



# SYSTEM ZASILANIA HYBRYDOWEGO H-CELL 2.0

BUDOWA, PARAMETRY, OBSŁUGA

# Odnawialne Źródła Energii



Zielona Energia w Szkołach

## Technologie jutra w naszej szkole

### System zasilania hybrydowego z wodorowym ogniwem paliwowym

Dokument przeznaczony jest dla uczestników projektu „Zielona energia w szkołach”.



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

# Spis treści

<i><u>Elementy systemu ogniwa paliwowego</u></i> .....	<u>3</u>
<i><u>Ogniwo paliwowe</u></i> .....	<u>11</u>
<i><u>Zasilanie ogniwa paliwowego</u></i> .....	<u>19</u>
<i><u>Układ sterujący pracą ogniwa paliwowego</u></i> .....	<u>27</u>
<i><u>Układ połączeń systemu ogniwa paliwowego</u></i> .....	<u>35</u>
<i><u>Praca systemu ogniwa paliwowego</u></i> .....	<u>43</u>
<i><u>Rozwiązywanie problemów</u></i> .....	<u>51</u>

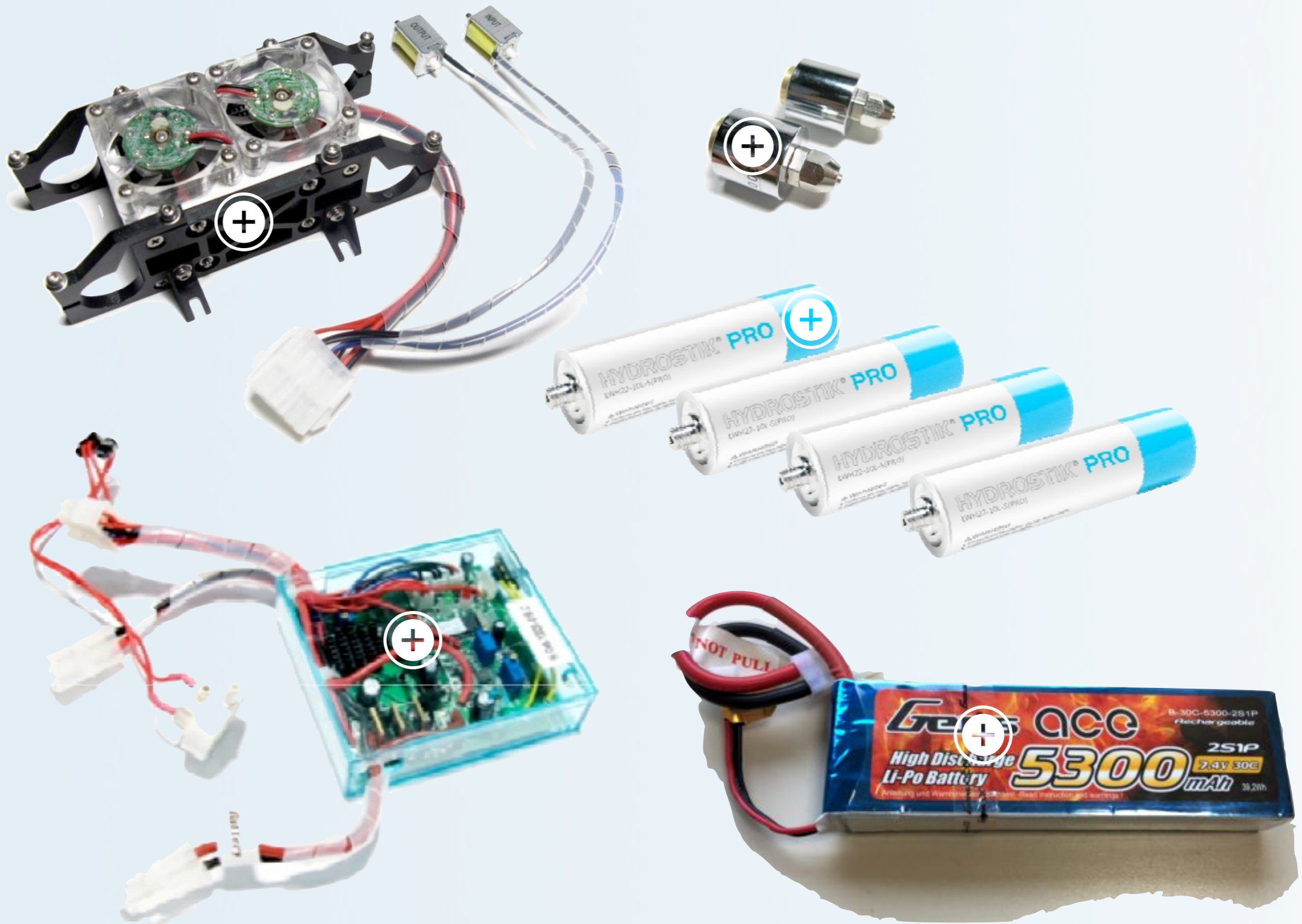


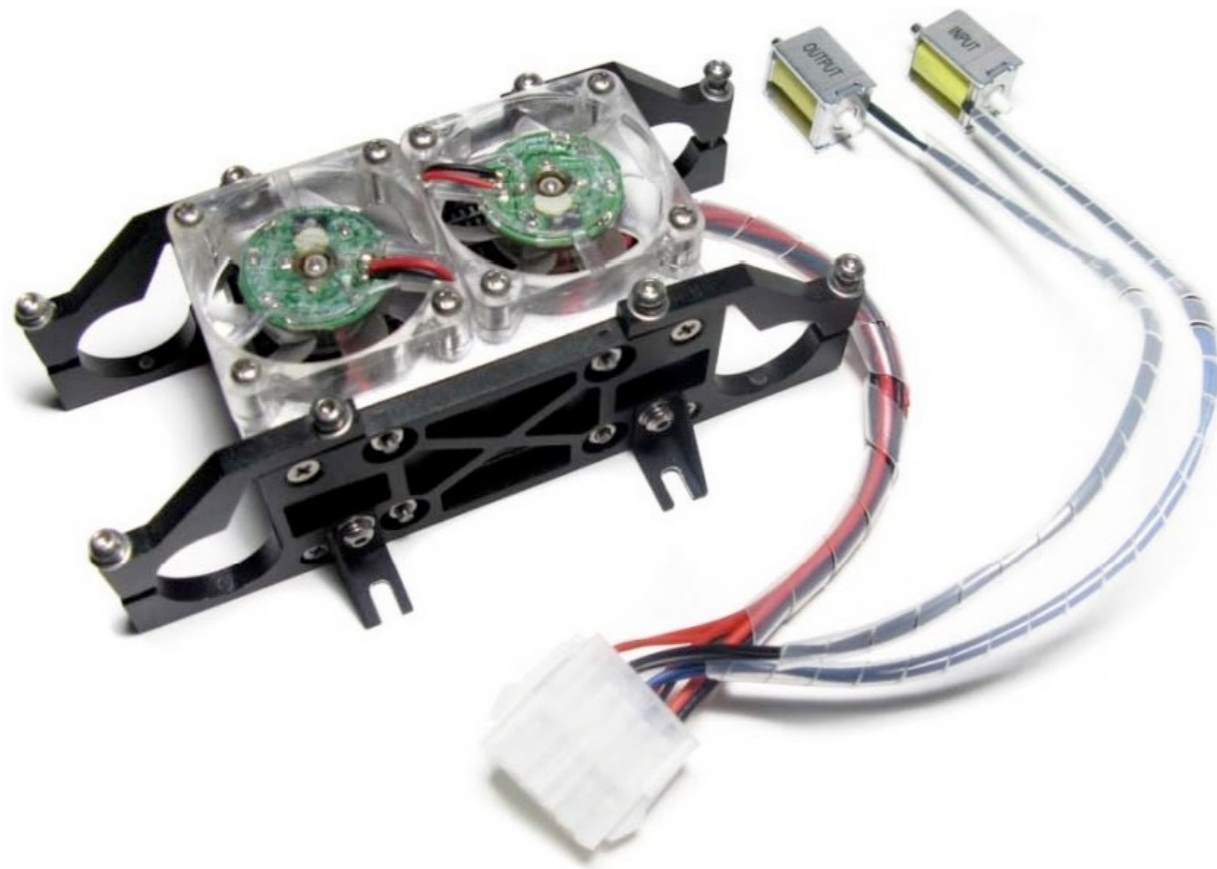
1

## ELEMENTY SYSTEMU OGNIWA PALIWOWEGO

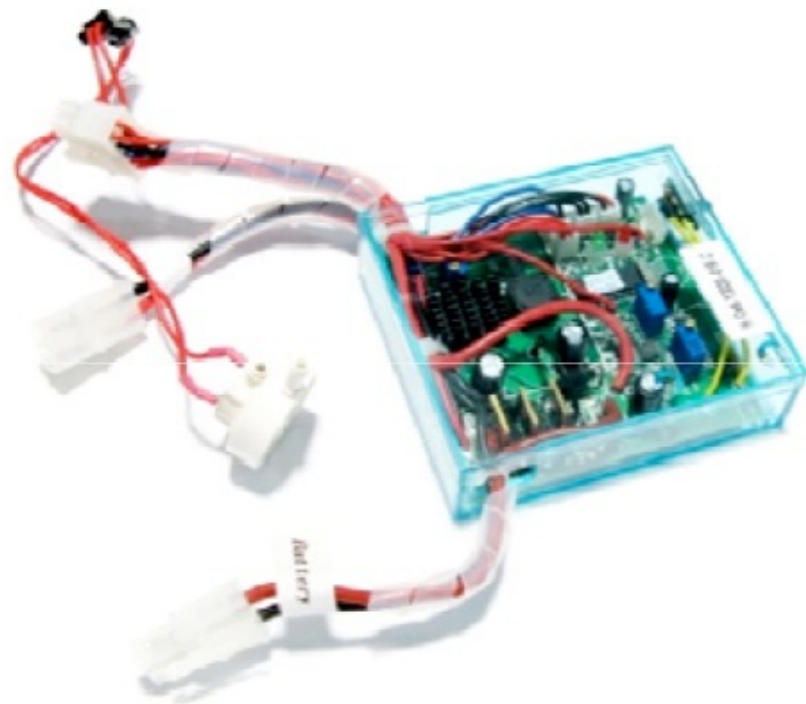
Rozdział ten prezentuje elementy, z których zbudowany jest system ogniwa paliwowego, funkcje tych elementów oraz ich właściwości i parametry.

# ZESTAWIENIE GŁÓWNYCH ELEMENTÓW





OBRAZEK 1.1 Moduł ogniwa paliwowego



OBRAZEK 1.2 Moduł sterujący

Moduł ogniwa paliwowego jest centralnym elementem systemu zasilania hybrydowego. Podstawowym elementem tego modułu jest samo ogniwo wodorowe, uzupełnione zestawem podzespołów koniecznych do jego poprawnej i niezawodnej pracy.

Tak naprawdę moduł nie zawiera pojedynczego ogniwa, tylko stos paliwowy, który dostarcza przy maksymalnym obciążeniu, wynoszącym 30 watów, napięcie o wartości 8,4 V.

Moduł wyposażony jest w specjalne złącze, pozwalające na połączenie go z modułem sterującym.

Moduł sterujący to wyspecjalizowany układ elektroniczny, nadzorujący stan pracy ogniwa. Poprzez 10-o przewodowe połączenie z ogniwem monitorowane są parametry elektryczne stosu paliwowego, jego temperatura oraz zasilany jest system chłodzenia. Tą drogą pobierana jest również wywarzana przez ogniwo energia elektryczna. Do modułu tego dołączony jest także czujnik ciśnienia wodoru oraz elektrozawory, przy pomocy których moduł steruje przepływem wodoru przez ogniwo.



