

**WYKORZYSTANIE ENERGII
CHEMICZNEJ WODORU
DO ZASILANIA
SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH**



PLAN PREZENTACJI

CEL PREZENTACJI

WODÓR JAKO PALIWO

OGNIWA PALIWOWE

SPECYFIKA PRACY I PROBLEMY

W UKŁADZIE „OGNIWO PALIWOWE

– SILNIK ELEKTRYCZNY”

WNIOSKI



Cel prezentacji



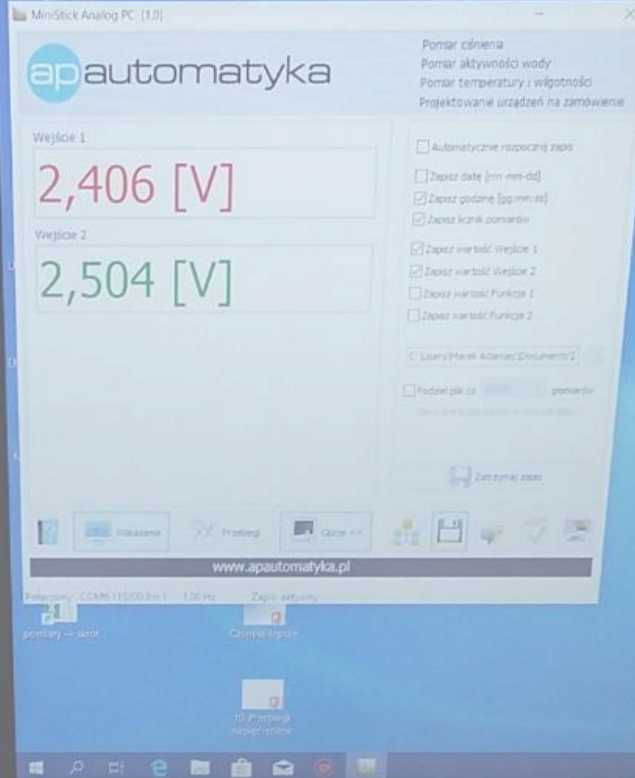
Cel prezentacji

Prezentacja dydaktyczna została opracowana na podstawie badań stanowiskowych wykonanych z wykorzystaniem ogniw paliwowych, elektrolizerów i silników elektrycznych.

Stanowisko badawcze wyposażono w układ do przetwarzania, pomiaru i rejestracji wielkości fizycznych elektrycznych i nieelektrycznych.

Celem prezentacji jest wyjaśnienie zagadnień oraz pokazanie problemów związanych z zastosowaniem wodoru i ogniw paliwowych do zasilania urządzeń elektrycznych, w szczególności silników.





Wodór jako paliwo



Wodór jako paliwo

Tab. 1. Charakterystyka paliwa wodorowego

WIELKOŚĆ FIZYCZNA	JEDNOSTKA	WARTOŚĆ
Wartość opałowa	MJ/kg	120
	MJ/m ³	10,77
Wartość opałowa mieszanki stechiometrycznej	MJ/m ³	2,97 – 3,17
Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza	kg/kg	36,6
	m ³ /m ³	2,41
Gęstość (20°C, 101,3 kPa)	kg/m ³	0,084
Granice wybuchowości	% obj. gazu w powietrzu	4 – 77
Prędkość spalania laminarnego	m/s	2,7 – 3,15
Temperatura samozapłonu	°C	585
Temperatura wrzenia	°C	-253

Wodór jako paliwo

Tab. 1. Charakterystyka paliwa wodorowego

WIELKOŚĆ FIZYCZNA	JEDNOSTKA	WARTOŚĆ
Minimalna energia zapłonu	mJ	0,02
Liczba oktanowa LO	-	> 60 (zmienna)
Ciepło parowania	kJ/mol	0,44936
Konduktywność	S/m	$13,8 \cdot 10^6$
Ciepło właściwe	J/kg·K	14304
Przewodność cieplna	W/m·K	0,1815
Objętość molowa	m ³ /mol	$11,42 \cdot 10^{-6}$
Masa atomowa	u	1,00784 – 1,00811

Wodór jako paliwo

SPOSOBY WYTWARZANIA WODORU

- Elektroliza wody
- Termochemiczny rozkład wody
- Fotokatalityczny rozkład wody
- Fermentacja biomasy
- Reforming parowy gazu ziemnego (uzyskiwanie wodoru z metanu i pary wodnej)

SPOSOBY PRZECHOWYWANIA WODORU

- w postaci sprężonej pod ciśnieniem 20 – 60 MPa
- w postaci stałej w związkach chemicznych (paliwa płynne, kriogeniczny węgiel aktywny, wodorki metali – np. LaNi_5 , FeTi , Mg_2Ni , ZrV_2)
- w postaci ciekłej (20 K; 0,6 – 1,2 MPa)



Wodór jako paliwo

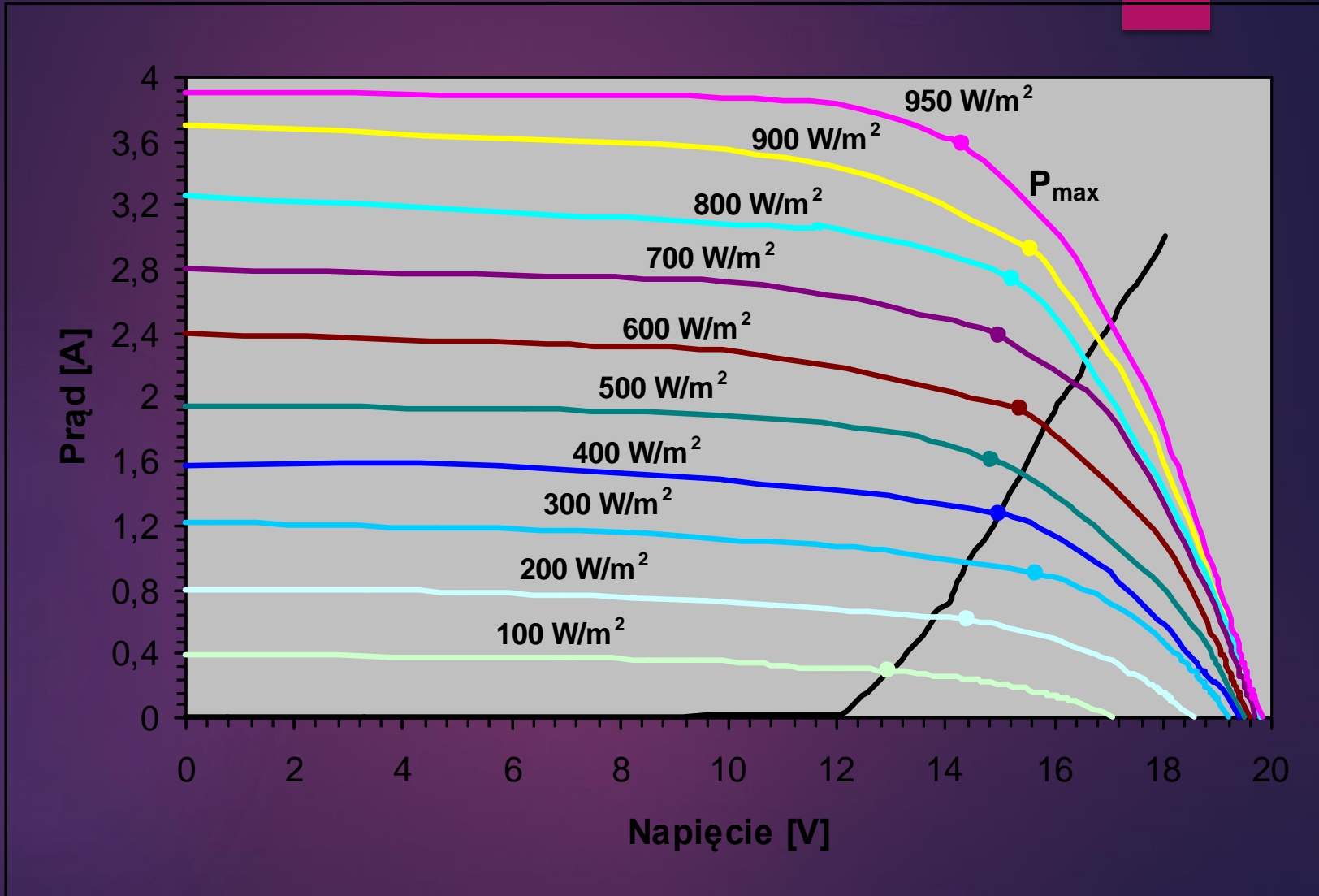
Zaletą elektrolizy wody jest uzyskiwanie wodoru o bardzo dużej czystości, co jest podstawowym wymaganiem ogniw paliwowych, szczególnie typu PEM. Ponadto w tym przypadku może być wykorzystana energia odnawialna, przetwarzana w układzie „ogniwo fotowoltaiczne – elektrolizer”.

Przetworniki energii w tym systemie posiadają charakterystyki prądowo–napięciowe, które umożliwiają pracę ogniwa fotowoltaicznego w pobliżu punktu mocy maksymalnej przy zmiennym nasłonecznieniu (rys. 1).



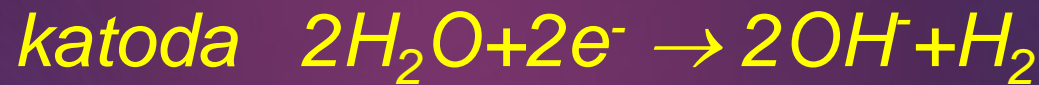
Wodór jako paliwo

Rys. 1. Charakterystyki prądowo-napięciowe ogniwa fotowoltaicznego i elektrolizera wody przy zmiennej mocy promieniowania słonecznego



REAKCJE CHEMICZNE ZACHODZĄCE W ELEKTROLIZERACH

- dla elektrolizera konwencjonalnego z elektrolitem ciekłym:



- dla elektrolizera typu PEM (Proton Exchange Membrane) z elektrolitem stałym:



Wodór jako paliwo

Na stanowisku badawczym wodór wytwarzano metodą bezpośredniej elektrolizy wody destylowanej, z wykorzystaniem dwóch rodzajów elektrolizerów typu PEM (rys. 2).

Elementarny elektrolizer niskociśnieniowy został połączony za pomocą przewodów elastycznych ze zbiornikami wody, które równocześnie są zasobnikami gazów, a woda wypompowywana do górnej części naczynia przez wytwarzane gazy, wywiera na nie nacisk. Zbiorniki wyposażone są w zawory i króćce, do których przymocowano przewody elastyczne, połączone z elementarnymi ogniwami paliwowymi małej mocy typu PEM.



Wodór jako paliwo

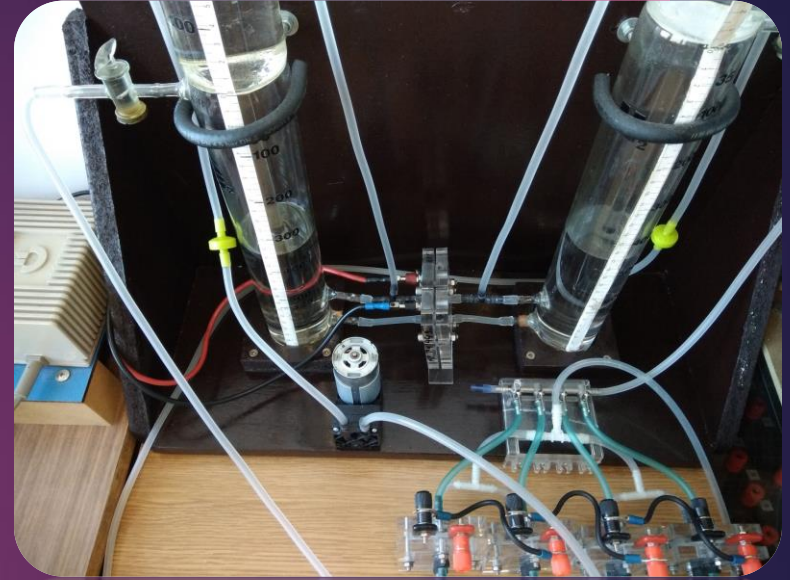
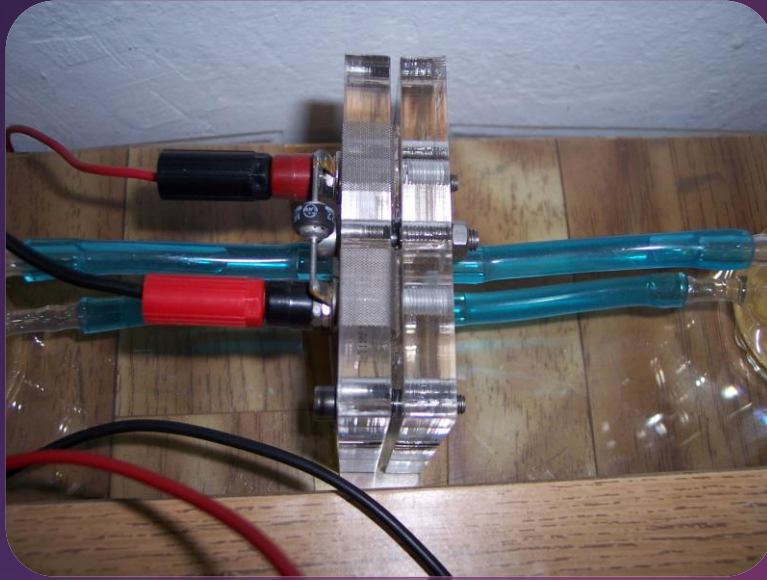
Wodór wytwarzany przez drugi elektrolizer, pracujący przy ciśnieniu maksymalnym 3 MPa, jest wprowadzany do zbiornika lub butli wyposażonych w zawór i zawierających sproszkowany metal absorbujący gaz (rys. 3). W procesie tym wydziela się ciepło (reakcja egzotermiczna), natomiast podczas uwalniania wodoru ze związków z metalami ciepło jest pobierane z otoczenia (reakcja endotermiczna).

