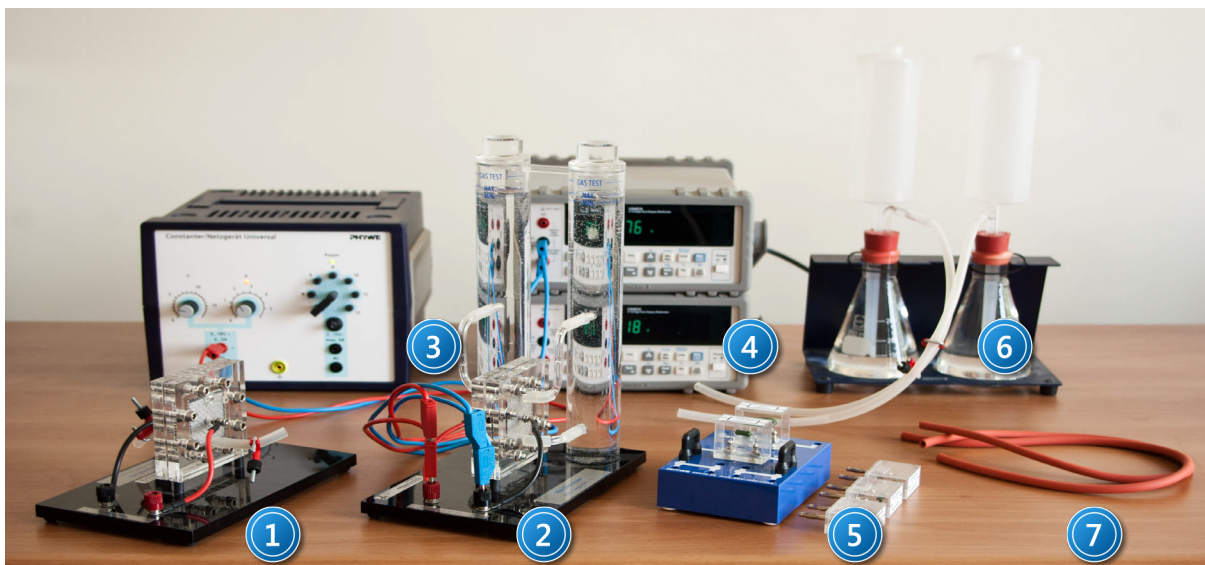


I. Zagadnienia do opracowania.

1. Typy ogniw paliwowych.
2. Komórki paliwowe PEM (Proton Exchange Membrane).
 - a) budowa i zasada działania;
 - b) sprawność energetyczna komórek PEM;
 - c) charakterystyka prądowo – napięciowa ogniwa PEM;
 - d) zastosowanie komórek PEM;
 - e) warunki pracy ogniw PEM;
 - f) wady i zalety ogniw PEM.
3. Proces elektrolizy:
 - a) prawa Faraday'a;
 - b) elektrolityczny rozkład wody.
4. Elektrolizer PEM:
 - a) budowa elektrolizera;
 - b) charakterystyka prądowo – napięciowa elektrolizera;
 - c) sprawność elektrolizera.
5. Elektroujemność.
6. Nowoczesne membrany polimerowe dla ogniw PEM.
7. Elektrody i katalizatory elektrolizy w ogniwach PEM.
8. Metody wytwarzania wodoru. Magazynowanie wodoru.