OBRAZEK 1.3 Zbiorniki wodoru



OBRAZEK 1.4 Regulatory ciśnienia



OBRAZEK 1.5 Akumulator litowo-polimerowy

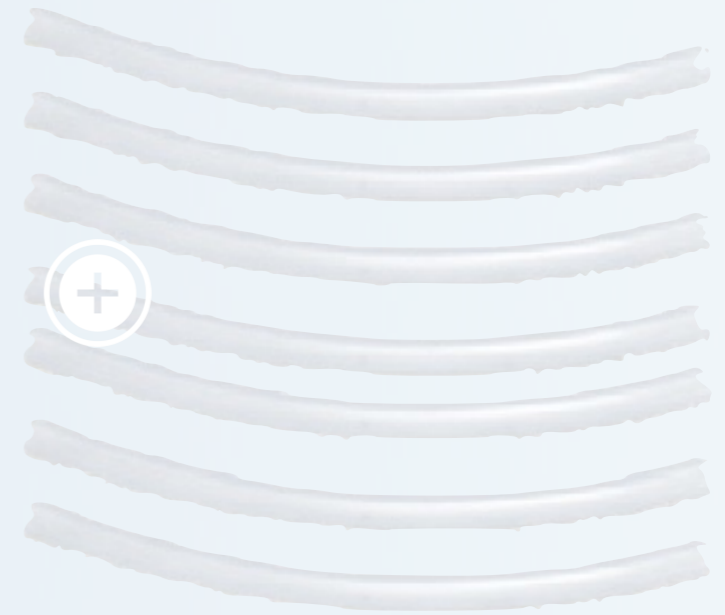
Stos ogniw wymaga do pracy paliwa, którym jest wodór. Gaz ten, na potrzeby systemu, przechowywany jest w specjalnych zbiornikach HYDROSTIK® PRO.

Zbiorniki te wykorzystują technologie przechowywania wodoru w postaci wodorków metali. Dzięki temu, w niewielkich rozmiarowo pojemnikach, przy niskim ciśnieniu, możliwe jest zmagazynowanie 10 litrów wodoru.

Zbiorniki wyposażone są w zawór, który otworzyć można przy pomocy specjalnej głowicy, pełniącej również rolę regulatora ciśnienia. Zawór otwiera się poprzez wkręcenie, do wyraźnie wyczuwalnego oporu, króćca zbiornika w gwintowany otwór regulatora ciśnienia. Oczywiście wcześniej należy połączyć wężykiem regulator ciśnienia z ogniwnem paliwowym.

Ponieważ mamy tu do czynienia z hybrydowym systemem zasilania, oznacza to, że układ posiada również drugie źródło energii. Jest nim akumulator litowo-polimerowy. Jest to akumulator dwukomorowy (2S), o napięciu znamionowym 7,4 V. Akumulator ten jest niezbędny do pracy całego systemu, a w szczególności modułu sterującego.

# ZESTAWIENIE ELEMENTÓW POŁĄCZENIOWYCH I MOCUJĄCYCH







OBRAZEK 1.6 Elementy połączeniowe



OBRAZEK 1.7 Płyta montażowa

W celu zapewnienia właściwej pracy systemu zasilania hybrydowego, poza połączeniami elektrycznymi konieczne jest także wykonanie poprawnej instalacji gazowej. Dlatego w komplecie znajduje się zestaw wężyków wykonanych z silikonu. Są one dopasowane średnicą do króćców ogniwa paliwowego, regulatorów ciśnienia, elektrozaworów i czujnika ciśnienia. Do wykonania kompletnego systemu połączeń gazowych potrzebny jest także czwórnik oraz filtr.

Właściwą stabilność mechaniczną systemu zapewnia odpowiednio przygotowana płyta montażowa. Wykonano w niej zestaw otworów, pozwalających na przymocowanie głównych elementów systemu - modułu ogniwa, modułu sterującego oraz elektrozaworów. Kształt płyty montażowej dostosowany został do kształtu podwozia pojazdu, w którym ma zostać zainstalowany system zasilania hybrydowego.

Na płycie montażowej znajdują się także otwory pozwalające na przymocowanie jej do podwozia. Jest też specjalne wycięcie na wyłącznik modułu sterującego.



OBRAZEK 1.8 Elementy montażowe



OBRAZEK 1.9 Narzędzia

Oczywiście, żeby zamocować poszczególne elementy do płyty montażowej potrzebne są odpowiednie śruby i elementy montażowe. Większość podzespołów przykręcana jest przy pomocy śrub o średnicy 3 mm (M3). Wyjątek stanowi wyłącznik modułu sterującego, gdzie zastosowano śruby 2 mm (M2).

W celu zabezpieczenia śrub przed samoczynnym odkręceniem oraz oraz powierzchni elementów przed uszkodzeniem razem ze śrubami stosowane są podkładki - odpowiednio: sprężynujące (sprężyste) i płaskie.

Moduł ogniwa z jednej strony mocowany jest do płyty montażowej bezpośrednio śrubami, natomiast z drugiej strony - za pomocą aluminiowych łączników.

Dwa elektrozawory, będące elementem modułu ogniwa, mocowane są do płyty montażowej przy pomocy dedykowanego do tego celu uchwytu.

Do przykręcenia większości śrub wymagany jest śrubokręt imbusowy, choć są elementy w całym systemie, które wymagają użycia wkrętaka krzyżowego (na przykład uchwyty mocujące zbiorniki wodoru).

# TEST PODSUMOWUJĄCY

Pytanie 1 z 3

W prezentowanym w tym dokumencie systemie zasilania hybrydowego rolę magazynu energii elektrycznej pełni:

---

- A.** ogniwo paliwowe
- B.** HYDROSTIK® PRO
- C.** akumulator kwasowo-ołowiowy
- D.** akumulator litowo-jonowy



Sprawdź



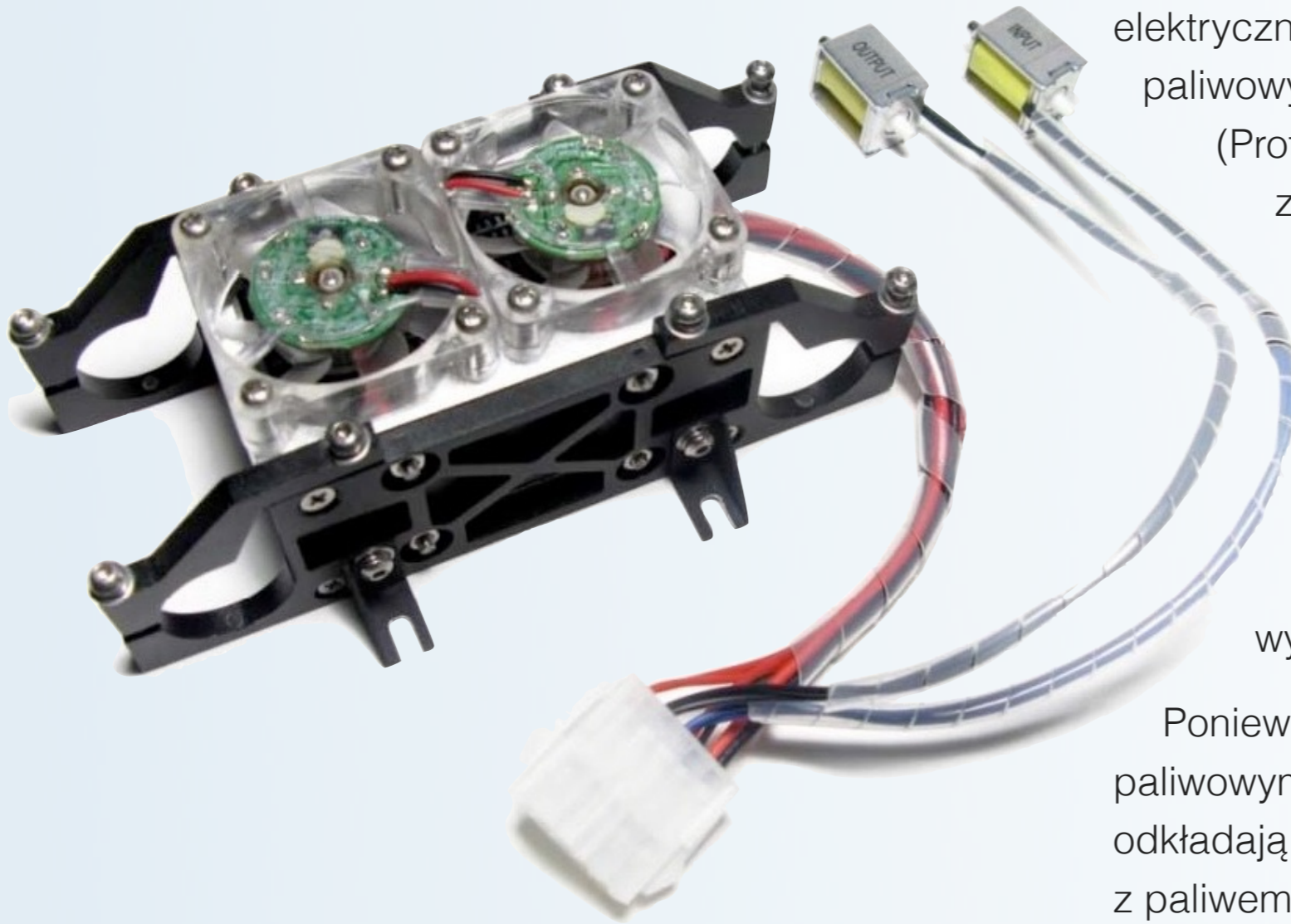


2

## OGNIWO PALIWOWE

Rozdział ten prezentuje moduł ogniwa paliwowego, właściwości samego stosu paliwowego oraz współpracujących z nim bezpośrednio elementów modułu.

# MODUŁ OGNIWA PALIWOWEGO



Moduł ogniwa paliwowego to zespół elementów odpowiedzialnych za przetwarzanie energii chemicznej paliwa, którym jest wodór, na energię elektryczną. Jego głównym elementem jest stos paliwowy, zbudowany z zestawu ogniw typu PEM (Proton-exchange membrane - ogniwo z membraną wymiany protonów).

W ogniwie zachodzi reakcja łączenia wodoru, dostarczanego ze zbiorników, z tlenem pobieranym z powietrza. W wyniku reakcji, poza energią elektryczną powstaje para wodna oraz ciepło. Z tego powodu moduł ogniwa wyposażony jest w system wentylacji.

Ponieważ substraty reakcji zachodzących w stosie paliwowym nie są nigdy w 100% czyste, w ogniwach odkładają się składniki, trafiające do nich razem z paliwem, które nie biorą udziału w reakcji. Powoduje to zanieczyszczanie aktywnego obszaru membrany ogniwa i tym samym spadek jego wydajności. W celu pozbycia się tych zanieczyszczeń co pewien czas przeprowadzane jest przez system „przedmuchiwanie” ogniw wodorem ze zbiorników.