Tworzenie wodoru metalu polega na adhezji gazowego wodoru na jego powierzchni, a następnie dyfuzji atomu wodoru do wewnętrznej struktury metalu. Gaz jest przechowywany wewnątrz sieci krystalicznej atomów metalu.



Wodór jako paliwo

Rys. 2. Elektrolizery typu PEM na stanowisku badawczym



Wodór jako paliwo

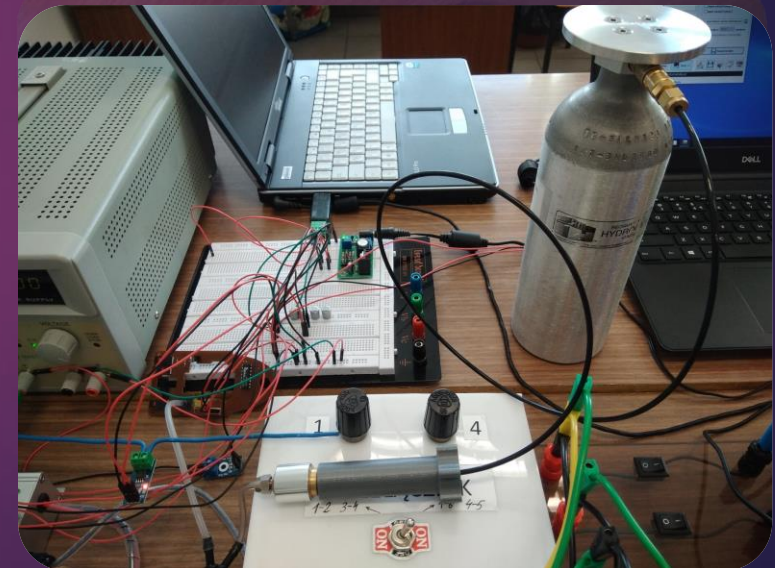
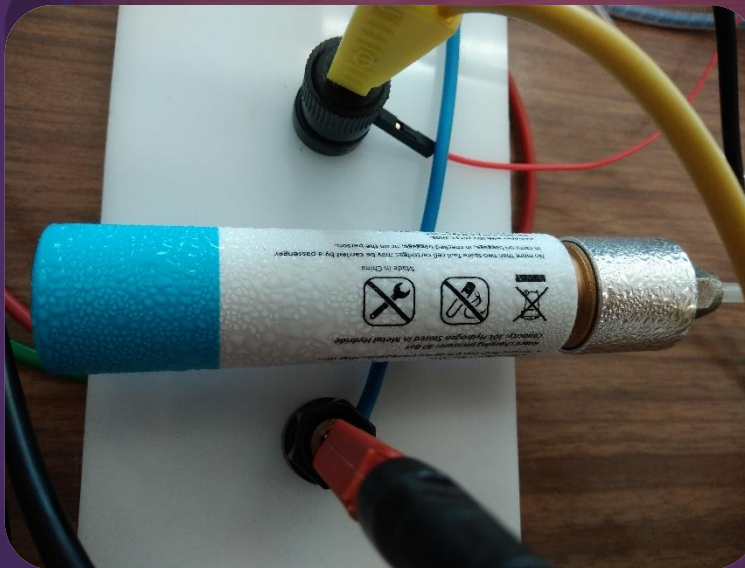
Tab. 2. Specyfikacja elektrolizera typu PEM – 3MPa

WIELKOŚĆ FIZYCZNA, WŁAŚCIWOŚĆ	JEDNOSTKA	WARTOŚĆ
Moc znamionowa	W	23
Napięcie zasilania	V	10 – 19 V DC
Wyjściowe ciśnienie wodoru	MPa	0 – 3
Czystość wytwarzanego wodoru	%	99,99
Woda do elektrolizy – destylowana lub dejonizowana	–	–



Wodór jako paliwo

Rys. 3. Zbiornik i butla z wodorkiem metalu podczas napełniania i zasilania ogniwa paliwowego



Ogniwa paliwowe



WARNING!
Disassembly will void warranty.
Model No. MT1813E-10CB
2018 5

Horizon
Fuel Cell Technologies

0.5 Bar
H₂ Input

Valve

10784

Horizo
Fuel Cell Techno

DC 13

GŁÓWNE ELEMENTY OGNIWA TYPU PEM

- Elektrody (porowata warstwa właściwa i metalowa część przewodząca)
- Elektrolit (membrana protonowymienna)
- Katalizator reakcji chemicznych (rozdrobiona czerń platynowa w elektrodach i elektrolicie)
- Kanały przepływowe dla gazów
- Zaciski elektryczne
- Elementy izolacyjne
- Elementy uszczelniające i dociskające
- Króćce wlotowe i wylotowe dla gazów
- Wentylator
- Obudowa
- Sterownik



Ogniwa paliwowe

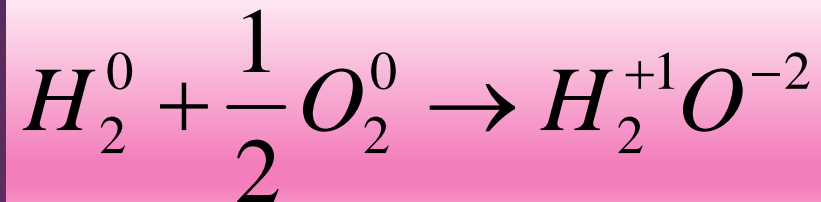
Polimerowa membrana protonowymienna, w postaci cienkiej folii, znajduje się między elektrodami i charakteryzuje się zdolnością przewodzenia jonów dodatnich i blokowania przepływu elektronów.

Ogniwa paliwowe elementarne mogą być ze sobą łączone, najczęściej w sposób szeregowy w celu uzyskania odpowiedniego napięcia. Połączenia mogą być wykonywane na zewnątrz lub we wspólnej obudowie, w ten sposób powstają stosy.



Ogniwa paliwowe

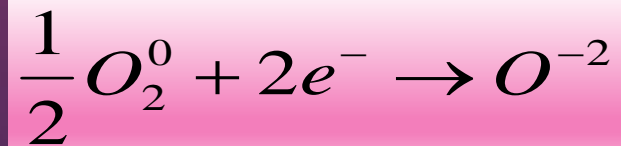
Ogniwo paliwowe jest przetwornikiem energii chemicznej wodoru w energię elektryczną. Podstawę jego działania stanowi reakcja chemiczna, w której zachodzą procesy utleniania i redukcji:



Pomiędzy reagującymi pierwiastkami następuje wymiana elektronów i zmieniają one swój stopień utlenienia. Powyższą reakcję można zapisać w postaci dwóch etapów:



utlenianie



redukcja



Ogniwa paliwowe

Przestrzenne rozdzielenie etapów utleniania i redukcji oraz przeprowadzenie tych reakcji na dwóch elektrodach (anodzie i katodzie) umożliwia przemianę energii chemicznej głównie w energię elektryczną. Natomiast bezpośrednio spalanie wodoru jest przemianą energii chemicznej głównie w energię cieplną.

Efekt energetyczny reakcji jest w obu przypadkach taki sam, natomiast różne są formy uzyskanej energii.



Ogniwa paliwowe

W alkalicznym ogniwie paliwowym, wewnątrz którego znajduje się wodny roztwór KOH, reakcje utleniania i redukcji można ogólnie zapisać w następujący sposób:



utlenianie



redukcja

Reakcje elektrodowe w tym ogniwie zachodzą na pograniczu trzech faz: stałej, ciekłej i gazowej.

Elektrody z jednej strony stykają się z roztworem elektrolitu, który wnika w ich porowatą strukturę, natomiast z drugiej ich strony doprowadzane są gazy (wodór i tlen).



Ogniwa paliwowe

Elektrody uzyskują różne potencjały elektryczne i powstaje między nimi napięcie. Po utworzeniu obwodu elektrycznego prąd elektronowy płynie przez anodę, odbiornik i katodę, a prąd jonowy przepływa przez roztwór elektrolitu. Nośnikiem ładunku jest jon OH^- . Produktem końcowym procesu elektrochemicznego jest woda.

Wzór Nernsta określa równowagowy potencjał elektrody E:

$$E = E^0 - \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_r}{a_0}$$



Ogniwa paliwowe

$$E = E^0 - \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_r}{a_o}$$

gdzie:

E^0 – standardowy potencjał elektrody (298 K, 101325 Pa),

R – stała gazowa (8,31 Pa·m³/K·mol),

T – temperatura,

z – liczba elektronów biorących udział w elementarnej reakcji elektrodowej,

F – stała Faradaya (96485 C/mol = 96485 A·s/mol),

a_r – aktywność postaci zredukowanej reagenta na powierzchni elektrody,

a_o – aktywność postaci utlenionej reagenta na powierzchni elektrody.



Ogniwa paliwowe

Siłę elektromotoryczną ogniwa ΔE oblicza się jako różnicę równowagowych potencjałów dwóch elektrod (anody i katody), nazwanych inaczej półogniwami:

$$\Delta E = E_a - E_c$$

Między zmianą potencjału termodynamicznego reakcji (wolnej entalpii) ΔG a siłą elektromotoryczną ΔE zachodzi następujący związek (równanie odnosi się do jednego mola substancji czynnej):

$$-\Delta G = z \cdot F \cdot \Delta E$$



Ogniwa paliwowe

Teoretyczne zapotrzebowanie wodoru i tlenu w ogniwie jest proporcjonalne do jego prądu obciążenia i opisane zależnościami:

$$W_{H_2} = m_{H_2} \frac{n_{op} \cdot I_{st}}{2F}$$

$$W_{O_2} = m_{O_2} \frac{n_{op} \cdot I_{st}}{4F}$$

gdzie:

W_{H_2} – zapotrzebowanie wodoru [kg/s],

W_{O_2} – zapotrzebowanie tlenu [kg/s],

m_{H_2} – masa molowa wodoru [kg/mol],

m_{O_2} – masa molowa tlenu [kg/mol],

n_{op} – liczba ogniw paliwowych w stosie,

I_{st} – natężenie prądu stosu ogniw paliwowych [A],

F – stała Faradaya [96485 A·s/mol].