II. Zadania doświadczalne.

1. Zapoznać się z układem pomiarowym widocznym na *Zdjęciu 1*.

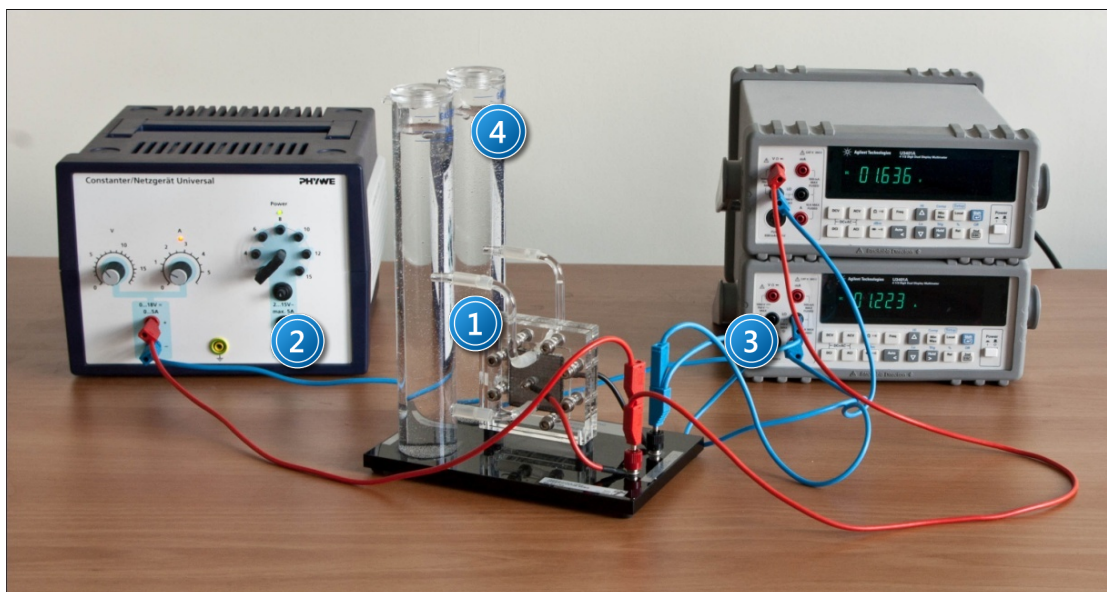


Zdjęcie 1. Układ do badania własności ogniw paliwowych: 1 – ogniwo paliwowe PEM; 2 – elektrolizer PEM; 3 – generator; 4 – mierniki uniwersalne; 5 – rezystory z płytką montażową; 6 – gazometr; 7 – wężyk do łączenia elektrolizera z ogniwem.

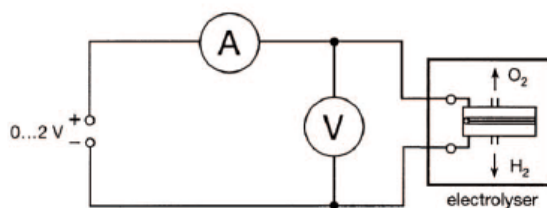
2. Wyznaczyć charakterystykę prądowo – napięciową elektrolizera.

W tym celu zestawić układ pomiarowy jak na *Zdjęciu 2* i połączyć jego elementy według schematu na *Rysunku 3*. Jeden miernik uniwersalny podłączyć szeregowo pomiędzy elektrolizernem a generatorem jako amperomierz (ustawić na nim zakres A) a drugi podłączyć równoległe pomiędzy opornicą a generatorem jako woltomierz (ustawić zakres 200 V).

Nalać wodę destylowaną do obu zbiorników elektrolizera (1 na *Zdjęciu 2*) do poziomu pomiędzy znacznikami *Min* i *Max*.