# PARAMETRY STOSU PALIWOWEGO

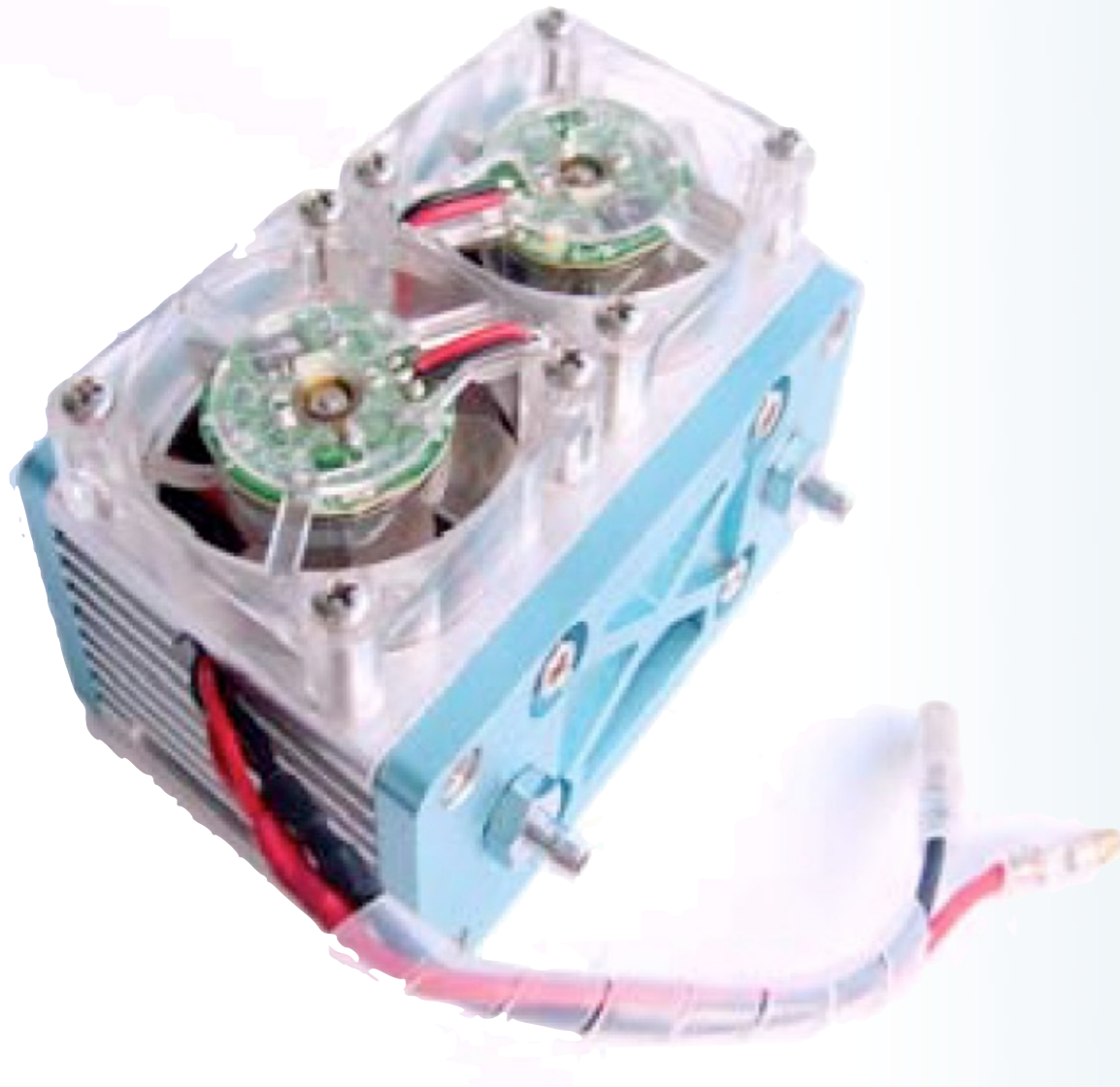
Pojedyncze ogniwo paliwowe typu PEM dostarcza napięcie o wartości nie przekraczającej 1 V.

W przypadku wykorzystywanych w tym systemie ogniw, przy obciążeniu znamionowym, napięcie pojedynczego ogniwa wynosi 0,6 V.

Żeby umożliwić zasilanie odbiorników napięciem odpowiednim do ich wymagań, ogniwa łączone są szeregowo w tak zwany stos. W przypadku opisywanego tu rozwiązania stos ten składa się z 14 ogniw.

Maksymalne natężenie prądu, jakie może dostarczyć ogniwo, zależy przede wszystkim od wielkości aktywnej powierzchni membrany PEM. Opisywany stos paliwowy zawiera ogniwa, które umożliwiają uzyskanie prądu o maksymalnym, znamionowym natężeniu wynoszącym 3,6 A.

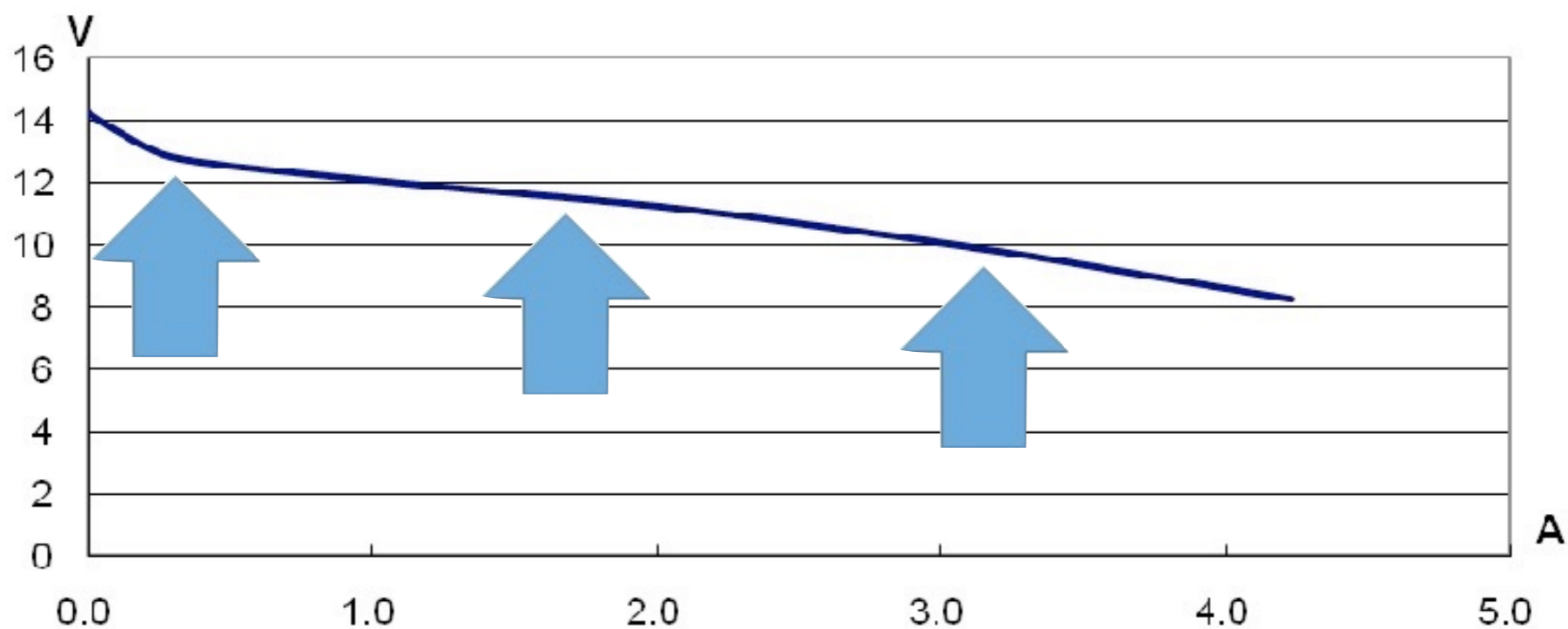
Oczywiście dla uzyskania takiego prądu konieczne jest zasilenie stosu z odpowiednio wydajnego źródła paliwa. W tym przypadku zużycie wodoru przez stos paliwowy wynosi 0,42 litra/min.



Zamieszczona obok tabela zawiera zestawienie wszystkich istotnych parametrów stosu ogniw paliwowych, wykorzystywanego w opisywanym systemie zasilania hybrydowego.

Typ ogniwa	PEM
Liczba cel	14
Moc znamionowa	30 W
Wydajność	3,6 A przy napięciu 8,4 V
Substraty reakcji	Wodór i powietrze
Zakres temperatury otoczenia	Od 5 do 30°C
Maksymalna temperatura ogniwa	55°C
Ciśnienie wodoru	0,45 – 0,55 bara
Czystość wodoru	≧99.995%
Nawilżanie	Samoczynne
Chłodzenie	Powietrzne (zintegrowany wentylator)
Waga (z wentylatorem i obudową)	280 gram (±30 gram)
Zużycie wodoru przy maksymalnym obciążeniu	0,42 l/min
Czas rozruchu	≦30 s w temperaturze pokojowej
Sprawność ogniwa	40% przy pełnym obciążeniu

Poniżej znajduje się wykres przedstawiający zależność napięcia wyjściowego stosu ogniw paliwowych od wielkości obciążenia, czyli natężenia prądu pobieranego z ogniw - tak więc jest to charakterystyka prądowo-napięciowa. Można na niej wyróżnić trzy podstawowe obszary, tzw. obszary krzywej polaryzacji: obszar aktywacji, obszar strat omowych i obszar strat koncentracji. Pierwszy obszar występuje przy braku bądź minimalnym obciążeniu. W tym obszarze napięcie dostarczane przez ogniwa jest znacząco wyższe od znamionowego, jednak już przy niewielkim obciążeniu szybko spada. Drugi obszar, to centralny największy odcinek wykresu, mający charakter liniowy, w którym napięcie spada proporcjonalnie do natężenia pobieranego prądu. Spadek ten jest wywołany opornością wewnętrzną ogniwa. Ostatni obszar zaczyna się w okolicach prądu znamionowego ogniwa i charakteryzuje się silniejszym spadkiem napięcia wyjściowego. Jest to spowodowane ograniczeniami ilościowymi przetwarzanych przez ogniwo substratów reakcji.

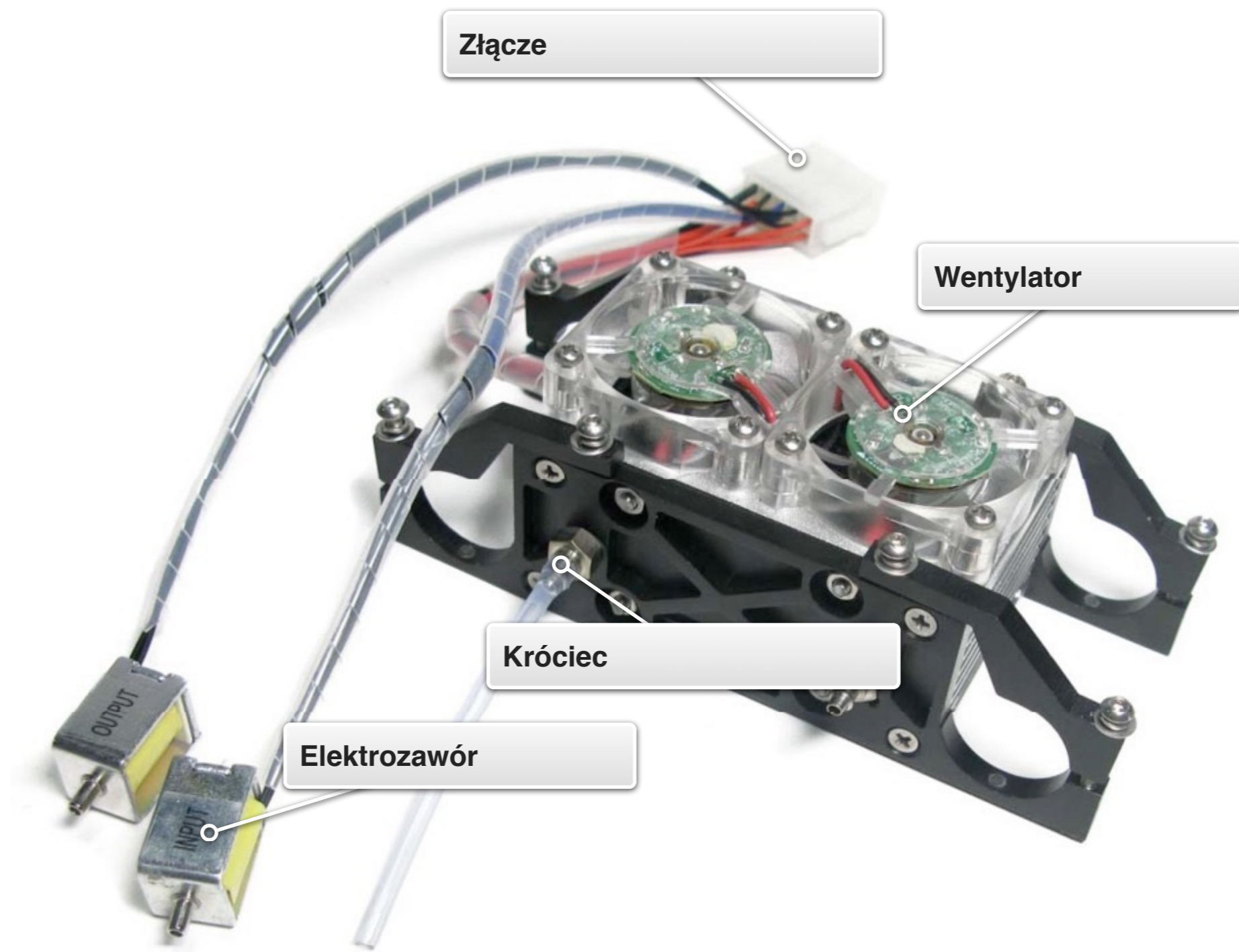




## ELEMENTY MODUŁU OGNIWA PALIWOWEGO

Moduł ogniwa paliwowego to nie tylko sam stos paliwowy. Aby zapewnić ogniwom właściwe warunki pracy oraz możliwość współpracy z pozostałymi elementami systemu zasilania hybrydowego moduł ten zawiera szereg dodatkowych elementów i składników.