Rodzaje ogniw paliwowych

- AFC (Alkaline Fuel Cell) – ogniwo alkaliczne
- PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) – ogniwo membranowe
- DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) – ogniwo bezpośrednio zasilane metanolem
- PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) – ogniwo kwasowe (z kwasem fosforowym)
- MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) – ogniwo węglanowe
- SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) – ogniwo tlenkowe



Ogniwa paliwowe

Tab. 3. Charakterystyka niskotemperaturowych ogniw paliwowych

Typ ogniwa	AFC	PEMFC	DMFC
Nośnik ładunku	OH^-	H^+	H^+
Elektrolit	Wodorotlenek potasu KOH	Membrana protonowymienna	Membrana protonowymienna
Reakcja anodowa	$\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$
Reakcja katodowa	$\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$	$\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	$6\text{H}^+ + 6\text{e}^- + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}$
Temperatura pracy [°C]	70 – 90	70 – 90	70 – 90
Sprawność energetyczna [%]	55 – 60	32 – 40	35 – 40

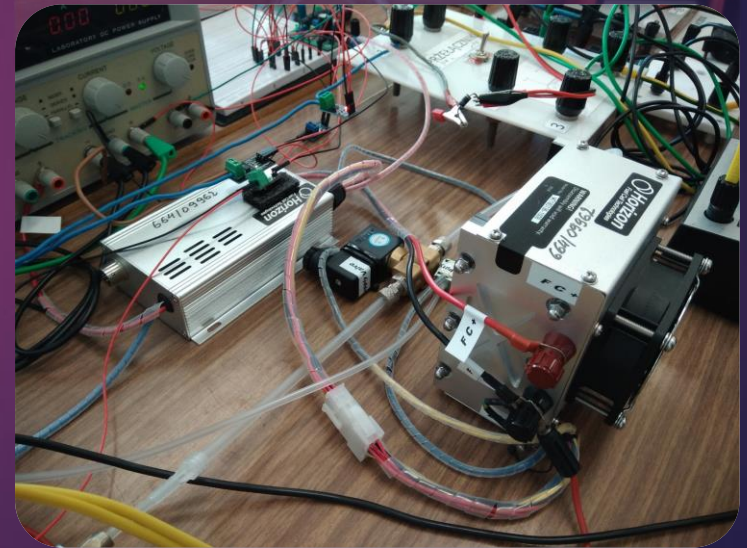
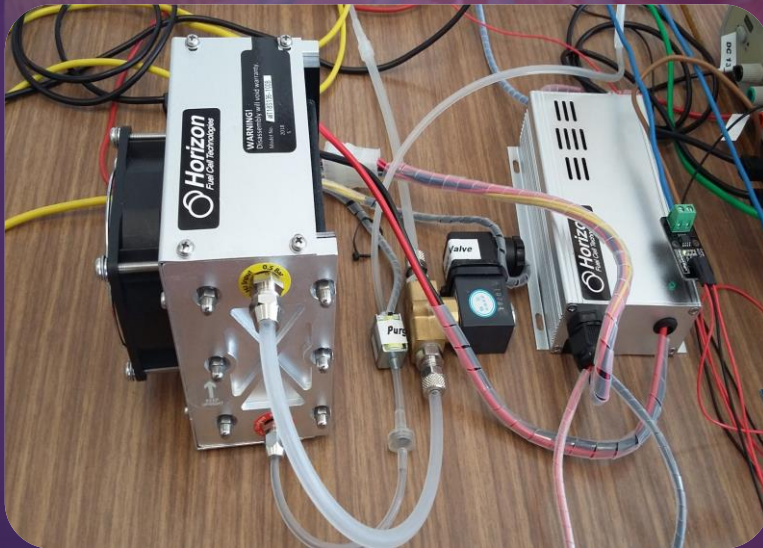
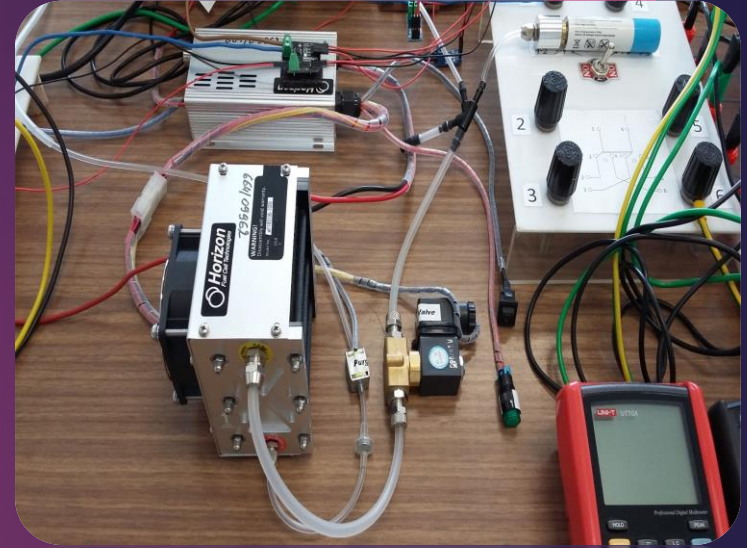
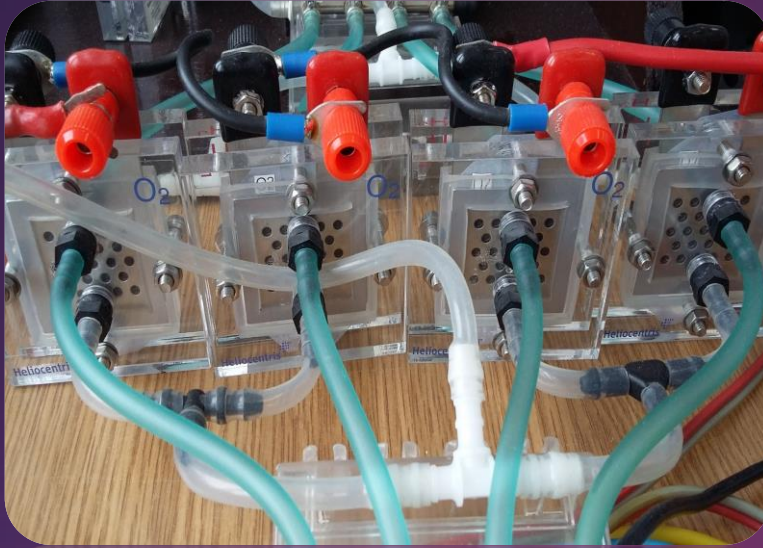
Ogniwa paliwowe

Tab. 4. Charakterystyka wysokotemperaturowych ogniw paliwowych

Typ ogniwa	PAFC	MCFC	SOFC
Nośnik ładunku	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}
Elektrolit	Stężony kwas fosforowy H_3PO_4	Mieszanka węglanów alkalicznych	Stały, nieporowaty ZrO_2 stabilizowany Y_2O_3
Reakcja anodowa	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e$	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow CO_2 + H_2O + 2e$	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e$
Reakcja katodowa	$1/2O_2 + 2H^+ + 2e \rightarrow H_2O$	$CO_2 + 1/2O_2 + 2e \rightarrow CO_3^{2-}$	$1/2O_2 + 2e \rightarrow O^{2-}$
Temperatura pracy [°C]	150 - 210	550 - 900	800 - 1100
Sprawność energetyczna [%]	36 - 45	50 - 60	50 - 55

Ogniwa paliwowe

Rys. 4. Ogniwa paliwowe typu PEM (zespół ogniw elementarnych i stos ze sterownikiem i zaworami)



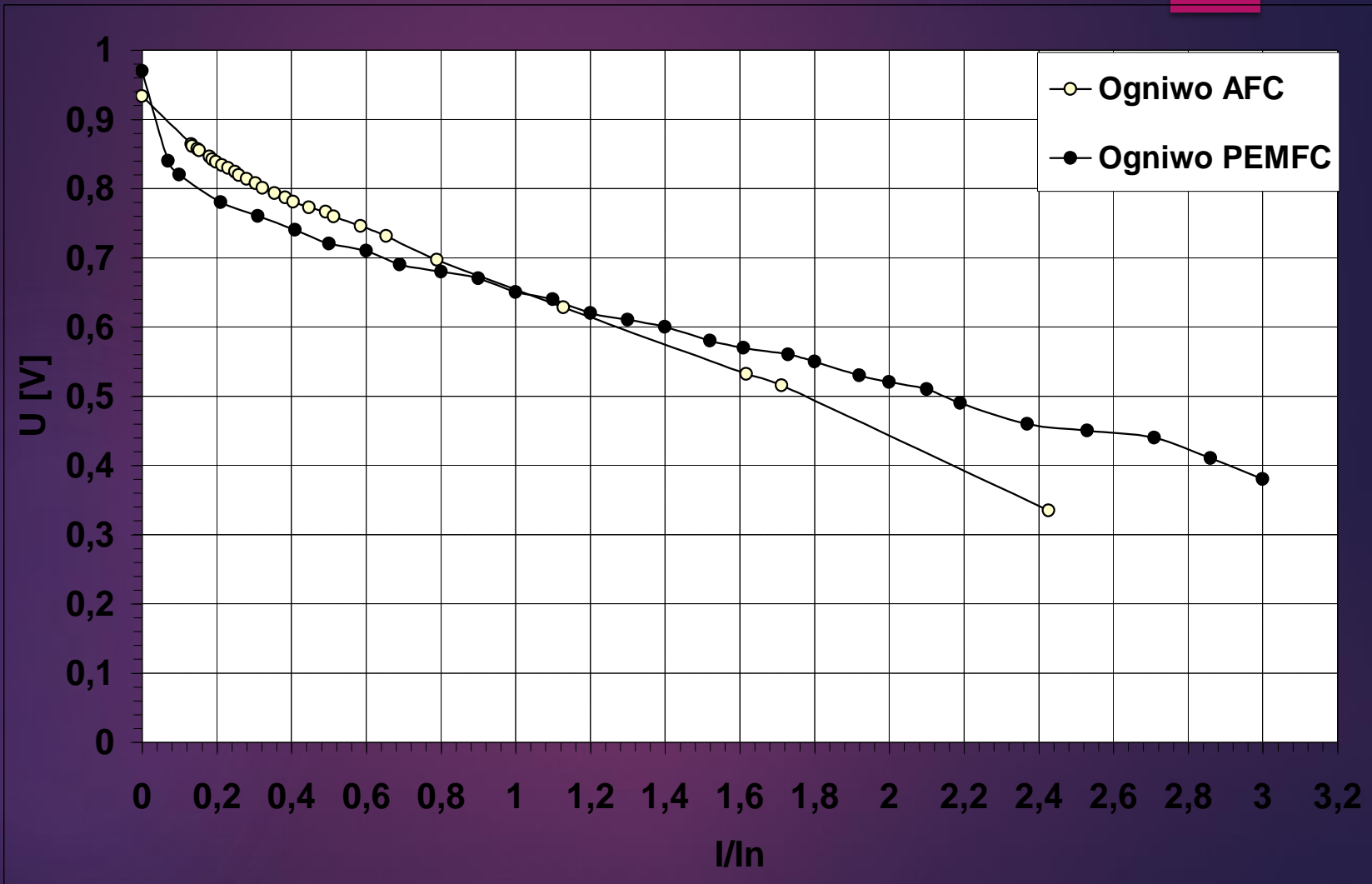
Ogniwa paliwowe

Tab. 5. Specyfikacja stosu ogniw paliwowych typu PEM

WIELKOŚĆ FIZYCZNA, WŁAŚCIWOŚĆ	JEDNOSTKA	WARTOŚĆ
Liczba ogniw elementarnych	–	20
Moc znamionowa	W	100
Napięcie znamionowe	V	12
Prąd znamionowy	A	8,3
Ciśnienie wodoru	bar	0,45 – 0,55
	Pa	45000 – 55000
Maksymalna temperatura ogniwa	°C	65
Wymagana temperatura otoczenia	°C	5 – 30
Sprawność	%	40
Wymiary	cm	11,8x10,4x9,4
Masa	g	1320
Rodzaj utleniacza – powietrze	–	–
Rodzaj chłodzenia – powietrzne (wentylator wewnętrzny)	–	–