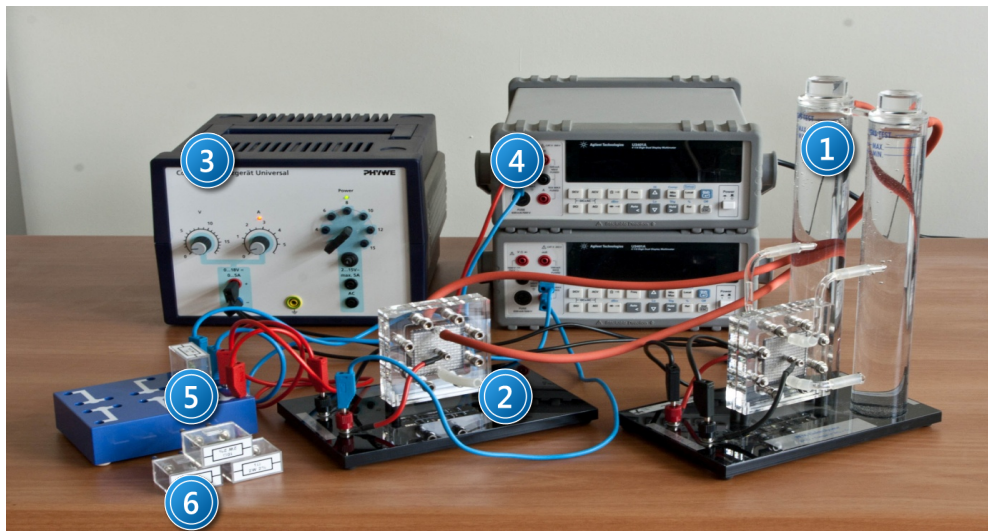
Zdjęcie 2. Układ do wyznaczenia charakterystyk elektrolizera: 1 – elektrolizer; 2 – generator; 3 – mierniki uniwersalne; 4 – znaczniki poziomu wody w zbiornikach elektrolizera.



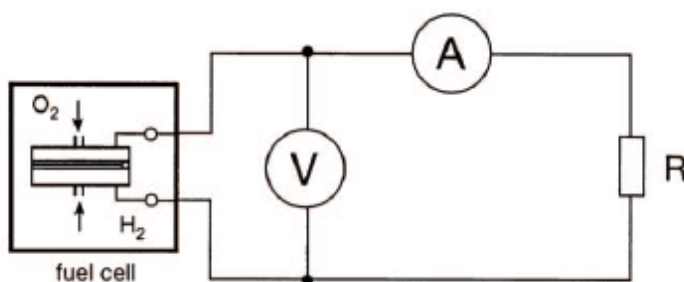
Rysunek 3. Schemat układu pomiarowego (źródło: Phywe).

- Ustawić na generatorze maksymalne napięcie 2 V a nastawy ogranicznika prądu generatora regulować tak, aby wartości prądu w układzie nie przekroczyły odpowiednio 2 V i 2 A.
- Zmniejszać stopniowo napięcie panujące w układzie od 2 V do 1,4 V co 0,05 V notując wartości napięcia U i natężenia prądu I wskazywane przez mierniki uniwersalne.
- Wykreślić charakterystykę prądowo – napięciową $I = f(U)$ elektrolizera.
- Wyznaczyć napięcie rozkładu U_z (potencjał elektrod, gdy elektroliza następuje samoistnie).
- Wyznaczyć charakterystykę prądowo - napięciową ogniwa paliwowego korzystając ze *Zdjęcia 4*.

Wypełnić wodą destylowaną oba zbiorniki elektrolizera (1 na Zdjęciu 4) do znacznika *Gas Test* i zamknąć je nakrętkami a następnie połączyć wężykiem górne wyjścia zbiorników elektrolizera z górnymi wejściami ogniwa paliwowego (2 na Zdjęciu 4).



Zdjęcie 4. Układ do wyznaczania charakterystyk ogniwa paliwowego: 1 – elektrolizer; 2 – ogniwo paliwowe; 3 – generator; 4 – mierniki uniwersalne; 5 – płytka do montażu rezystorów; 6 – komplet rezystorów.



Rysunek 5. Schemat układu pomiarowego (źródło: Phywe).