Złącze

Wentylator

Króciec

Elektrozawór

# TEST PODSUMOWUJĄCY

Pytanie 1 z 4

Jaki rodzaj ogniwa paliwowego wykorzystywany jest w prezentowanym w tym dokumencie systemie zasilania hybrydowego?

---

- A.** PEM
- B.** RFC
- C.** Li-PO
- D.** DMFC



Sprawdź



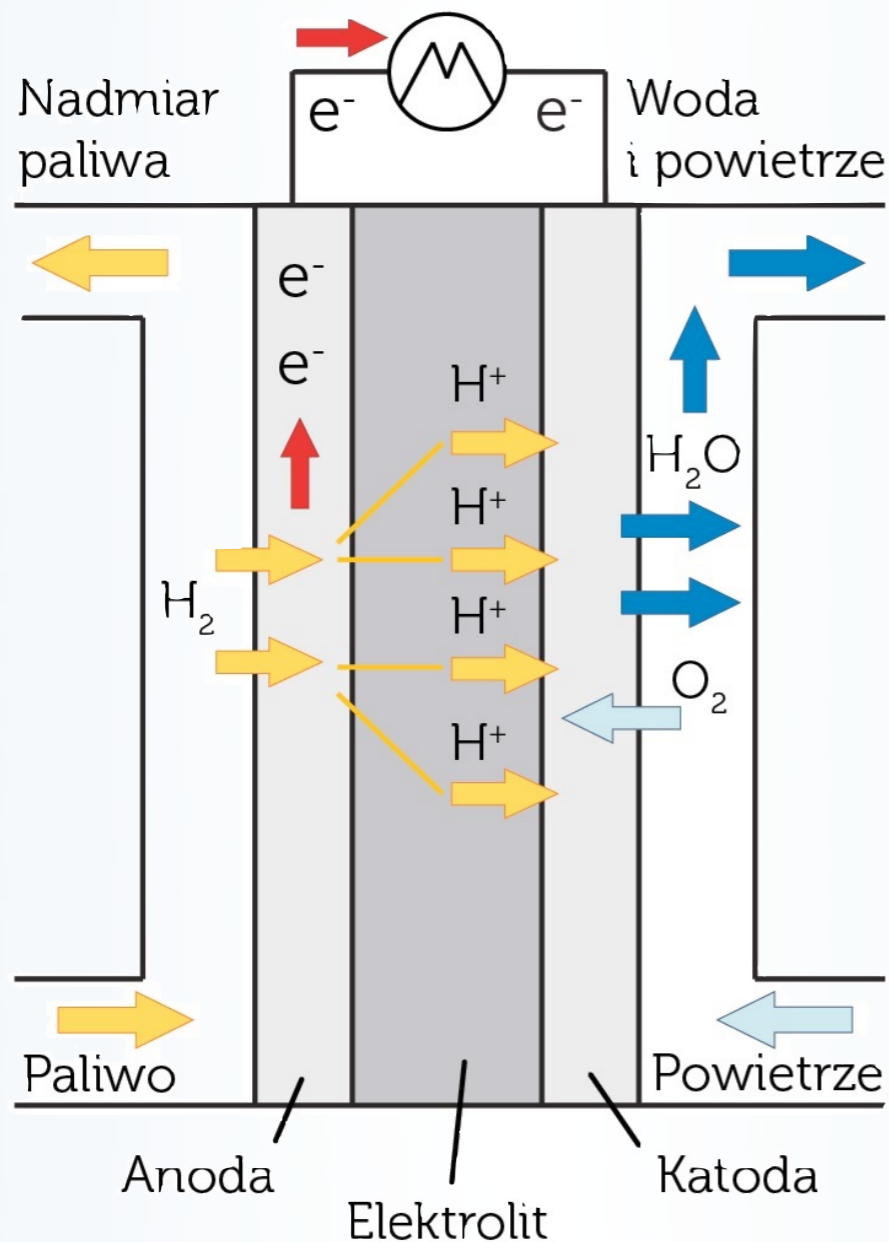


3

## ZASILANIE OGNIWA PALIWOWEGO

W tym rozdziale przedstawione są wymagania dotyczące zasilania systemu ogniwa paliwowego oraz sposób spełnienia tych wymagań.

# ZASADA DZIAŁANIA OGNIWA PALIWOWEGO

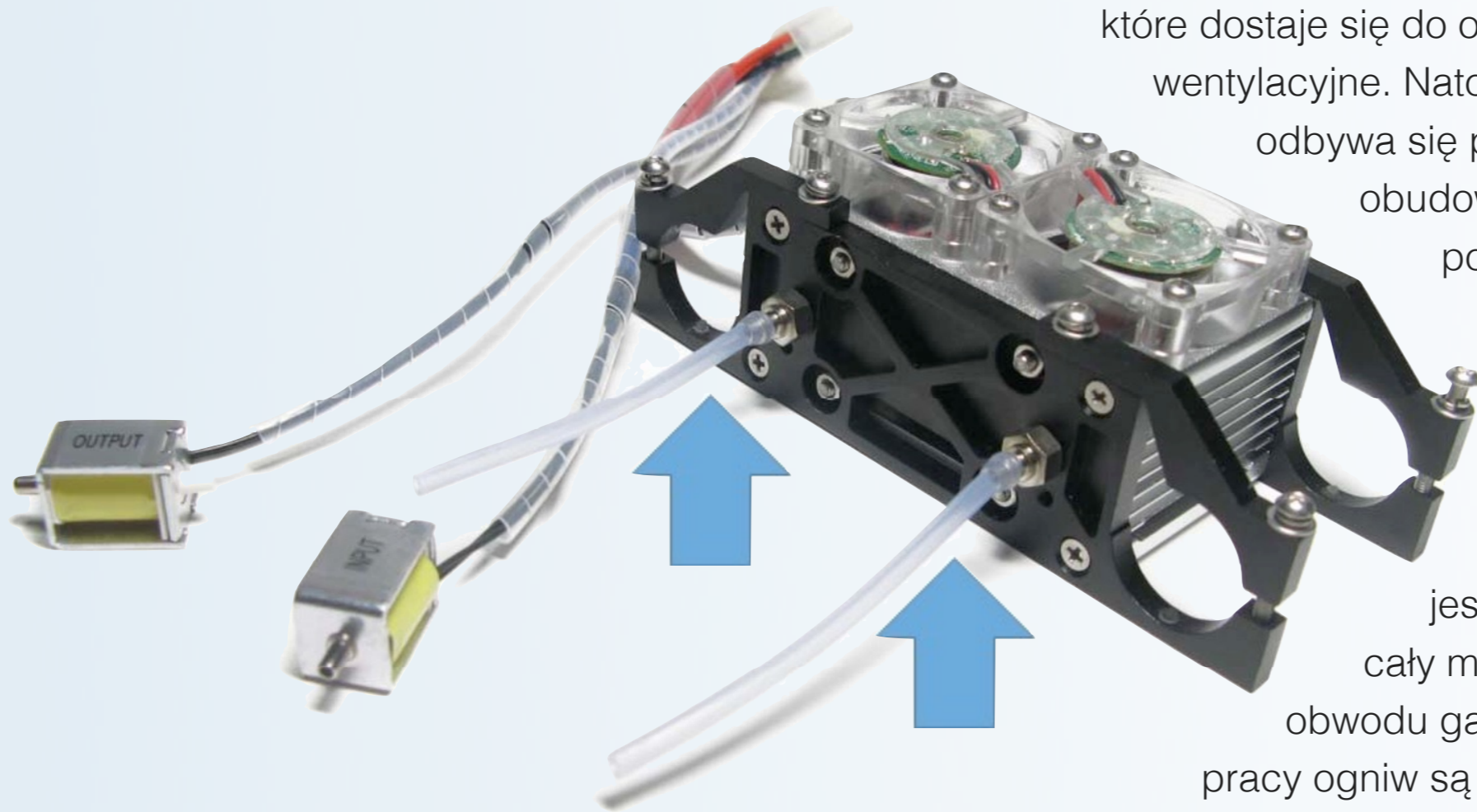


Ogniwo paliwowe pozwala na pozyskanie energii chemicznej posiadanej przez paliwo. W przypadku tu prezentowanego ogniwem paliwem jest wodór. Jest to gaz palny. Jednak w przypadku ogniw paliwowych PEM energia nie jest pozyskiwana w procesie spalania, choć zachodzi w nim reakcja utleniania wodoru.

Reakcja ta odbywa się na katodzie. Z jednej strony do katody dostarczany jest tlen, będący składnikiem powietrza. Natomiast wodór może dostać się do katody tylko poprzez membranę PEM, która pełni tutaj rolę elektrolitu. Do tego membrana ta przepuszcza jedynie dodatnie jony wodoru, natomiast blokuje przepływ ujemnie naładowanych elektronów (rozkład cząsteczek wodoru na jony i elektrony zachodzi na anodzie). Elektrony z anody do katody mogą przedostać się przez obwód zewnętrzny, w postaci prądu elektrycznego. I to jest właśnie forma energii jaką pozyskuje się z ogniw paliwowych PEM.

Jedynym ubocznym efektem zachodzących reakcji jest para wodna - a więc nie ma tu żadnych szkodliwych spalin.