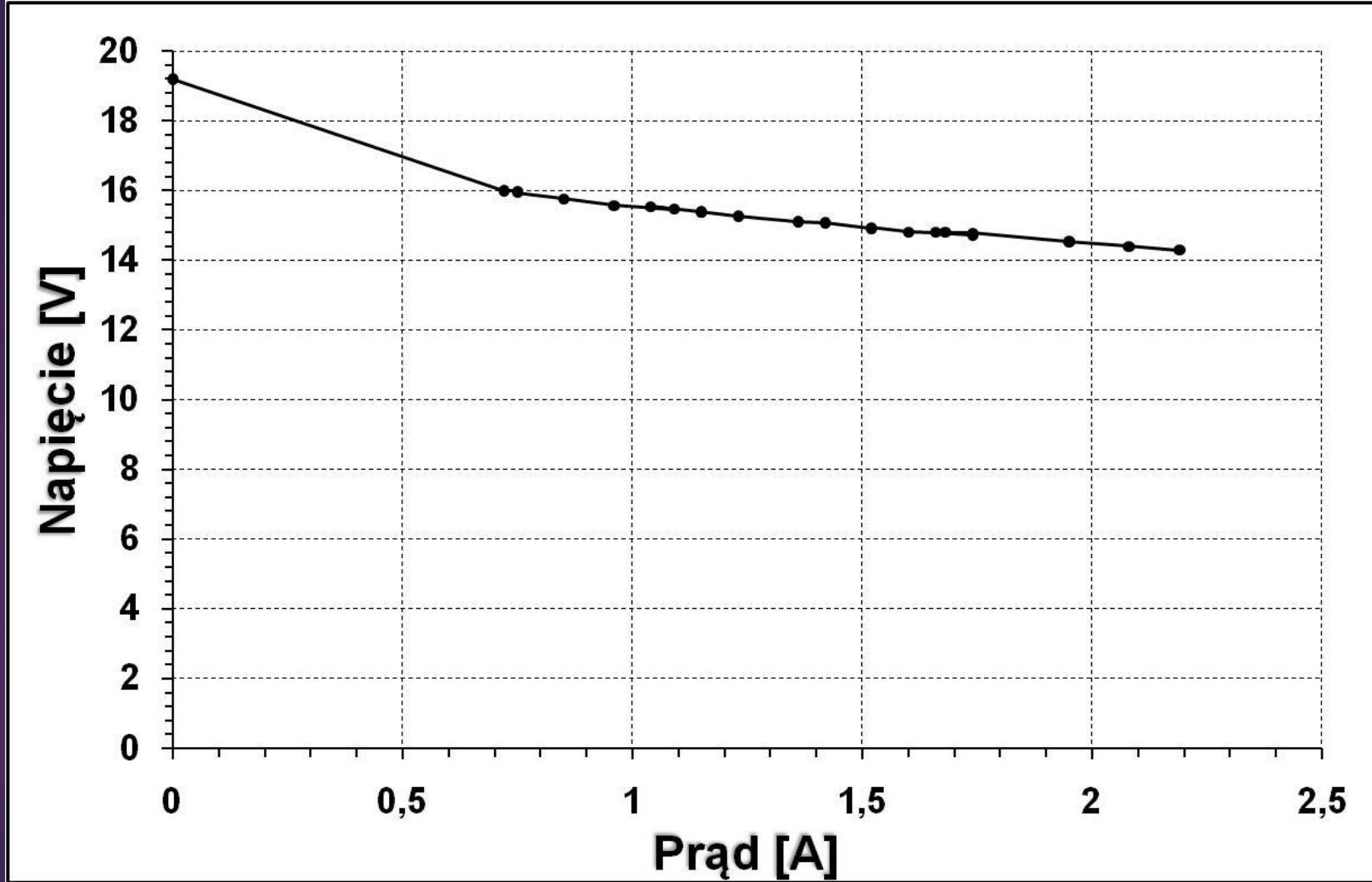
Ogniwa paliwowe

Rys. 5. Charakterystyki napięciowo-prądowe elementarnych ogniw paliwowych typu AFC i PEMFC



Ogniwa paliwowe

Rys. 6. Charakterystyka napięciowo-prądowa stosu ogniw paliwowych typu PEM zasilającego silnik

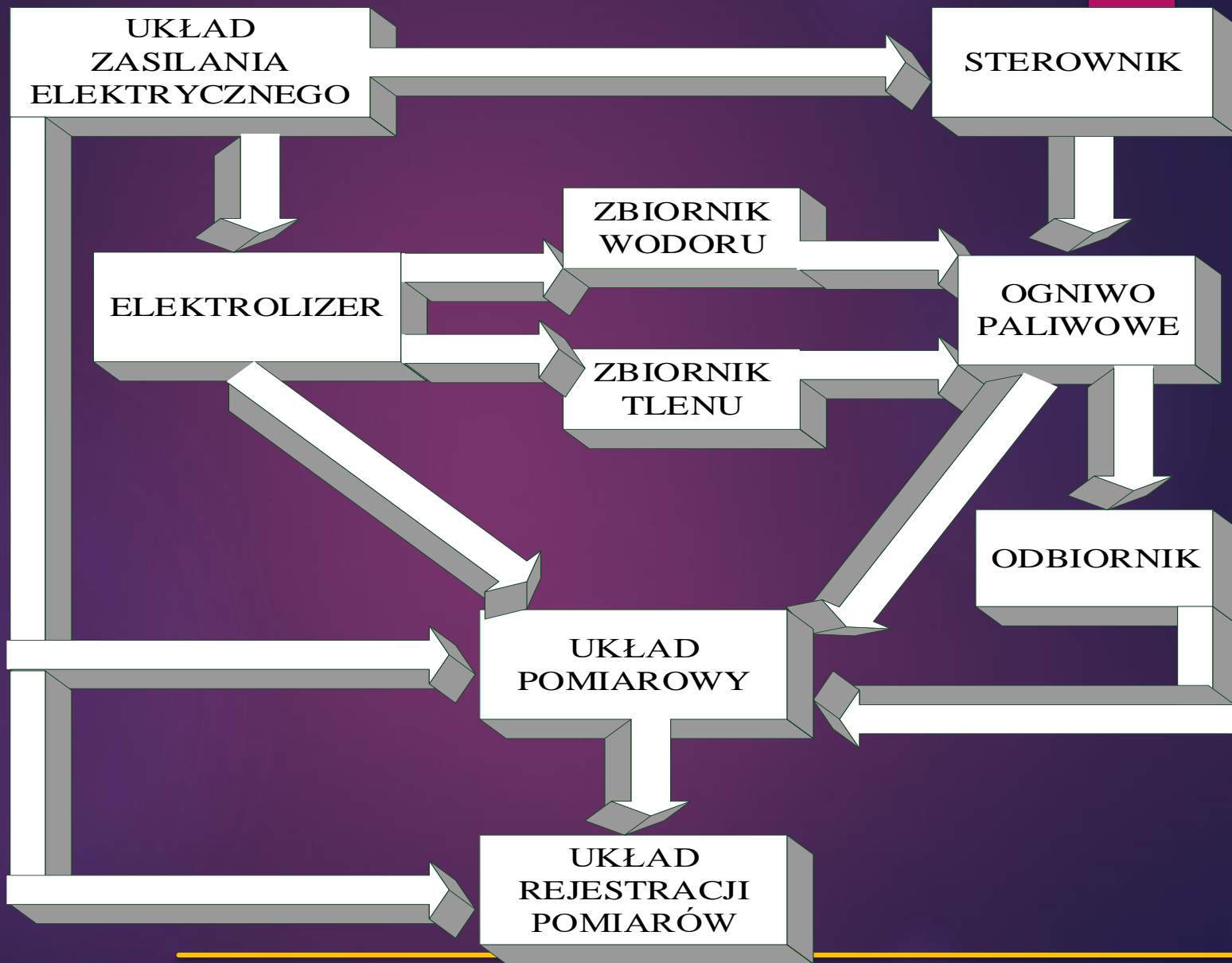




**Specyfika pracy i problemy
w układzie
„OGNIWO PALIWOWE – SILNIK
ELEKTRYCZNY”**

Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 7. Schemat blokowy stanowiska badawczego



Układ zasilania elektrycznego i sterowania

- Stos ogniw paliwowych typu PEM o mocy 100 W ze sterownikiem i zaworami gazowymi
- Ogniwa elementarne małej mocy typu PEM (4x)
- Zasilacz laboratoryjny (2x30 V, 5 V, 5 A, 10 A)
- Zasilacz na płytce stykowej (3 V, 5 V, 10 V, 12 V)
- Zasilacz elektrolizera niskociśnieniowego
- Zasilacz elektrolizera 3 MPa
- Ogniwo fotowoltaiczne o mocy 30 W (2x)
- Mikrokontroler



Układ przetwarzania wielkości fizycznych

- Czujniki napięcia (przetworniki napięcie-napięcie)
- Czujniki prądu (przetworniki prąd-napięcie)
- Czujnik ciśnienia wodoru (przetwornik ciśnienie-napięcie)
- Czujniki prędkości obrotowej silnika (przetworniki prędkość-napięcie)



Układ pomiaru i rejestracji napięć

- **Woltomierze elektromechaniczne i elektroniczne**
- **Amperomierze elektromechaniczne i elektroniczne**
- **Rejestratory napięcia (typu USB)**
- **Komputery pomiarowo-rejestracyjne**
- **Oscyloskop cyfrowy**



Układ wytwarzania, magazynowania i dostarczania wodoru

- Elektrolizer typu PEM (ciśnienie maks. 3 MPa)
- Butla z wodorkiem metalu (pojemność 400 l H₂)
- Zbiorniki z wodorkiem metalu (pojemność 10 l H₂)
- Elektrolizer niskociśnieniowy typu PEM ze szklanymi zbiornikami wodoru i tlenu
- Reduktory ciśnienia, złącza, zawory, przewody elastyczne



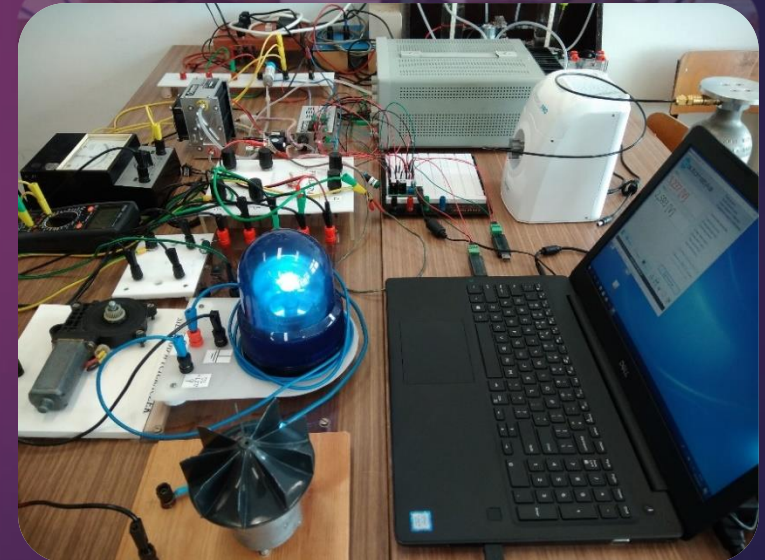
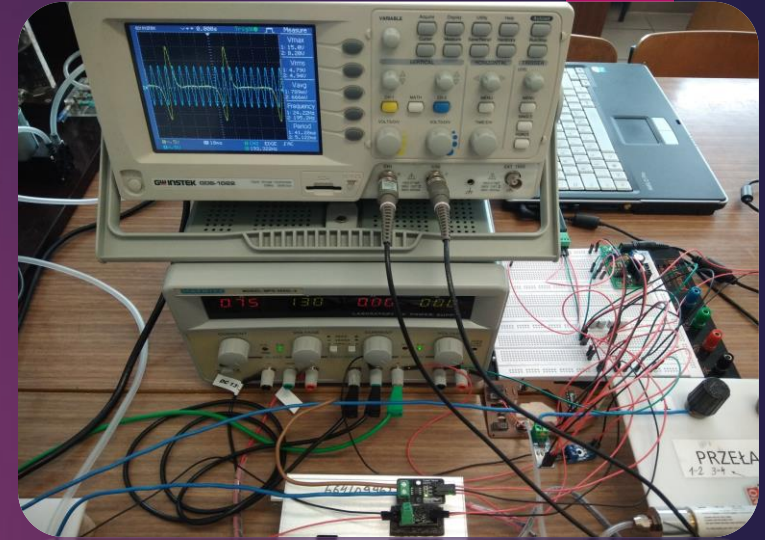
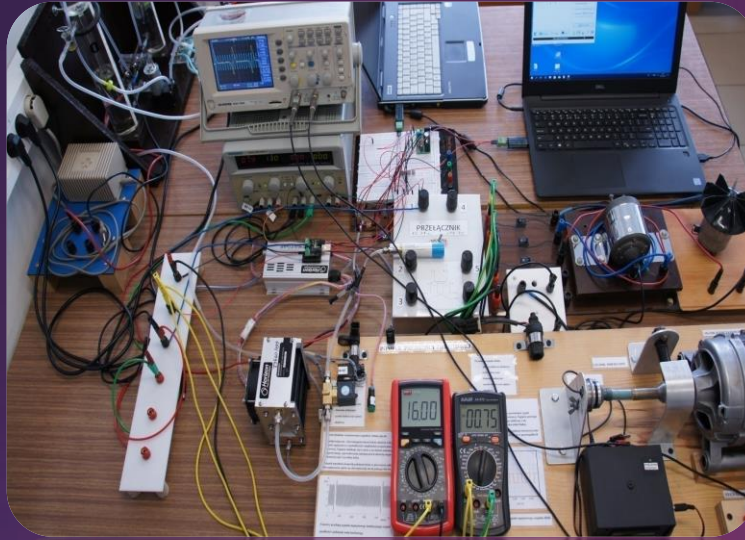
Silniki elektryczne

- Silnik komutatorowy szeregowy
- Silnik komutatorowy z magnesem trwałym
- Silnik do napędu wycieraczek samochodowych
- Silnik samochodowej dmuchawy powietrza
- Silnik w urządzeniu sygnalizacyjnym pojazdu uprzywilejowanego
- Silnik pompki tlenu