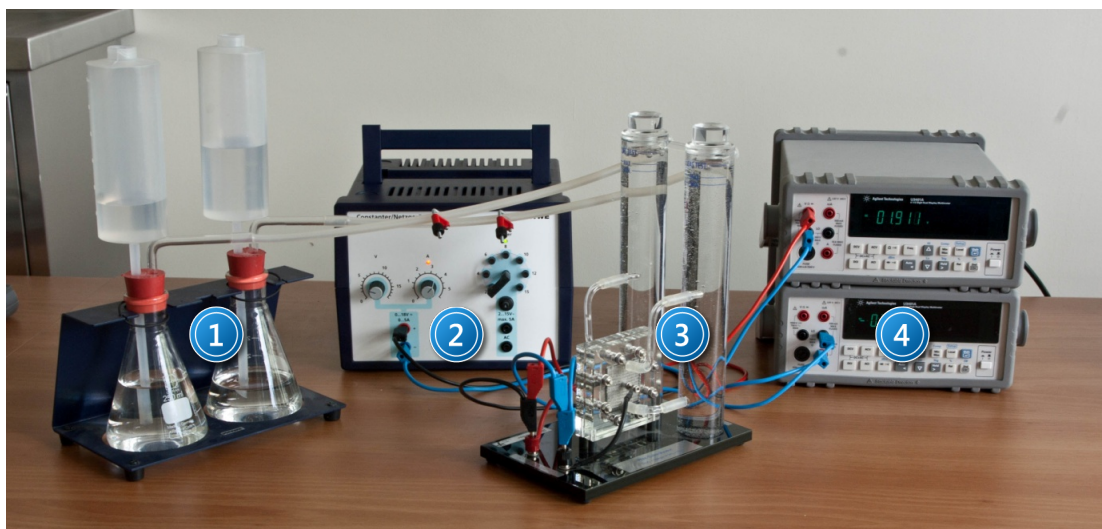
8. Upewnić się, że natężenie prądu płynącego przez elektrolizer nie przekracza dozwolonych wartości. W tym celu połączyć elektrolizer, generator oraz mierniki zgodnie ze schematem na Rysunku 3. Ustawić zakresy pracy na miernikach uniwersalnych odpowiednio jako amperomierz (na A) i woltomierz (na V). Ustawić maksymalne napięcie 2 V na generatorze oraz zwiększać dopuszczalne natężenie prądu tak, by napięcie i natężenie prądu w układzie nie przekroczyły odpowiednio 2 V i 2 A.

Odłączyć mierniki od elektrolizera i podłączyć je do układu ze schematu na Rysunku 5 dołączając ogniwo paliwowe oraz wybrane obciążenie. Jeśli nastawy mierników uległy zresetowaniu, ponownie ustawić zakres pracy amperomierza na A i woltomierza na V.

9. Notować wartości napięcia U_{PEM} i natężenia prądu I_{PEM} przepływającego przez układ przy jego różnych obciążeniach R dobieranych przy pomocy płytki montażowej 5 na Zdjęciu 1 (kombinacje szeregowo i równoległe połączonych rezystorów).
10. Wykreślić charakterystykę prądowo - napięciową $I_{PEM} = f(U_{PEM})$ wodorowej komórki paliwowej.
11. Oszacować z wykresu wartość napięcia progowego.

12. Wyznaczyć sprawność elektrolizera łącząc układ pomiarowy widoczny na *Zdjęciu 6* według schematu na *Rysunku 3*.

Nalać wodę destylowaną do zbiorników elektrolizera (do znacznika *Gas Test*) i do obu kolb Erlenmeyera w gazometrze (1 na *Zdjęciu 6*), tak aby poziom wody nie przekroczył pierwszego znacznika w górnych pojemnikach. Zamknąć zbiorniki elektrolizera nakrętkami i połączyć wężykami (z założonymi zaciskami) górne wyjścia zbiorników elektrolizera z końcówkami z kolb gazometru.



Zdjęcie 6. Układ do wyznaczenia sprawności elektrolizera: 1 – gazometr; 2 – generator; 3 – elektrolizer; 4 – mierniki uniwersalne.