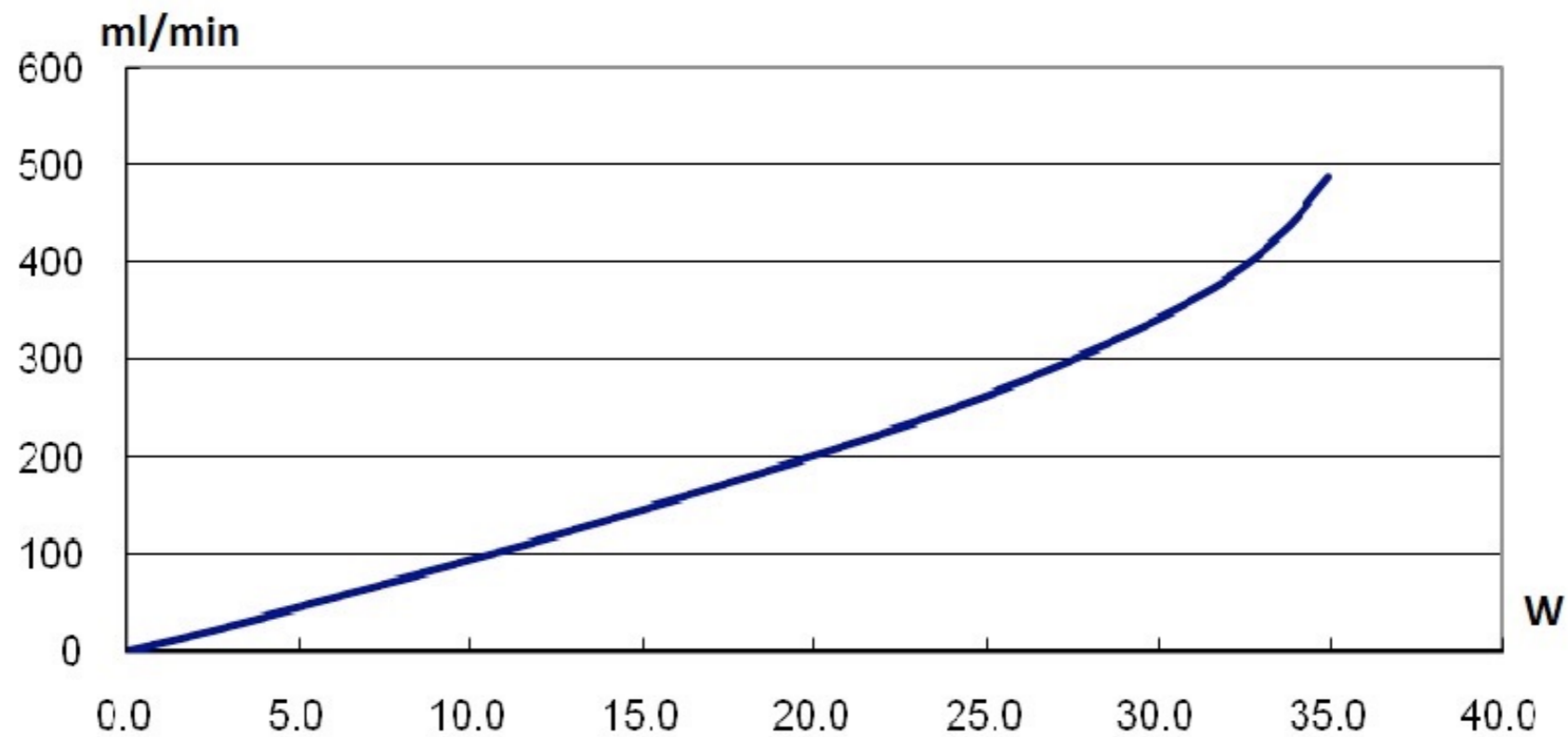
## DOSTARCZANIE PALIWA



Opisywany tu moduł ogniwa paliwowego zawiera stos paliwowy składający się z 14 ogniw typu PEM. W związku z tym wymaga do pracy paliwa w postaci wodoru oraz tlenu. Źródłem tlenu jest tutaj powietrze, które dostaje się do ogniwa przez odpowiednie kanały wentylacyjne. Natomiast zasilanie wodorem odbywa się przez znajdujące się na obudowie modułu króćce. Obudowa posiada dwa króćce. Jednym z nich dostarczany jest do ogniw wodór ze zbiornika. Drugi natomiast umożliwia usuwanie z ogniw zbędnych składników. Przy rozruchu ogniw jest to powietrze, które wypełnia cały moduł przed zamknięciem obwodu gazowego. Natomiast w czasie pracy ogniw są to wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia, które dostają się do ich wnętrza razem z paliwem i odkładają na membranie PEM od strony anody, zmniejszając wydajność ogniw. Oczywiście w czasie normalnej pracy drugi króćciec powinien być standardowo zamknięty, żeby znajdujący się pod ciśnieniem wodór nie wydostawał się poza moduł ogniwa.

## ZAPOTRZEBOWANIE NA PALIWO

Poniższy wykres przedstawia zależność ilości pobieranego wodoru przez prezentowany tu stos paliwowy od wielkości mocy prądu elektrycznego, pobieranego z systemu ogniwi. W dużej części zależność ta ma charakter liniowy, czyli ilość zużywanego wodoru zależy wyłącznie od ilości oddawanej energii elektrycznej. Dopiero przy obciążeniu zbliżającym się do znamionowego charakterystyka odchyła się w górę, co świadczy o spadku sprawności ogniwa - zwiększa się ilość energii, która wydzielą się w ogniwie w postaci ciepła. O poziomie zużycia wodoru decyduje przede wszystkim ciepło spalania tego gazu, które wynosi  $12,7 \text{ MJ/m}^3$  oraz sprawność ogniwa wynosząca maksymalnie 40%.



## ŹRÓDŁO WODORU

W celu zapewnienia prawidłowego działania modułu ogniwa paliwowego konieczne jest zasilenie go z odpowiednio wydajnego źródła wodoru. Odpowiednim rozwiązaniem jest użycie zbiorników HYDROSTIK PRO. Są to zbiorniki wykorzystujące technologię składowania wodoru w postaci wodorków metali. Zbiornik wypełniony jest sproszkowanym stopem typu AB5, gdzie A jest lantanowcem, a B to nikiel. Takie rozwiązanie pozwala w niewielkiej objętości i pod niewielkim ciśnieniem przechowywać duże ilości wodoru. Objętość zewnętrzna (brutto) tego pojemnika wynosi niecałe 31 ml, a można w nim przechować 10 litrów wodoru.





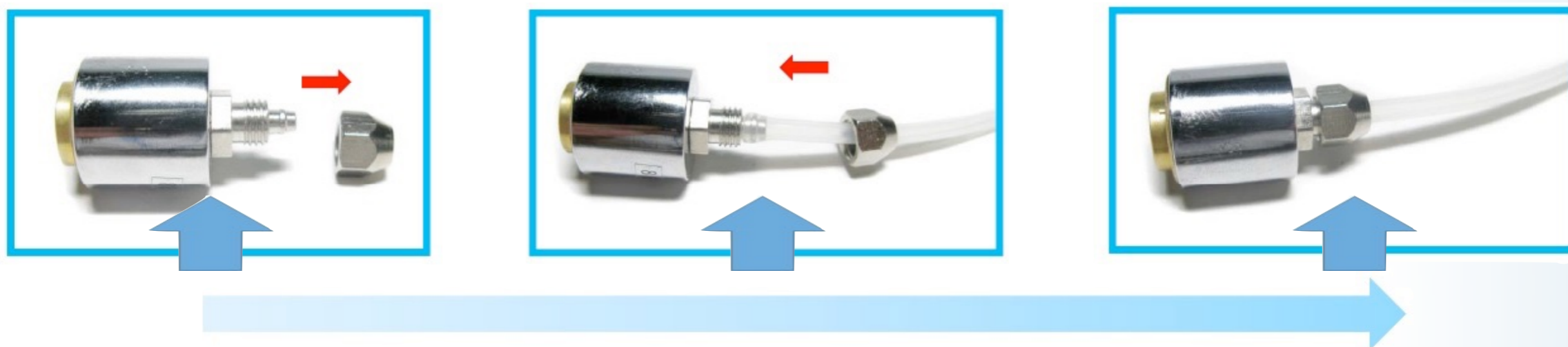
Przedstawiona obok tabela pokazuje najważniejsze parametry zbiorników HYDROSTIK PRO. zgodnie z informacjami podawanymi przez producenta zbiornik taki nadaje się do zasilania ogniwo paliwowych o mocy do 30 W. Taką właśnie moc ma prezentowany tutaj stos paliwowy. Jednak w sytuacji, gdy zbiornik pracuje na granicy swoich możliwości pojawia się pewien niekorzystny efekt. Proces

uwalniania wodoru z wodoru metalu jest reakcją endotermiczną, czyli wymaga pobierania ciepła z otoczenia. Efektem tego jest znaczący spadek temperatury zbiornika. Przy wysokim poborze wodoru temperatura zbiornika może spaść nawet poniżej 0°C. Powoduje to spowolnienie reakcji uwalniania wodoru i uniemożliwia prawidłowe zasilanie stosu paliwowego. Dlatego korzystnie jest zastosować do zasilania przynajmniej dwa zbiorniki. Dzięki temu będą one wydajnie pracować do ich całkowitego opróżnienia, a dodatkowo dwukrotnie wydłuży się czas pracy całego systemu.

Do podłączenia zbiorników do modułu ogniwa należy wykorzystać specjalne głowice, które pełnią również rolę reduktora ciśnienia i zaworu. Poniższe rysunki pokazują sposób podłączenia wężyka do głowicy.

Pojemność	10 l wodoru
czystość wodoru	≥99,995%
rozmiary pojemnika	φ22x88 mm
waga	ok. 105 g
wypełnienie	wodorek metalu AB5
znamionowe ciśnienie ładowania	3.0 MPa
Temperatura pracy	0-55°C

**OBRAZEK 3.1** Podłączenie wężyka do głowicy



## WYTWARZANIE WODORU

Oczywiście, żeby móc korzystać z wodoru zgromadzonego w zbiornikach HYDROSTIK PRO należy go najpierw wytworzyć i wtłoczyć do tych zbiorników. Do tego celu przeznaczone jest specjalne urządzenie o nazwie HYDROFILL PRO. Jest to produkt pozwalający na całkowicie automatyczne i bezobsługowe napełnianie powyższych zbiorników wodorem. Jedyne co należy mu zapewnić to woda destylowana (lub demineralizowana) oraz zasilanie.



Ze względu na szeroki dopuszczalny zakres napięcia zasilającego od 10 do 19 V możliwe jest zasilanie urządzenia z systemu zasilania solarne lub turbiny wiatrowej.

Urządzenie na całkowite napełnienie zbiornika HYDROSTIK PRO potrzebuje około 4 godzin. W tym czasie zużyje około 80 ml wody, pobierając maksymalnie 23 W mocy ze źródła zasilania.

W komplecie jest także zasilacz, więc urządzenie można zasilać bezpośrednio z sieci energetycznej.

# TEST PODSUMOWUJĄCY

Pytanie 1 z 4

Jaki rodzaj paliwa wykorzystywany jest w ogniwach paliwowych stosowanych w prezentowanym systemie zasilania hybrydowego?