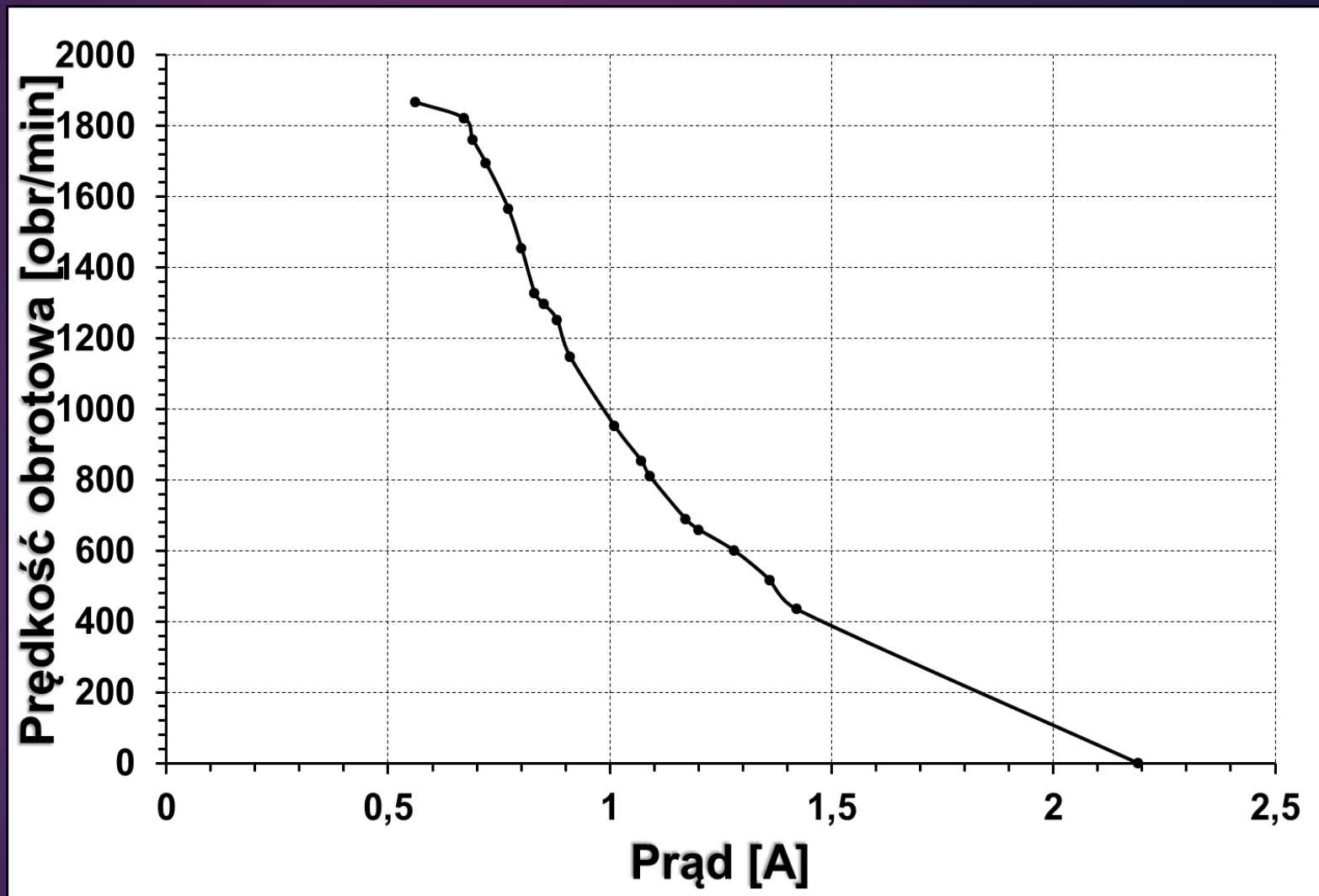
Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 8. Stanowisko do badania układu „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”



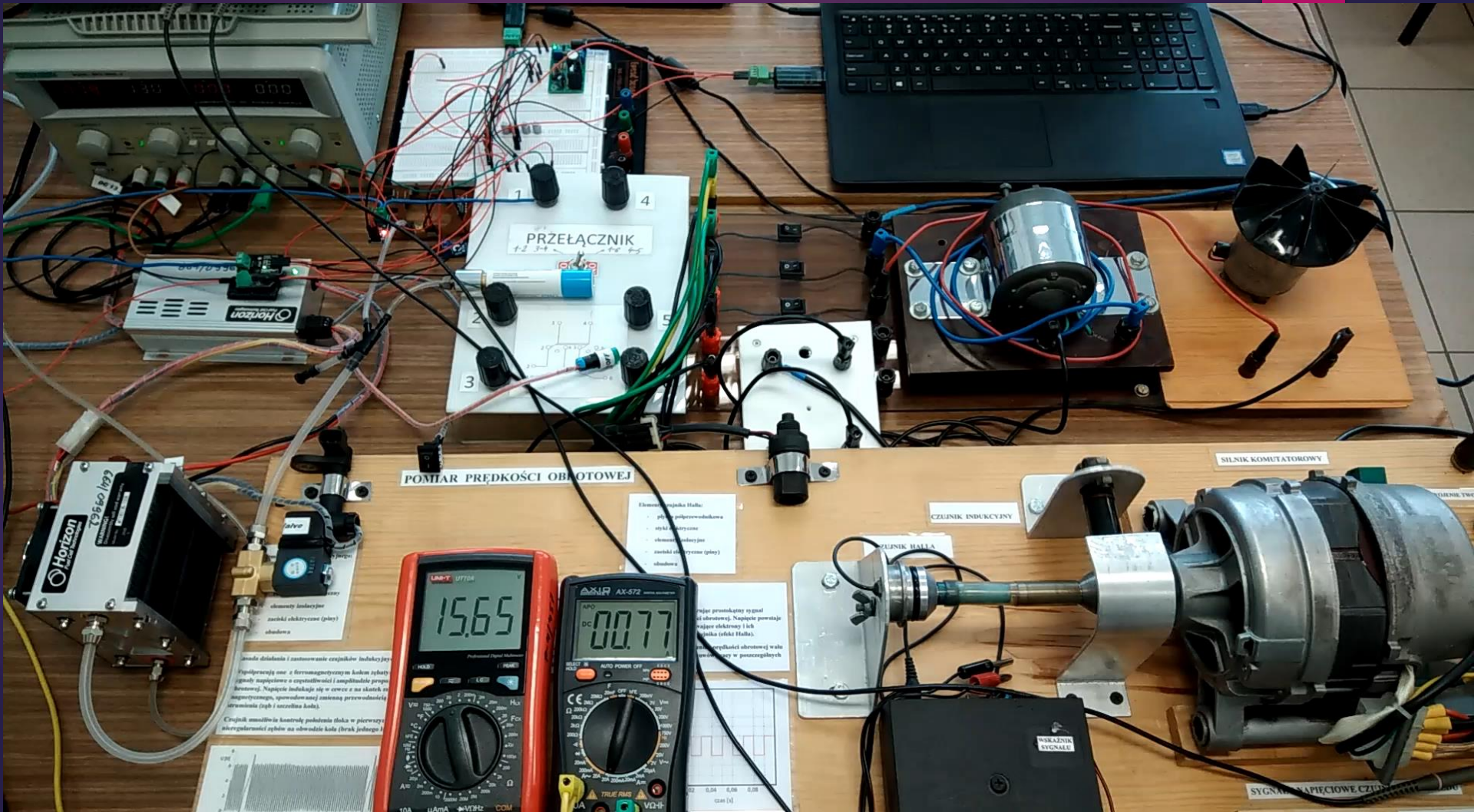
Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 9. Zależność prędkości obrotowej silnika zasilanego przez ogniwo paliwowe od prądu obciążenia



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Film 1. Badanie silnika komutatorowego szeregowego



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Jednym ze sposobów uzyskania większej sprawności ogniwa paliwowego i przeciwdziałania obniżaniu się jego napięcia podczas pracy, jest krótkotrwałe i okresowe zwieranie jego elektrod przez sterownik.

Jest to proces niekorzystny dla zasilanego silnika elektrycznego, ponieważ chwilowe obniżenie się napięcia powoduje zmniejszenie jego prędkości obrotowej.

Jest to przyczyną nierównomiernej pracy silnika i szybszego zużywania się łożysk. W zależności od charakteru pracy układu napędowego może to być bardziej lub mniej uciążliwe i zauważalne.



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Istnieje możliwość wyłączenia tej funkcji w sterowniku ogniwa paliwowego, ale wtedy jego osiągi się pogarszają. Szczególnie, gdy obniża się ciśnienie paliwa wodorowego, napięcie ogniwa może szybciej się zmniejszać.

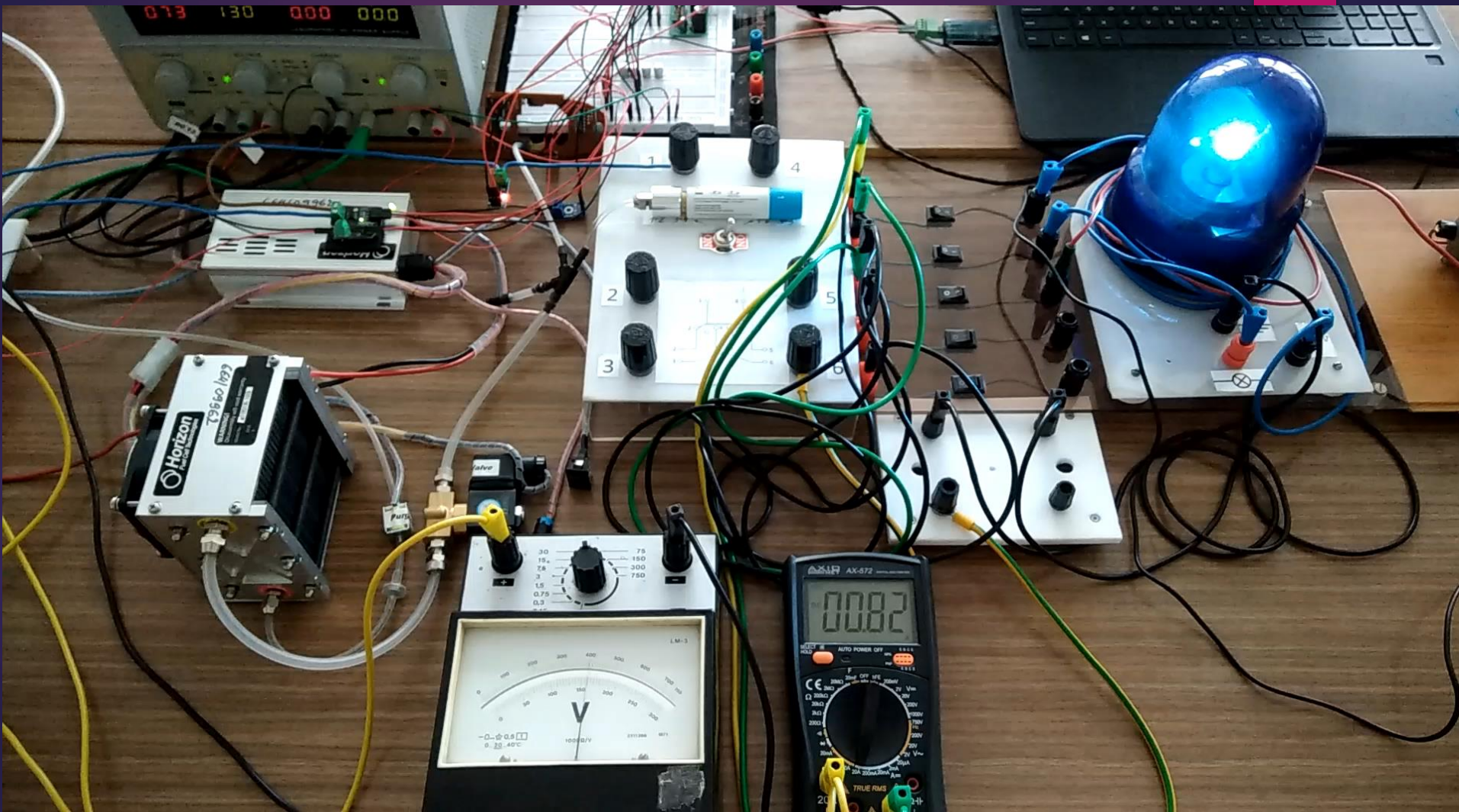
Inna metoda przeciwdziałania temu zjawisku polega na zastosowaniu układu dostarczającego energię do silnika elektrycznego w chwili spadku napięcia ogniwa, spowodowanego zwieraniem jego elektrod.

Problem ten został zobrazowany za pomocą filmu 2 oraz wykresów 10 i 11.