13. Włączyć generator, ustawić na nim maksymalną wartość napięcia równą 2 V, po czym zwiększać dopuszczalne wartości natężenia prądu tak, aby wartości napięcia i natężenia prądu w układzie nie przekroczyły odpowiednio 2 V i 2 A.
14. Notować wartości rosnącej objętości V wody w górnych butlach gazometru (6 na *Zdjęciu 1*) w zależności od czasu t (mierzonego stoperem).
Pomiar czasu rozpocząć, gdy poziom wody przekroczy dolny znacznik.
Notować czas dla każdej objętości zaznaczonej na górnych butlach gazometru (znaczniki są rozmieszczone co 25 ml).
15. Wykreślić zależność objętości wodoru H₂ wydzielanego w trakcie elektrolizy w funkcji czasu.
16. Obliczyć sprawność elektrolizera.
17. Wyznaczyć sprawność ogniwa paliwowego PEM.
Napełnić ponownie zbiorniki elektrolizera wodą destylowaną (do znacznika *Gas Test*) i zamknąć je nakrętkami. Przepuścić przez elektrolizer około 25 ml tlenu (zwalniając lekko zacisk dolnego zaworu pojemnika z tlenem, po czym ponownie go zaciskając). Uczynić to samo uwalniając 50 ml wodoru tak, aby poziom wody w gazometrze znalazł się trochę nad markerem poziomu wody (mimo zaciśniętych dolnych zaworów, poziom wody w wyniku reakcji będzie się obniżał).
18. Mierzyć czas, po jakim poziom wody w gazometrze spadnie o 25 ml. Jednocześnie notować wartości napięcia U i natężenia prądu I.
Wyniki ująć w tabeli, wzorując się na *Tabeli 1*.

Tabela 1: Przykładowa tabela do wykonania obliczeń w punkcie II.18.

lp.	t [s]	V [ml]	I [A]	U [V]

19. Obliczyć sprawność ogniwa paliwowego.
20. Przeprowadzić dyskusję błędów dla wszystkich wielkości obliczanych w ćwiczeniu.

III. Zestaw przyrządów.

1. Wodorowe ogniwo paliwowe PEM.
2. Elektrolizer PEM.
3. Generator.
4. 2 mierniki uniwersalne.
5. Płytko do montażu rezystorów.
6. Komplet rezystorów.
7. Gazometr.
8. Stoper.

IV. Literatura.

1. W.M. Lewandowski – „Proekologiczne źródła energii odnawialnej”, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2002.
2. A. Małek, M. Wendeker – „Ogniwa paliwowe typu PEM teoria i praktyka”, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2010.
3. J. Cieśliński, J. Mikielwicz – „Niekonwencjonalne źródła energii”, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1996.
4. E.E. Klugmann – „Ogniwa i moduły fotowoltaiczne”, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2005.
5. L. Redey – „Ogniwa paliwowe”, WNT, Warszawa 1973.
6. A. Feldzensztajn, L. Pacuła, J. Pusz – „Wodór „paliwem” przyszłości”, Instytut Wdrożeń Technicznych, Gdańsk, 2003.
7. J. Młochowski – „Podstawy chemii”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1999.
8. „Encyklopedia Techniki. Chemia” – praca zbiorowa, WNT, Warszawa 1993.
9. C. Voigt, S. Höller, U. Küter – “Brennstoffzellen im Unterricht”, H₂YDROGEIT, Lübeck 2007.
10. J. Laminie, A. Dicks – “Fuel Cell Systems Explained”, Wiley, 2003.
11. J.W. Twidell, A.D. Weir – “Renewable Energy Sources”, Chapman and Hall, London 1990.
12. “Renewable Energy – Sources for Fuels and Electricity”, Island Press, Washington 1993.
13. K. Joon – “Fuel Cells – a 21st Century Power System”, “Journal of Power Sources”, 1998, 71.
14. J. Laramine, A. Dicks – “Fuel Cell Systems Explained”, Oxford Brookes University, UK, 2003.
15. Phywe Handbook “Laboratory Experiments Physics”, 4.1.11-00, 2010, www.phywe.com.
16. D.A. Rand – “Clean Energy”, Springer, 2005.