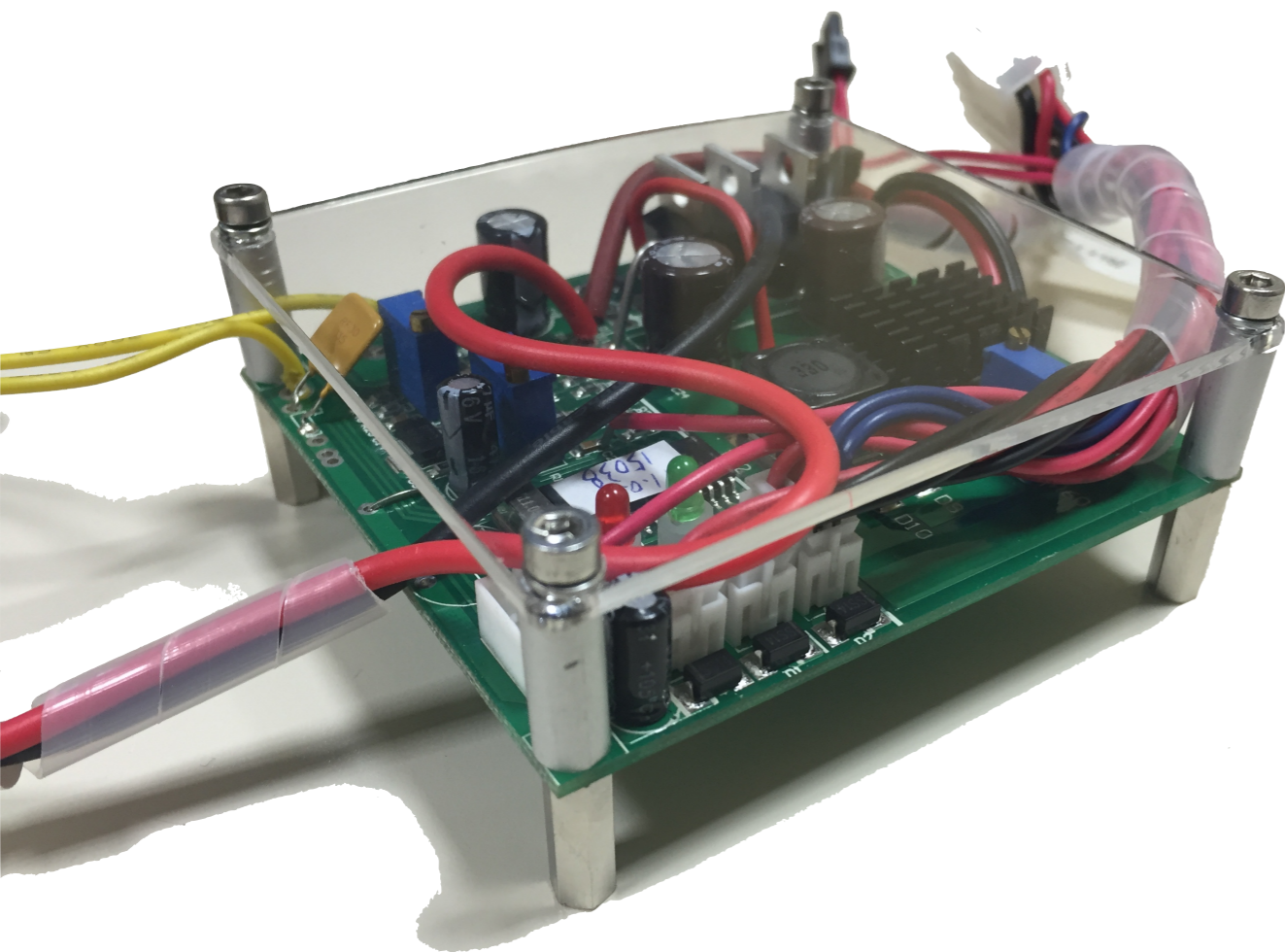
---

- A.** gaz ziemny
- B.** metanol
- C.** wodór
- D.** tlen



Sprawdź



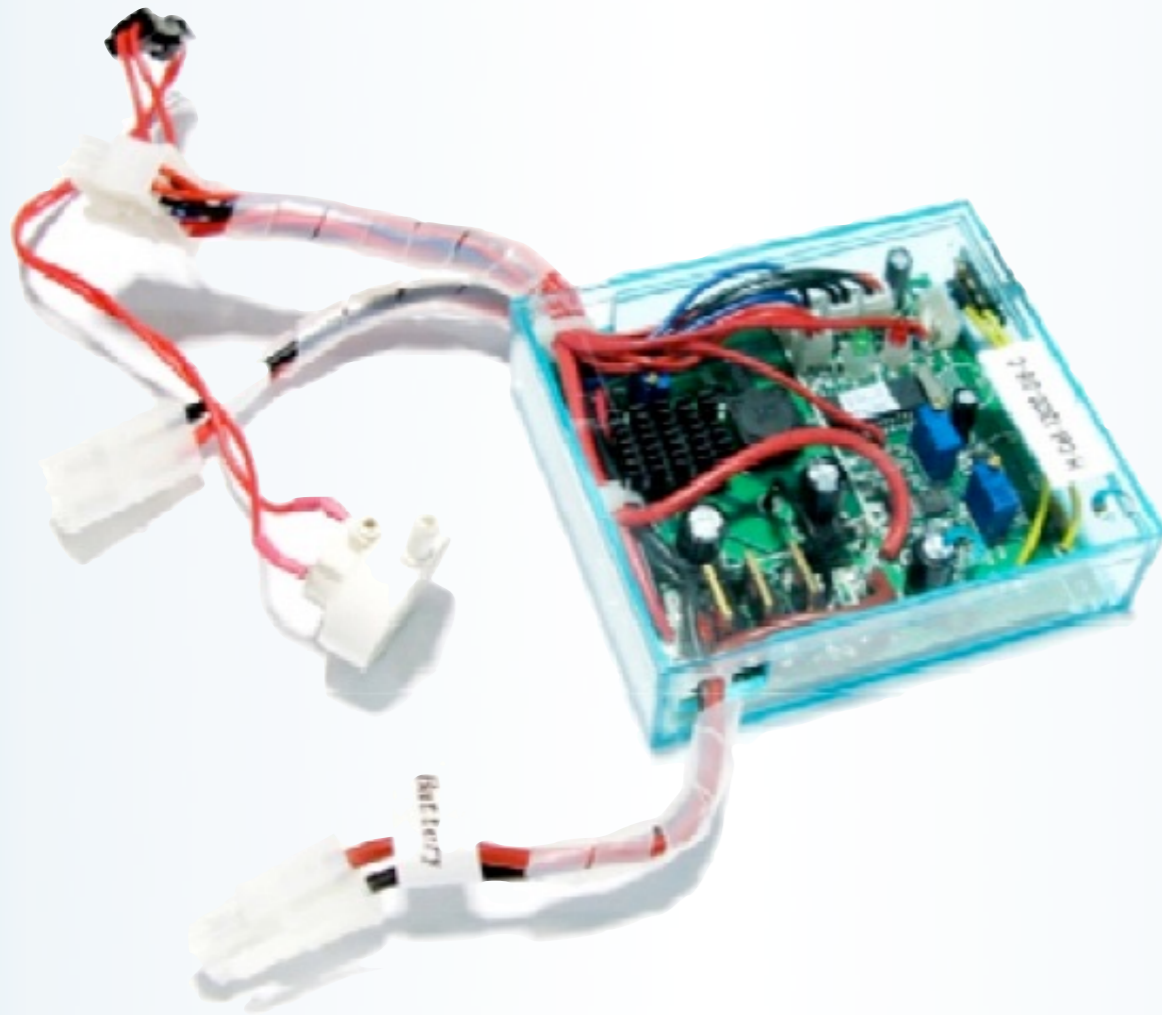


4

## UKŁAD STERUJĄCY PRACĄ OGNIWA

Rozdział ten wyjaśnia rolę i funkcje elektronicznego układu sterującego, wchodzącego w skład systemu zasilania hybrydowego.

# FUNKCJE UKŁADU STERUJĄCEGO



Teoretycznie ogniwo paliwowe potrzebuje do działania jedynie paliwa, którym jest wodór, oraz tlenu, który może być absorbowany z powietrza. Po dostarczeniu tych składników do ogniwa natychmiast rozpoczyna ono pracę, przetwarzając paliwo na energię elektryczną.

Jednak rzeczywistość jest znacznie bardziej złożona. W trakcie pracy ogniwa zachodzą w nim reakcje, które powodują spadek jego efektywnej wydajności. Dlatego konieczne jest wykonywanie odpowiednich działań obsługowych, które zniwelują ten niekorzystny efekt.

Do tego konieczny jest stały nadzór nad aktualnymi warunkami pracy ogniwa, takimi jak jego temperatura, czy ciśnienie dostarczanego wodoru.

Stos paliwowy jest elementem systemu zasilania hybrydowego, zawierającego także akumulator. Konieczne jest również zapewnienie właściwej z nim współpracy.

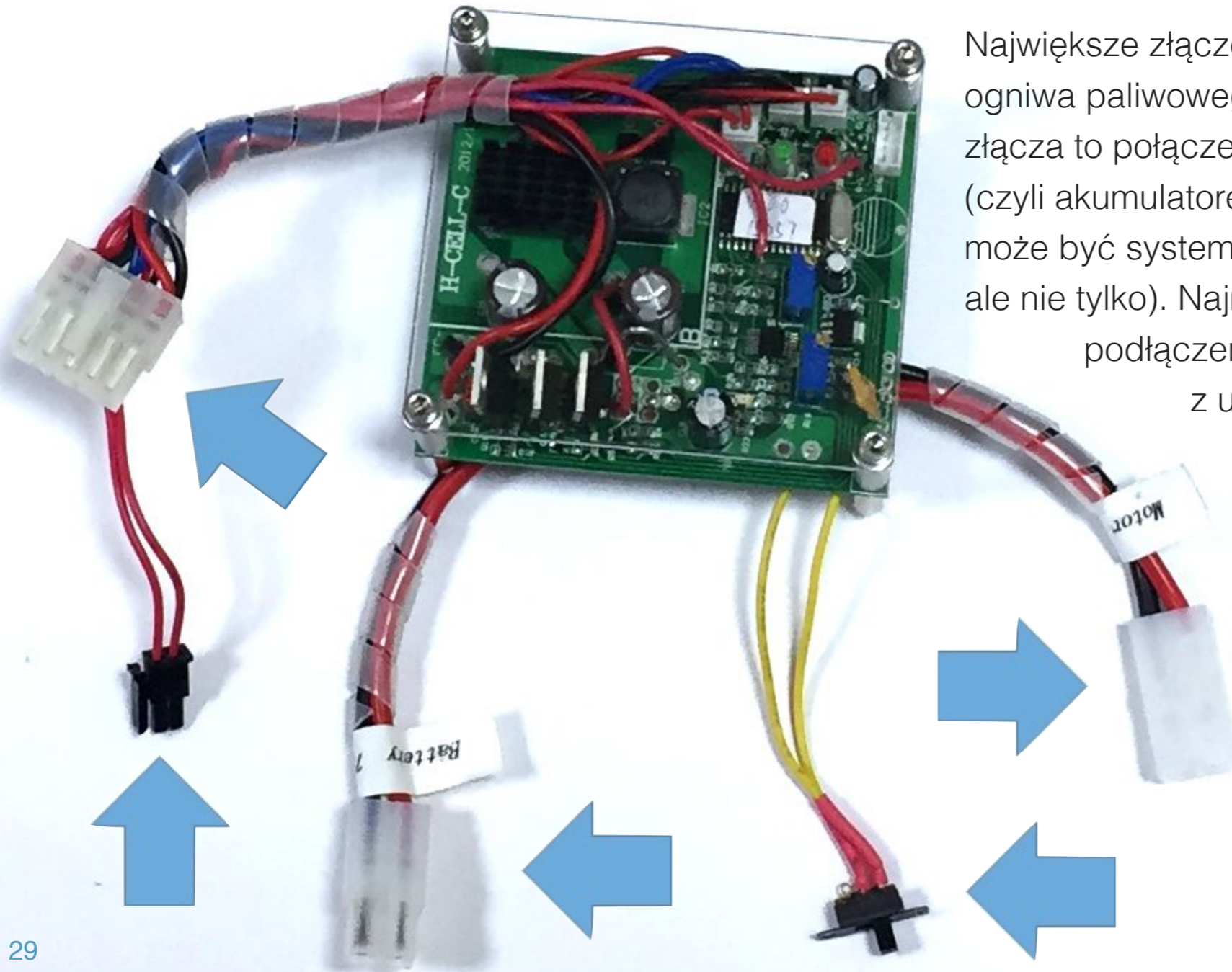
Te wszystkie funkcje realizuje elektroniczny układ sterujący, wchodzący w skład systemu zasilania hybrydowego.

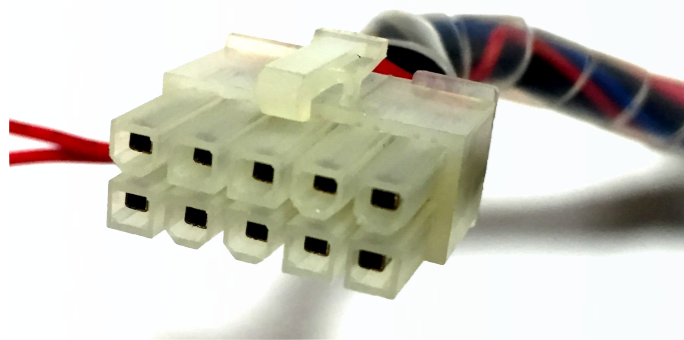
# POŁĄCZENIA

Układ sterujący jest centralnym elementem całego systemu zasilania hybrydowego, dlatego łączą się z nim wszystkie pozostałe elementy tego systemu.

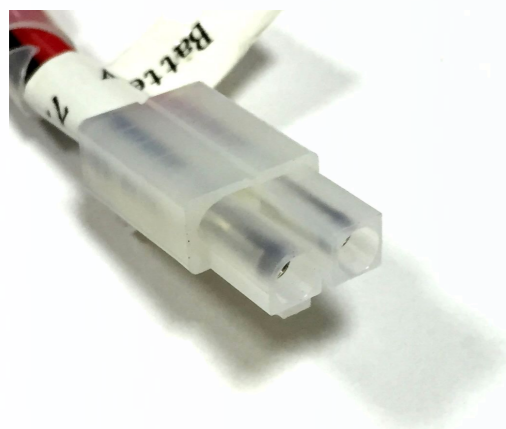
W celu zrealizowania tych połączeń układ sterujący wyposażony jest w szereg złączy. Żeby nie dochodziło do pomyłek w trakcie łączenia elementów systemu zasilania hybrydowego, każde z połączeń wykorzystuje inny rodzaj złącza.