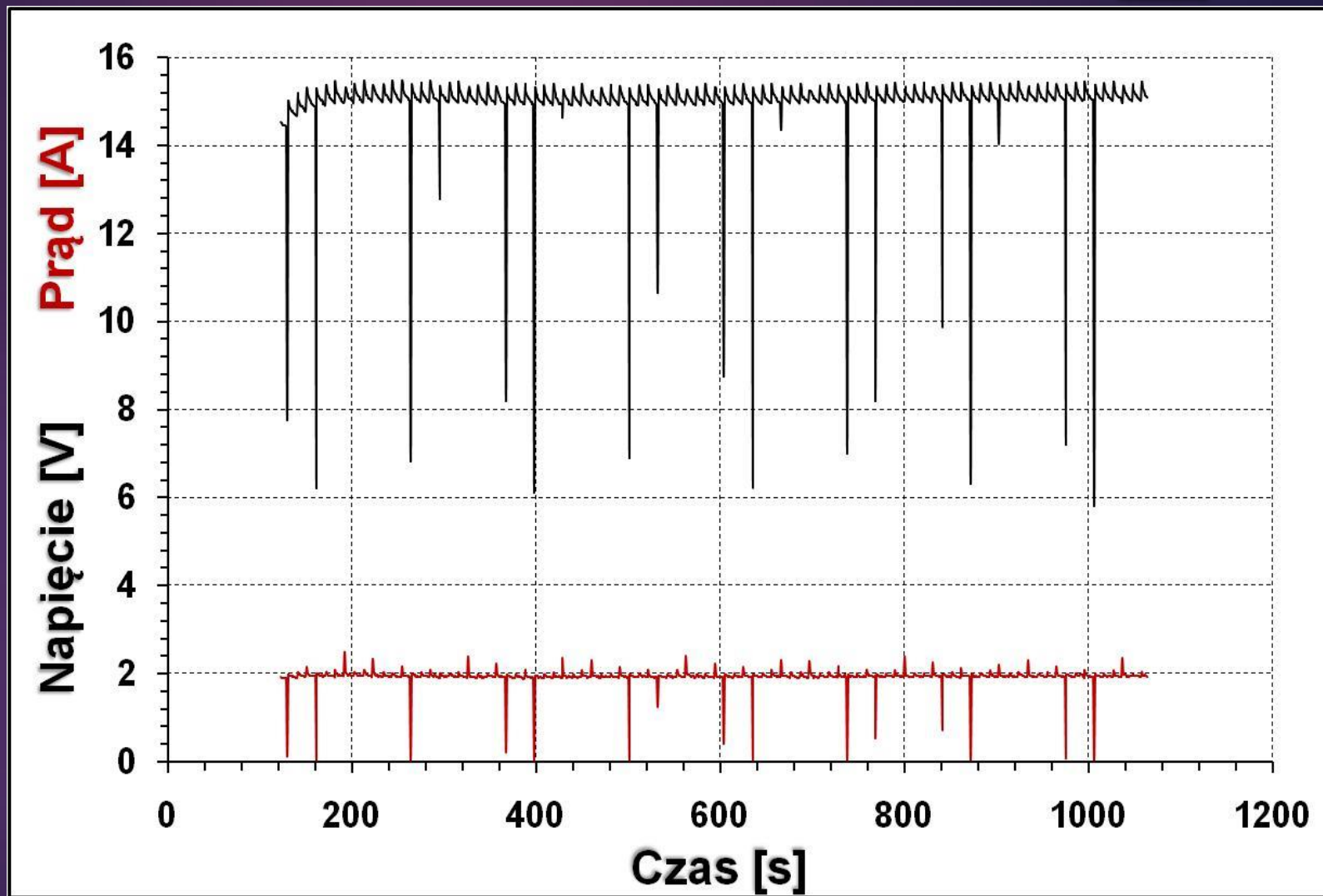
Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Film 2 . Nierównomierna praca silnika (impulsowe zwieranie elektrod ogniwa)



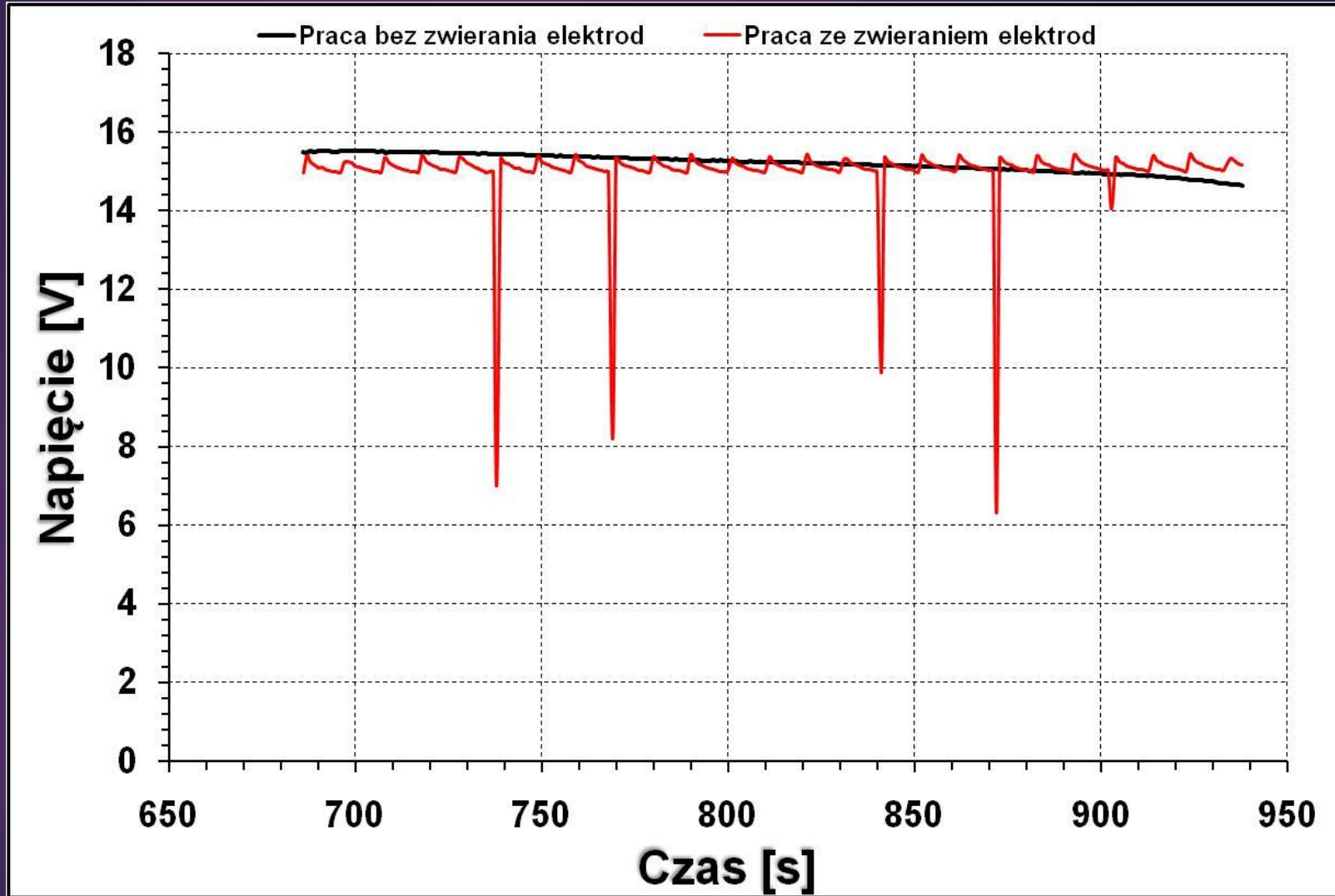
Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 10. Przebiegi napięcia i prądu ogniwa zasilającego silnik (praca ze zwieraniem elektrod)



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 11. Przebiegi napięcia ogniwa paliwowego zasilającego silnik dla różnych rodzajów pracy



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

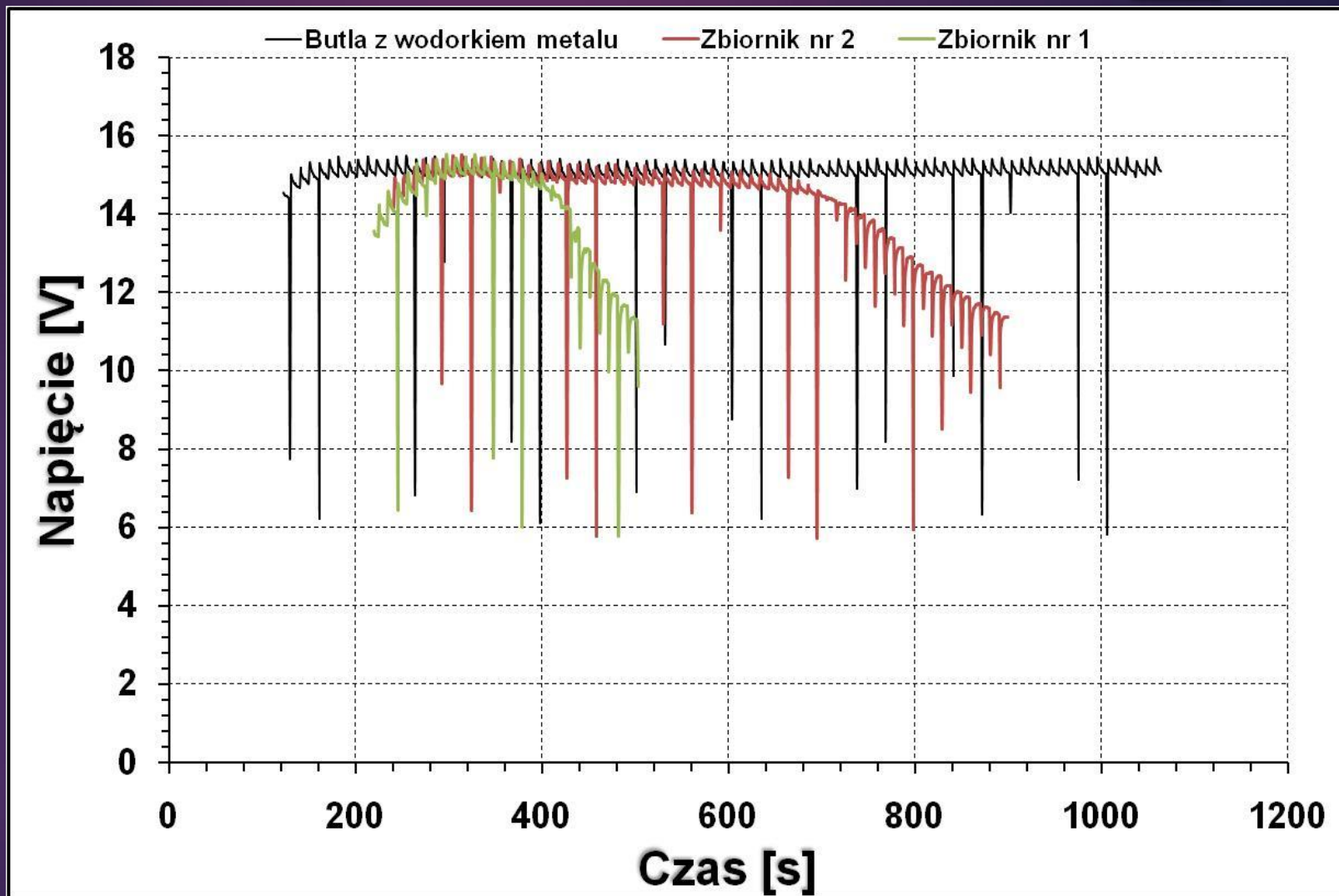
Podczas zasilania silnika przez ogniwo paliwowe może wystąpić problem zbyt małego ciśnienia paliwa wodorowego w stosunku do obciążenia silnika, które może wzrosnąć w dużym stopniu w krótkim czasie. Powoduje to spadek mocy ogniwa lub nawet jego wyłączenie przez sterownik. Problem ten ma szczególne znaczenie w przypadku zastosowania wodoru uwalnianego ze związków chemicznych (wodorków metali).

Wodór jest wtedy uzyskiwany z ograniczoną prędkością i jego ciśnienie może być zbyt małe. Zagadnienie zostało zobrazowane za pomocą wykresów 12, 13 i 14.



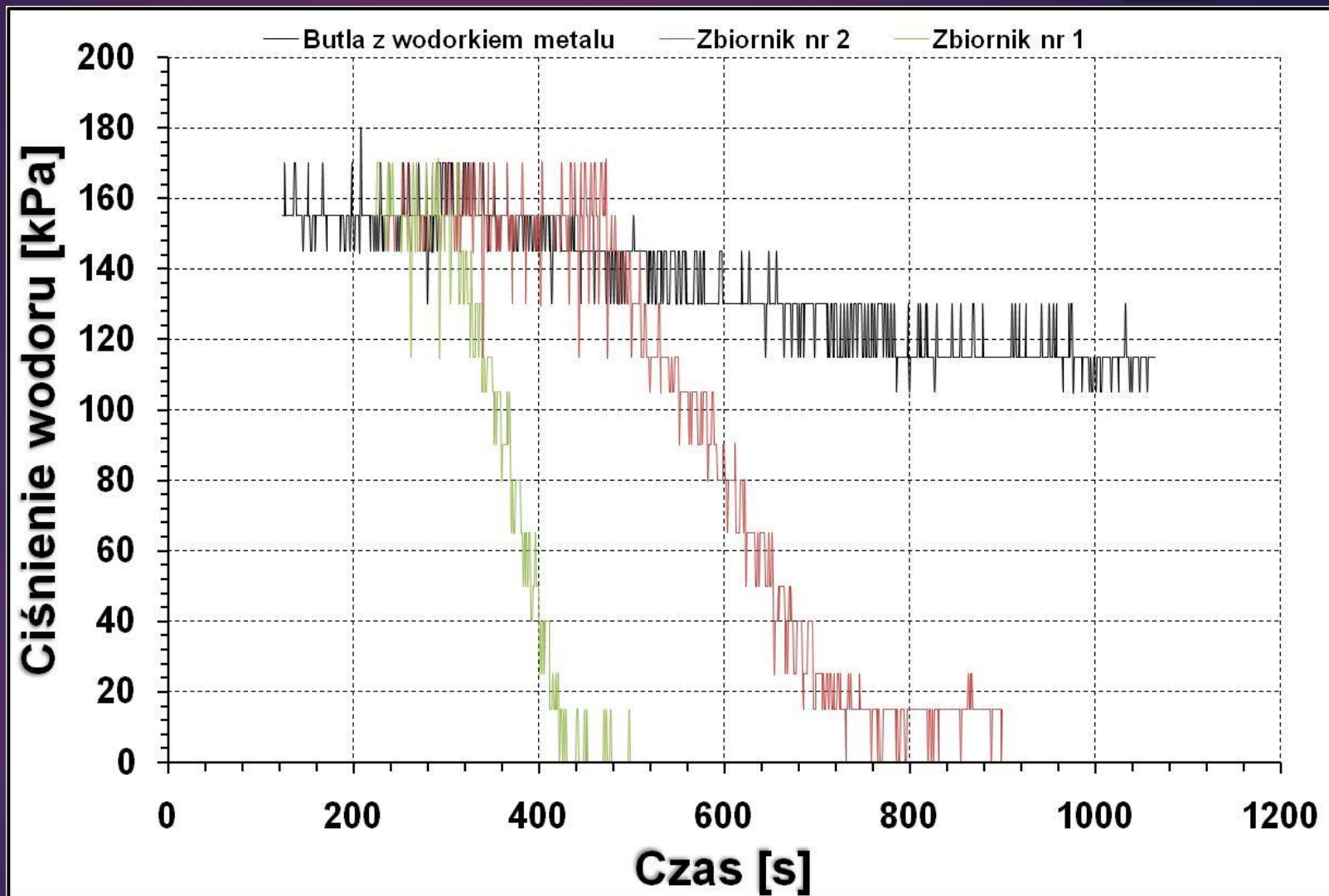
Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 12. Przebiegi napięcia ogniwa paliwowego zasilanego z różnych zbiorników (efekt spadku ciśnienia)



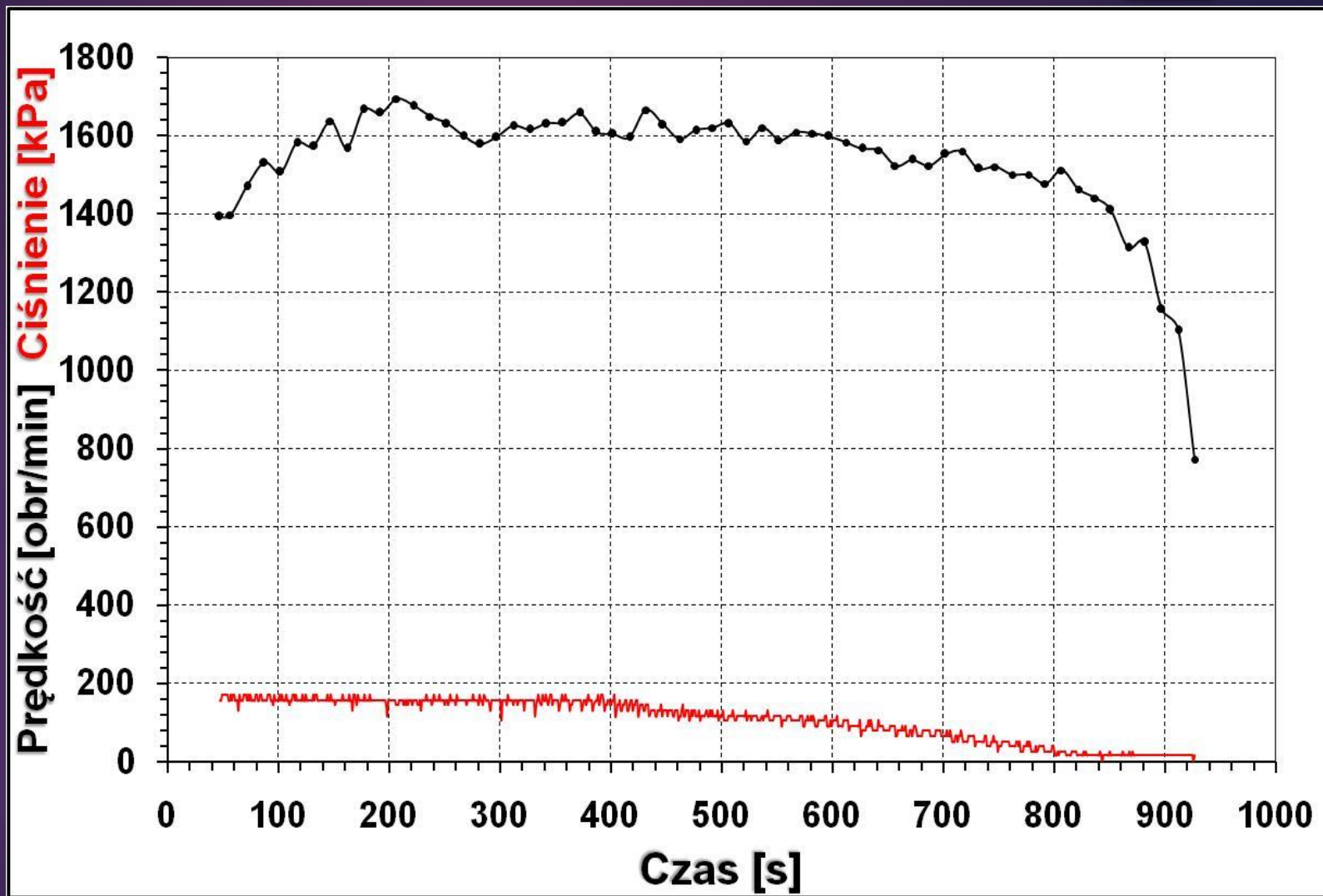
Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 13. Zmiany ciśnienia wodoru w różnych zbiornikach w czasie zasilania ogniwa paliwowego



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 14. Przebiegi prędkości obrotowej silnika i ciśnienia wodoru (praca ze stałym obciążeniem)



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

W czasie badań sprawdzono również zachowanie się ogniwa przy szybkich zmianach obciążenia.

W tym celu zbadano silnik pracujący w układzie napędowym wycieraczek samochodowych oraz zarejestrowano przebiegi napięcia i prądu.

Doświadczenie przeprowadzono na stanowisku wykonanym w celu badania tego rodzaju napędu.

Problem ten został zobrazowany za pomocą filmu 3 i wykresu 15.



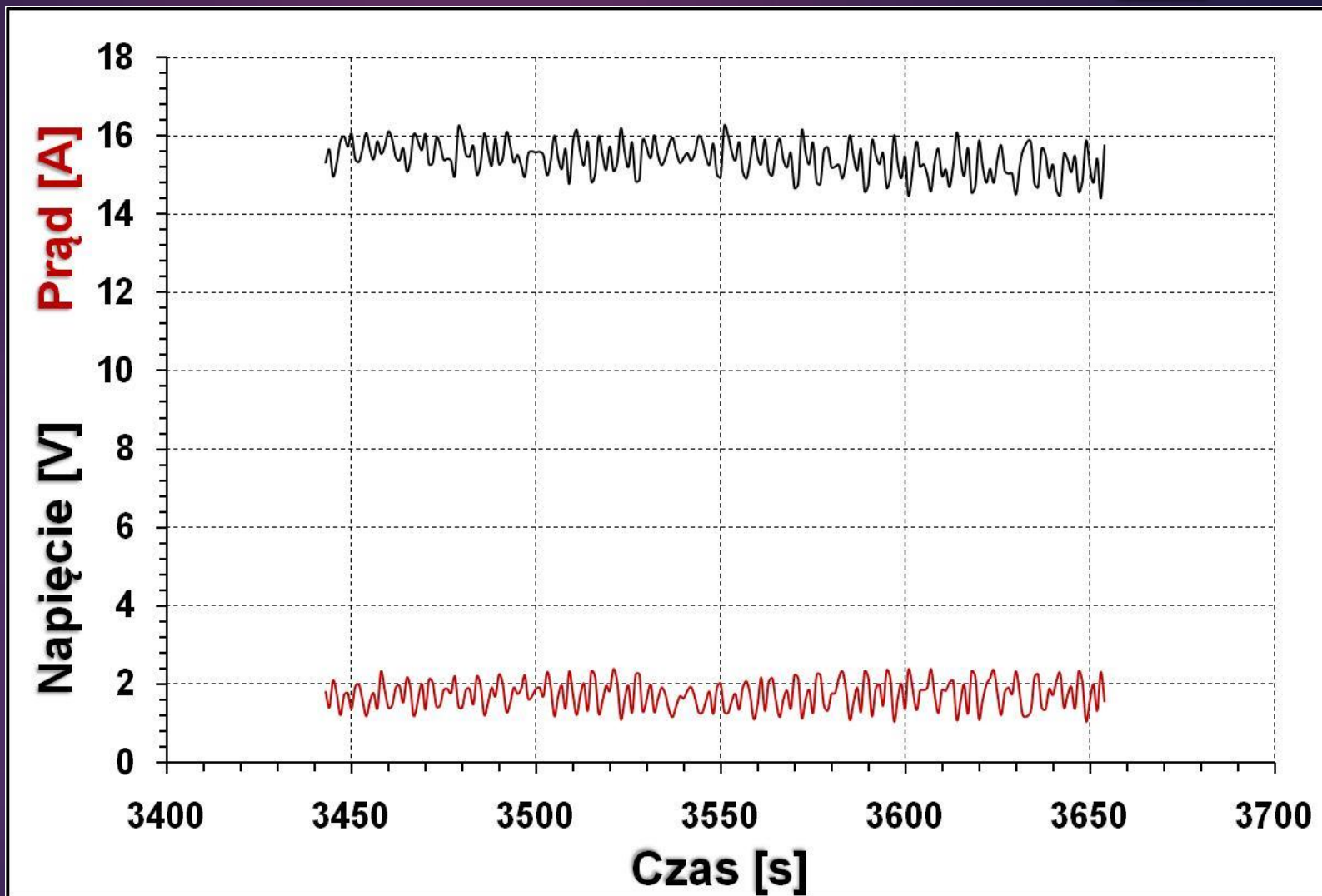
Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Film 3 . Praca silnika do napędu wycieraczek samochodowych zasilanego przez ogniwo paliwowe



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 15. Przebiegi napięcia i prądu silnika wycieraczek samochodowych, zasilanego przez ogniwo paliwowe



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Podczas pracy niskociśnieniowego ogniwa paliwowego, zasilanego wodorem i tlenem, może występować zjawisko zmniejszania się napięcia i prądu przy stałym obciążeniu z powodu niedostatecznego dopływu tlenu do katody ogniwa. Powoduje to zmniejszenie mocy zasilanego silnika elektrycznego.

W celu zapobiegania temu zjawisku oraz odzyskania wymaganej wartości napięcia i prądu, opracowano metodę zwiększenia intensywności dopływu tlenu do katody ogniwa paliwowego.

Przepływ tlenu powinien wystąpić w określonym momencie, przez wymagany czas, z dostateczną intensywnością i w obiegu zamkniętym.