Największe złącze służy do połączenia z modułem ogniwa paliwowego. Dwa mniejsze, symetryczne złącza to połączenie z zewnętrznym źródłem energii (czyli akumulatorem) i odbiornikiem energii (którym może być system napędowy modelu samochodu RC, ale nie tylko). Najmniejsze złącze służy do podłączenia czujnika ciśnienia. Dodatkowo z układu sterującego wyprowadzony jest jeszcze przełącznik, służący do włączania i wyłączania systemu zasilania hybrydowego.





**OBRAZEK 4.1** Połączenie z modułem ogniwa paliwowego



**OBRAZEK 4.2** Połączenie z akumulatorem

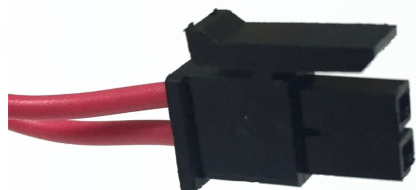


**OBRAZEK 4.3** Połączenie z odbiornikami energii

To 10-o stykowe złącze umożliwia przede wszystkim przekazywanie energii elektrycznej, wytwarzanej przez stos paliwowy, do systemu zasilania hybrydowego. Ale do tego potrzebne są tylko dwa styki. Pozostałe służą do: sterowania pracą dwóch elektrozaworów, wchodzących w skład modułu ogniwa, zasilania systemu chłodzenia stosu paliwowego oraz pomiaru temperatury ogniw.

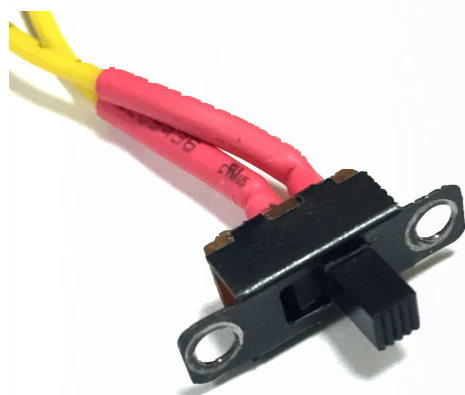
System zasilania hybrydowego, poza stosem paliwowym, wymaga także drugiego źródła energii, którym jest akumulator. Poprzez pokazane tutaj złącze jest on dołączany do układu sterującego, a za jego pośrednictwem wprost do odbiorników. Akumulator zasila układ sterujący i bez niego cały system zasilania hybrydowego nie będzie pracował. Natomiast w samym w układzie sterującym wykonane jest bezpośrednie połączenie ze złączem odbiornika energii, dzięki czemu możliwe jest zasilanie tego odbiornika z akumulatora nawet przy wyłączonym systemie ogniwa paliwowego. Z drugiej strony, gdy energia ze stosu paliwowego nie jest zużywana przez odbiornik, układ sterujący wykorzystuje ją do ładowania akumulatora. Procedura ładowania przerywana jest przez układ sterujący po osiągnięciu przez akumulator maksymalnego dopuszczalnego napięcia.

Złącze odbiorników energii jest symetryczne do złącza akumulatora, dzięki czemu możliwe jest włączenie systemu zasilania hybrydowego pomiędzy akumulator i odbiornik (bądź bezpośrednie połączenie akumulatora z odbiornikiem, z pominięciem tego systemu). Wartość napięcia na tym złączu odpowiada napięciu akumulatora dołączonego do układu. Również napięcie stosu paliwowego dostosowane jest do tej wartości. W tym przypadku jest to napięcie dwóch ogniw Li-Po, czyli 7,4 V.



**OBRAZEK 4.4** Złącze czujnika ciśnienia

Ciśnienie wodoru zasilającego ogniwo nie powinno być niższe niż 0,45 bara. Zbiorniki wodoru HYDROSTIK PRO są w stanie dostarczać wyższe ciśnienie (do 0,7 bara) prawie do całkowitego wyczerpania ich zawartości. Jeśli jednak to nastąpi ciśnienie wodoru raptownie spadnie i dalsza poprawna praca ogniwa nie jest możliwa. Dlatego ciśnienie to jest cały czas weryfikowane i gdy spadnie poniżej przyjętego progu układ sterujący „wyłączy” stos paliwowy. Odbiornik energii może jednak dalej pracować, zasilany z akumulatora podłączonego do systemu.



**OBRAZEK 4.5** Wyłącznik układu sterującego

Poza złączami do układu sterującego podłączony jest także parą przewodów dwupozycyjny przełącznik. Umożliwia on włączanie i wyłączanie całego układu sterującego, a tym samym całego systemu ogniwa paliwowego. Wyłączenie układu sterującego nie odcina jednak odbiornika od akumulatora i w oparciu o jego energię odbiornik może dalej pracować. Natomiast włączenie układu sterującego uruchamia pracę stosu paliwowego i dołącza jego wyjście elektryczne równoległe do akumulatora i odbiornika.

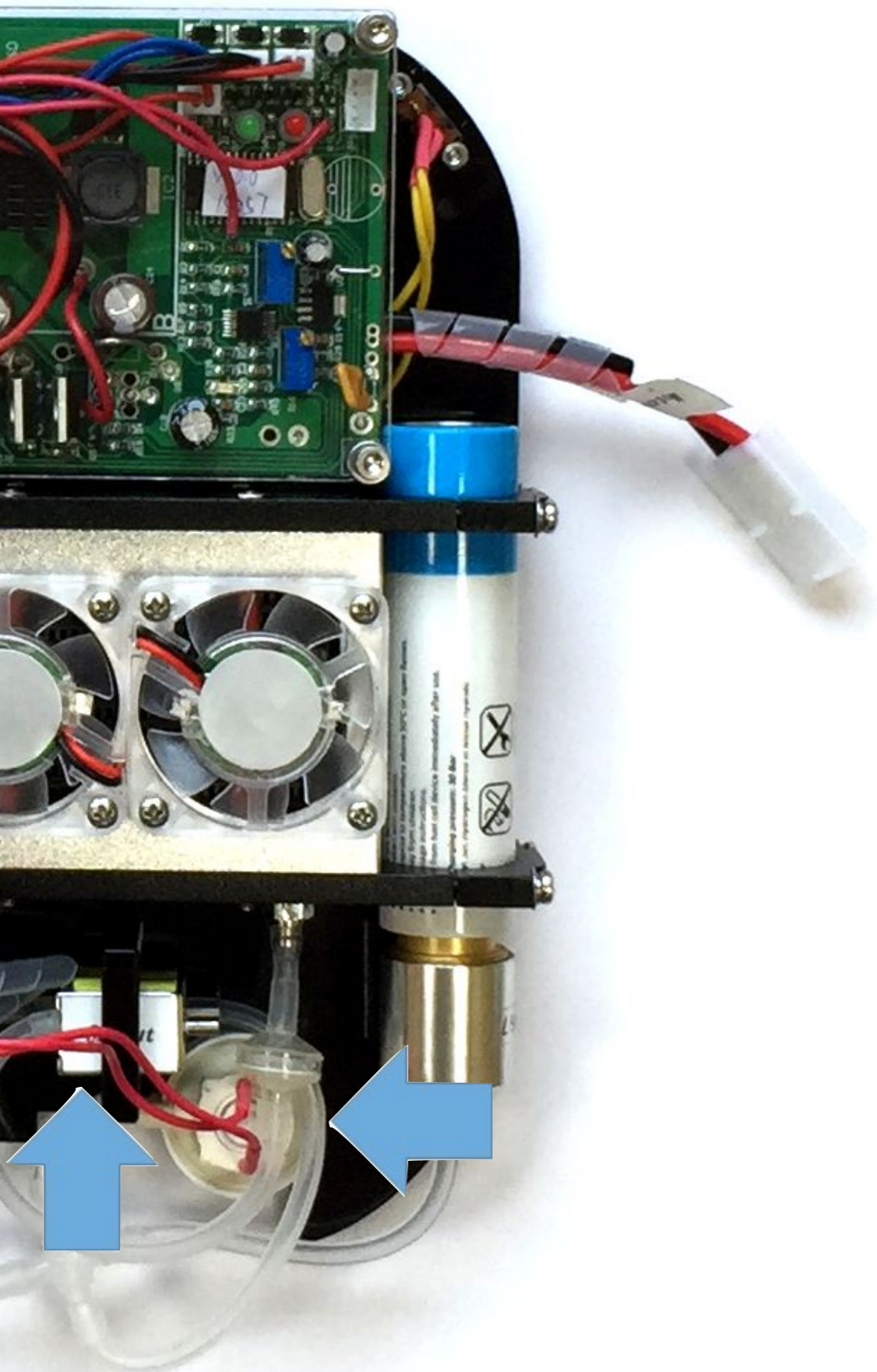


## DZIAŁANIE

Główną funkcją układu sterującego jest zapewnienie odpowiednich warunków pracy stosu paliwowego.

W czasie pracy ogniw paliwowych, w wyniku reakcji łączenia wodoru z tlenem, poza energią elektryczną powstaje także ciepło. Powoduje to wzrost temperatury wewnątrz ogniwa. Zbyt wysoka temperatura prowadzi do szeregu niekorzystnych zjawisk. Polimerowa membrana, pełniąca rolę elektrolitu musi być wilgotna. Wilgoć powstaje w naturalny sposób w wyniku reakcji zachodzących w ogniwie, ale przy zbyt wysokiej temperaturze - szybko paruje, co prowadzi do wysychania ogniwa i może doprowadzić do jego uszkodzenia. Szczególnie niebezpieczne jest doprowadzanie wilgoci w ogniwie do stanu wrzenia, co skutkuje zniszczeniem membrany. Według zaleceń producenta temperatura ogniw nie powinna przekroczyć  $55^{\circ}\text{C}$ . Dlatego moduł ogniwa wyposażony jest w czujnik temperatury i system chłodzenia. Układ sterujący kontroluje wydajność systemu chłodzącego i mierzy temperaturę ogniwa. W przypadku przekroczenia dopuszczalnej temperatury układ sterujący wyłącza stos paliwowy.





Również przy zbyt niskim ciśnieniu gazu moduł ogniwa jest wyłączany przez układ sterujący.

Druga kwestia to zapewnienie odpowiedniej, stałej wydajności ogniw paliwowych.

Paliwo dostarczane do ogniw nigdy nie jest w 100% czyste. Podczas gdy wodór jest przetwarzany przez ogniwo, występujące w nim zanieczyszczenia osadzają się na membranie. Powoduje to spadek wydajności ogniwa. Żeby usunąć te zanieczyszczenia układ sterujący uruchamia w regularnych odstępach czasu procedurę oczyszczania i aktywacji. Oczyszczanie wykonuje się poprzez „przedmuchiwanie” ogniw. Moduł ogniwa posiada dwa króćce po stronie „wodorowej”. Jednym z nich, poprzez zawór odcinający dostarczany jest wodór do ogniw. Do drugiego króćca dołączony jest drugi zawór odcinający. Jest on normalnie zamknięty, ale co pewien czas układ sterujący na chwilę go aktywuje. Powoduje to, pod wpływem ciśnienia, swobodną ucieczkę wodoru z ogniwa, a przy okazji „wygarnięcie” zanieczyszczeń. Charakterystyczny odgłos regularnych „syknień” jest właśnie efektem działania tego mechanizmu.