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Pomiędzy zespołem elementarnych ogniw paliwowych a zbiornikiem tlenu zamontowano pompkę elektryczną, sterowaną za pomocą mikrokontrolera, zaprogramowanego w celu jej włączenia przy określonej wartości napięciu ogniwa i spowodowania przepływu gazu w obiegu zamkniętym (rys. 16).

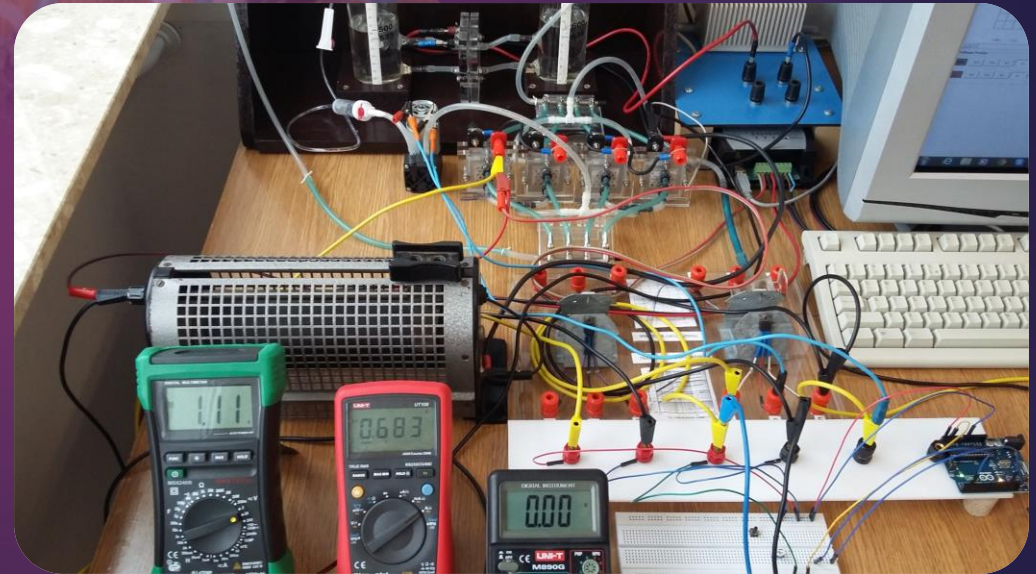
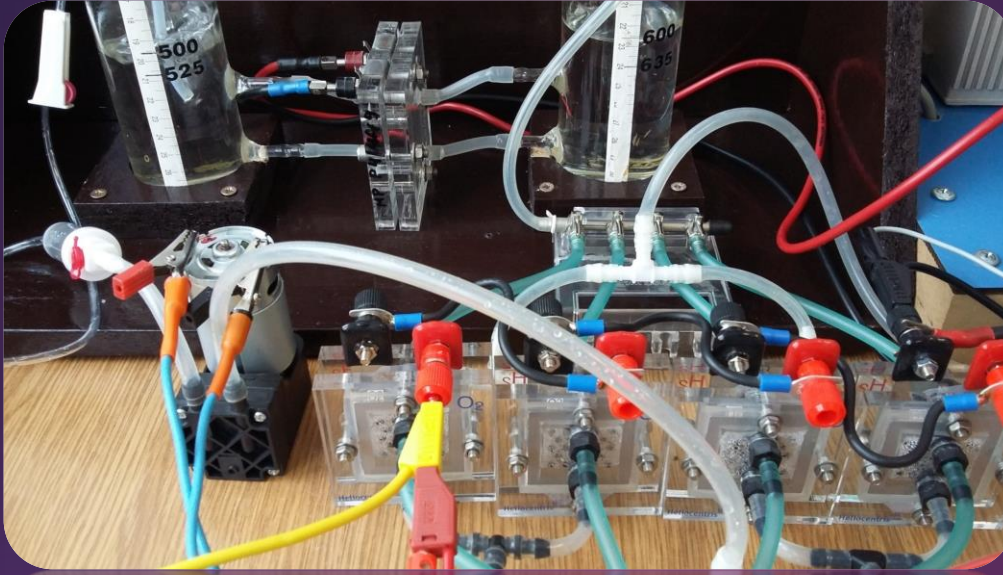
W takim układzie zarejestrowano przebiegi napięcia i prądu ogniwa przy różnych obciążeniach (rys. 17).

Porównano ich zmienność w czasie pracy z otwartym zaworem wylotowym tlenu oraz z przepływem tego gazu w obiegu zamkniętym.



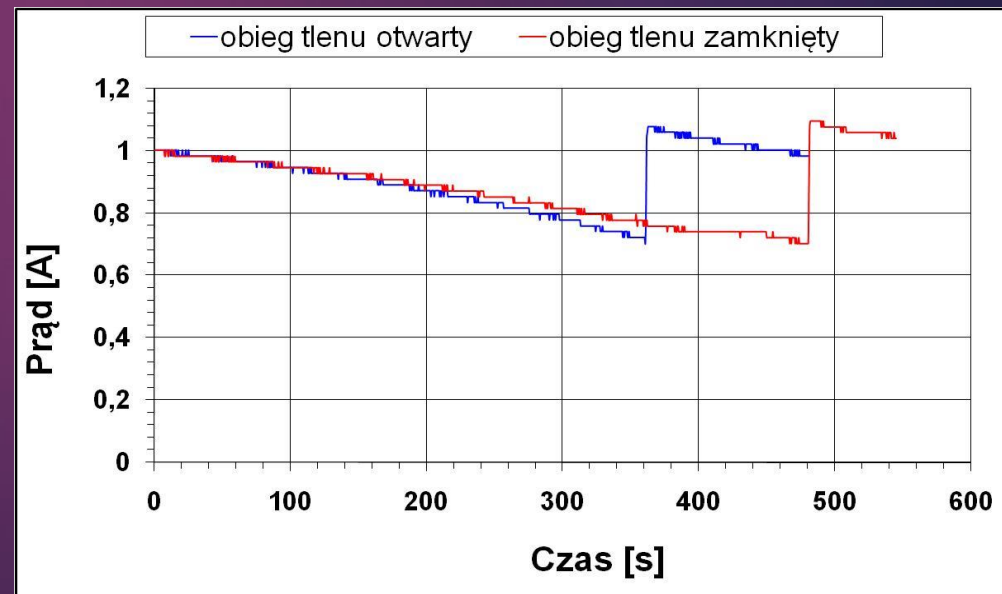
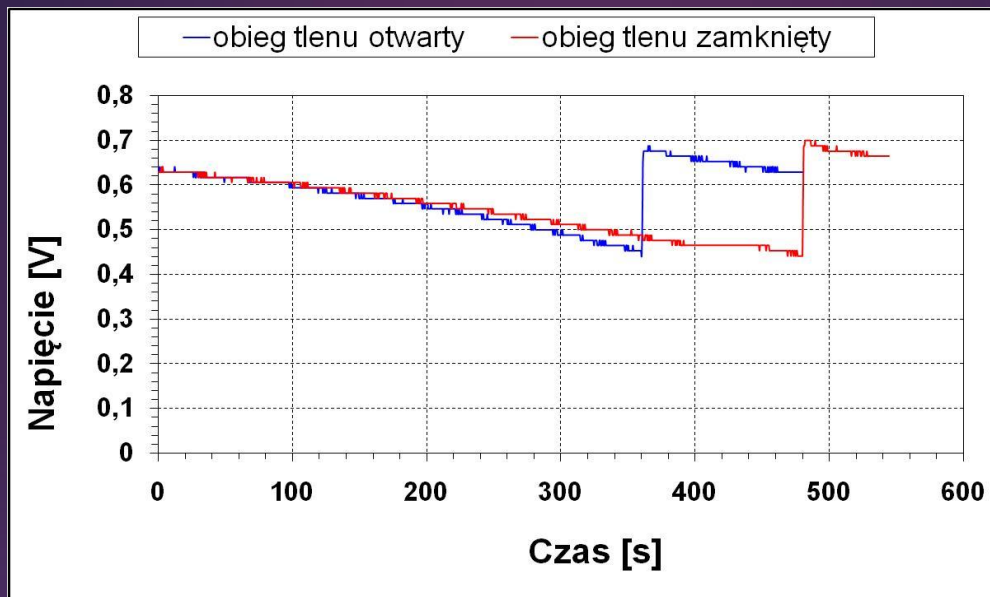
Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 16. Układ wspomagania dopływu tlenu do katody ogniwa paliwowego



Specyfika pracy i problemy w układzie „ogniwo paliwowe – silnik elektryczny”

Rys. 17. Przebiegi napięcia i prądu elementarnego ogniwa i efekt wspomagania dopływu tlenu





WARNING!
Disassembly will void warranty.
Model No. MT1813E-10CB
2018 5

Horizon
Fuel Cell Technologies

H2 Input
0.5 Bar

KEEP UPRIGHT

Output

Valve

10784



Horizon
Fuel Cell Technologies

Wnioski

DC 13

Wnioski

- 1. Zaletą zastosowania wodoru jako paliwa jest możliwość bezpośredniego przetwarzania jego energii chemicznej w energię elektryczną oraz powszechność występowania w przyrodzie. Wadę paliwa wodorowego stanowi mała gęstość energii, duża energochłonność jego uzyskania ze związków chemicznych oraz problemy związane z gromadzeniem i przechowywaniem.**



Wnioski

2. Elektroliza wody umożliwia uzyskanie wodoru o dużej czystości, szczególnie wymaganej przez ogniwo paliwowe typu PEM. Wykorzystanie w tym celu ogniw fotowoltaicznych lub innych przetworników energii odnawialnej powoduje, że w tym procesie w sposób bezpośredni nie powstają szkodliwe dla środowiska związki chemiczne.



Wnioski

3. Przechowywanie wodoru w postaci związków chemicznych ze sproszkowanymi metalami nie wymaga wytwarzania dużego ciśnienia i znacznej szczelności zbiorników, jednak podczas jego uwalniania występuje duża zmienność ciśnienia i czasu potrzebnego do uzyskania wymaganego natężenia przepływu gazu.



Wnioski

4. Ogniwu paliwowe z powodu bezpośredniej przemiany energii chemicznej w elektryczną może charakteryzować się znaczną sprawnością i długotrwałą pracą. Elektrody nie biorą bezpośrednio udziału w reakcjach chemicznych, a produktem końcowym tych procesów jest woda. Główne wady ogniwa to duży koszt wytworzenia oraz wpływ wielu czynników na jego osiągi.



Wnioski

5. Ogniwo paliwowe typu PEM, które charakteryzuje się elektrolitem w postaci ciała stałego, jest najbardziej uniwersalne i wygodne w zastosowaniu z powodu braku ciekłego roztworu elektrolitu i związanych z tym problemów z uszczelnieniem i chemicznymi reakcjami ubocznymi, w których udział bierze materiał elektrod.



Wnioski

6. Najistotniejsze czynniki decydujące o prawidłowej pracy ogniwa paliwowego typu PEM to duża czystość i odpowiednie ciśnienie wodoru, chłodzenie, doprowadzenie i zapewnienie obiegu powietrza (lub tlenu), usuwanie powstającej wody z elektrod w czasie pracy, szczelność połączeń przewodów elastycznych z innymi elementami oraz regularna praca, zapewniająca nawilżanie membrany protonowymiennej i jej dużą przewodność.



Wnioski

7. Krótkotrwałe i okresowe zwieranie elektrod ogniwa przez urządzenie sterujące zapobiega obniżaniu się jego napięcia w czasie pracy, ale nie jest korzystne dla zasilanego silnika, ponieważ powoduje jego nierównomierną pracę i dodatkowe obciążenie łożysk. W momencie zwarcia elektrod ogniwa silnik powinien mieć załączone zasilanie z innego źródła.



Wnioski

8. Podczas pracy silnika elektrycznego, zasilanego przez ogniwo paliwowe, najważniejsze jest zapewnienie odpowiedniego poziomu ciśnienia paliwa wodorowego oraz intensywności przepływu powietrza (lub tlenu), w celu utrzymania odpowiedniego napięcia i prędkości obrotowej silnika oraz pracy w zakresie wymaganych i zmiennych obciążeń.



Wnioski

9. Duże chwilowe obciążenie ogniwa alkalicznego powoduje zmniejszenie jego napięcia, które powraca do pierwotnej wartości z opóźnieniem czasowym. Natomiast ogniwo typu PEM podczas zasilania silników nie wykazywało tej wady i bez opóźnienia odzyskiwało napięcie po zmniejszeniu obciążenia silnika.



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

Wykorzystanie energii chemicznej wodoru do zasilania silników elektrycznych

POLITECHNIKA LUBELSKA

Katedra Pojazdów Samochodowych
dr inż. Marek Adamiec

Projekt „ Politechnika Lubelska – Regionalna Inicjatywa Doskonałości”
– finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo
Nauki
i Szkolnictwa
Wyższego