# TEST PODSUMOWUJĄCY

Pytanie 1 z 5

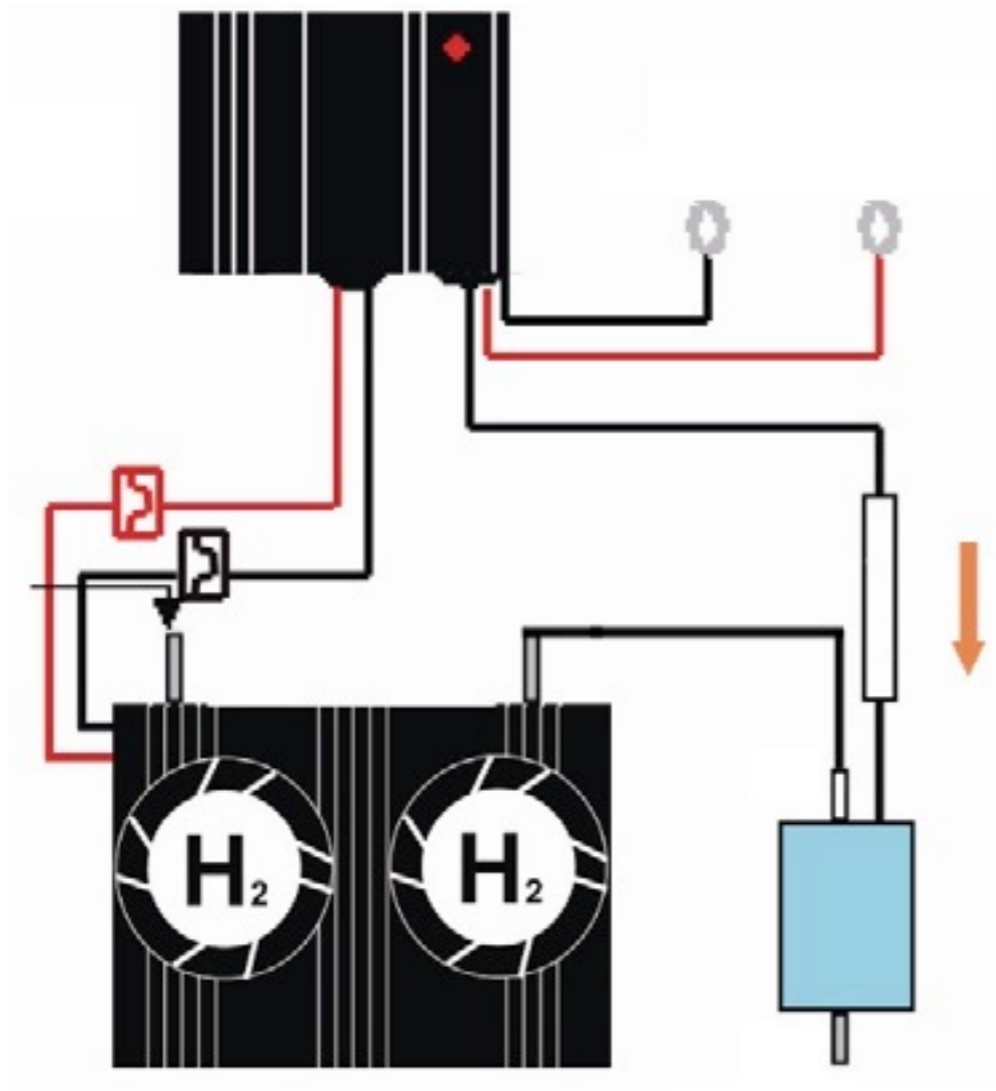
Które z poniższych funkcji realizuje układ sterujący sytemu zasilania hybrydowego?

- A.** Kontroluje ciśnienie wodoru zasilającego stos paliwowy.
- B.** Kontroluje temperaturę stosu paliwowego.
- C.** Steruje systemem chłodzenia stosu paliwowego.
- D.** Usuwa zanieczyszczenia z wnętrza ogniw paliwowych.
- E.** Odłącza obciążenie od systemu w przypadku nadmiernego rozładowania akumulatora.



Sprawdź





5

## UKŁAD POŁĄCZEŃ SYSTEMU OGNIWA PALIWOWEGO

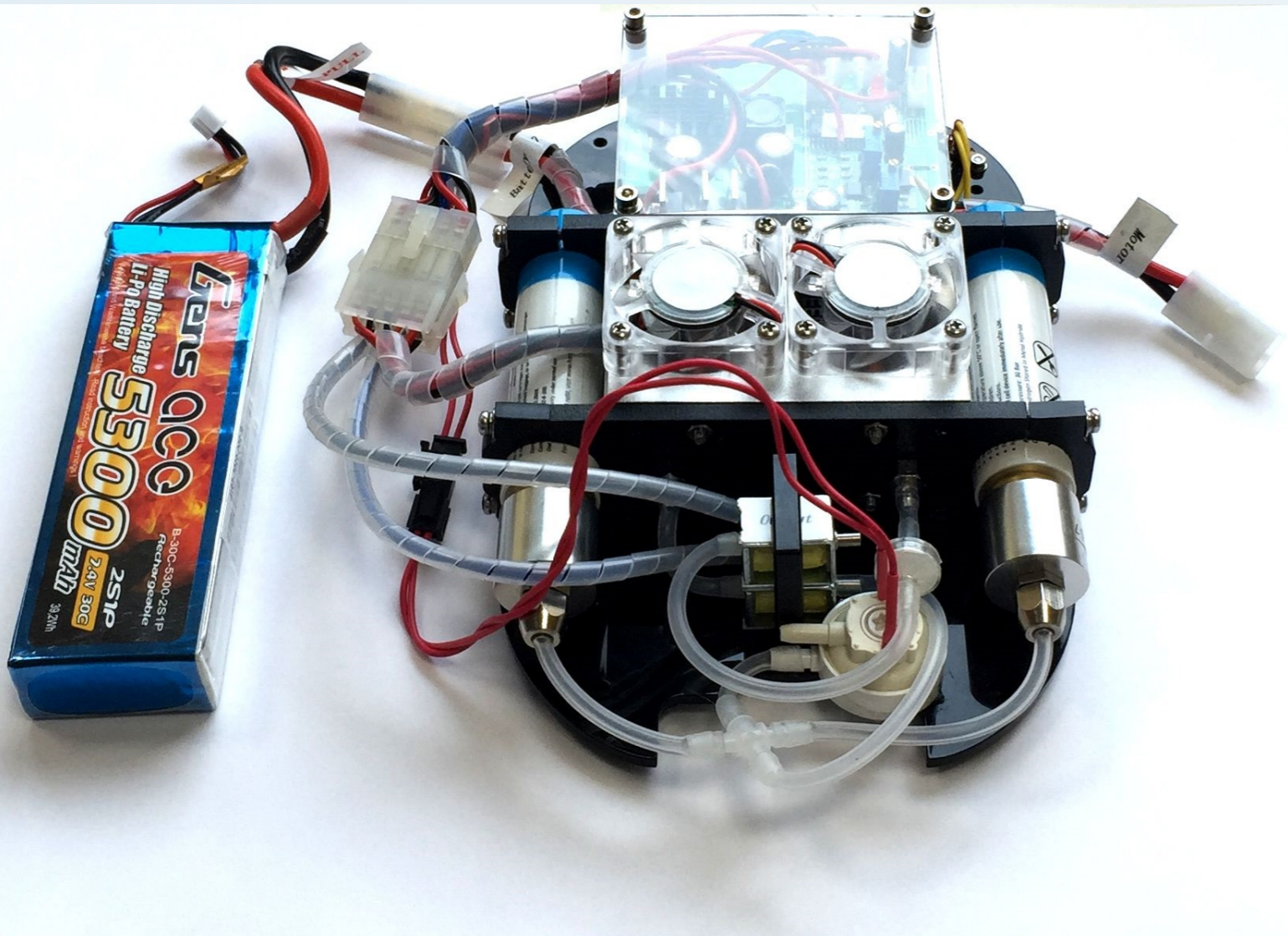
Rozdział ten wyjaśnia, jakie typy instalacji występują w systemie, jakie połączenia występują w tych instalacjach oraz jakie pełnią one funkcje.

# RODZAJE INSTALACJI

System zasilania hybrydowego to złożony układ energetyczny, na który składa się grupa elementów w odpowiedni sposób ze sobą połączonych. Z tego względu, że układ z jednej strony zasilany jest wodorem, z drugiej zaś dostarcza energię elektryczną, to da się w nim wyróżnić dwa typy instalacji: gazowe i elektryczne.

Instalacje gazowe to system zasilania ogniw paliwowych wodorem oraz tlenem. W ramach instalacji elektrycznych przede wszystkim przekazywana jest energia pomiędzy stosem paliwowym, akumulatorem i odbiornikiem. Ale występuje tu również szereg pomocniczych obwodów, takich jak sterowanie elektrozaworów, pomiar ciśnienia wodoru, pomiar temperatury ogniw i zasilanie systemu chłodzenia stosu paliwowego.

Właściwe połączenie wszystkich tych obwodów jest niezbędne w celu uruchomienia i prawidłowego działania całego systemu zasilania hybrydowego z ogniwem paliwowym.

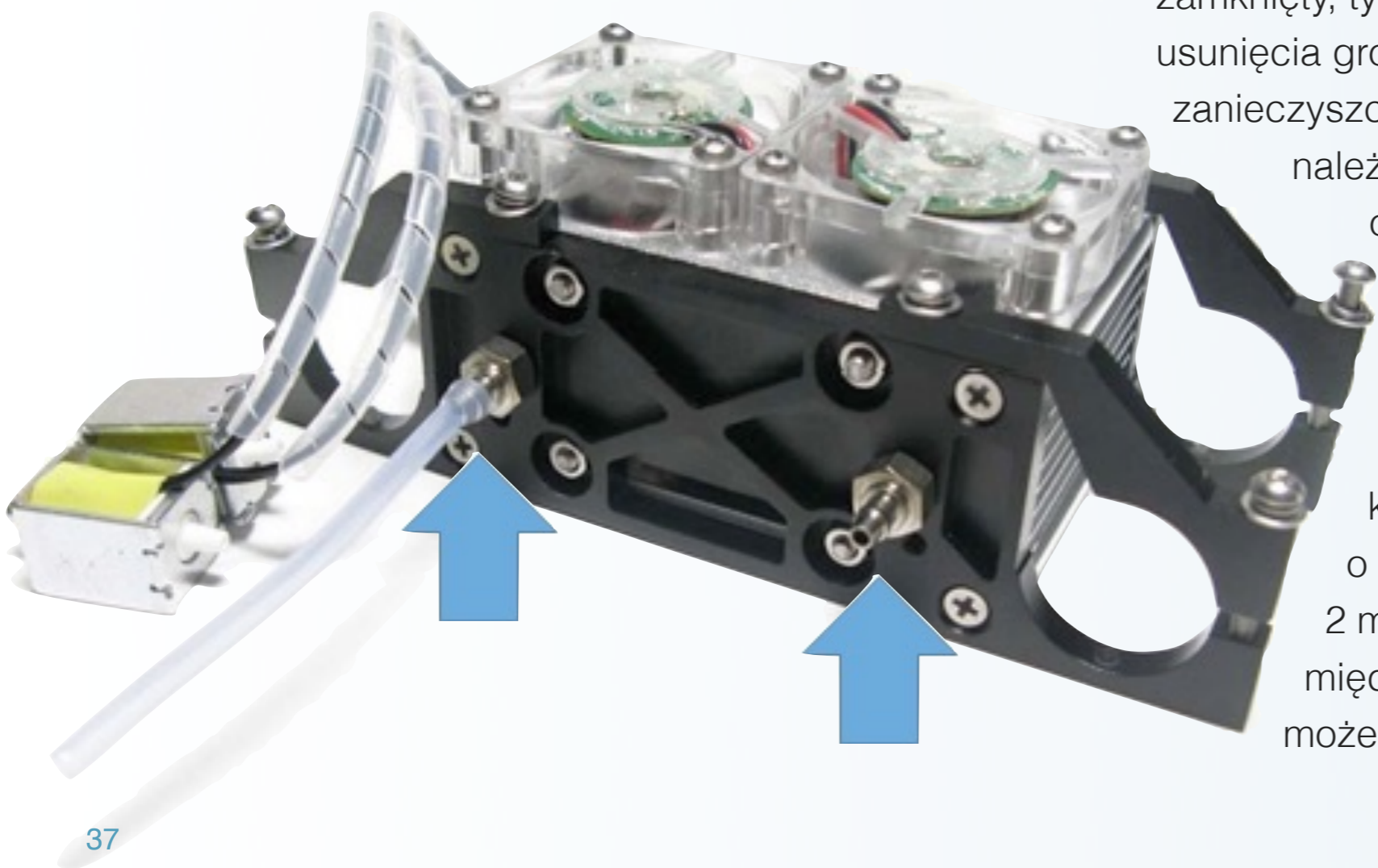


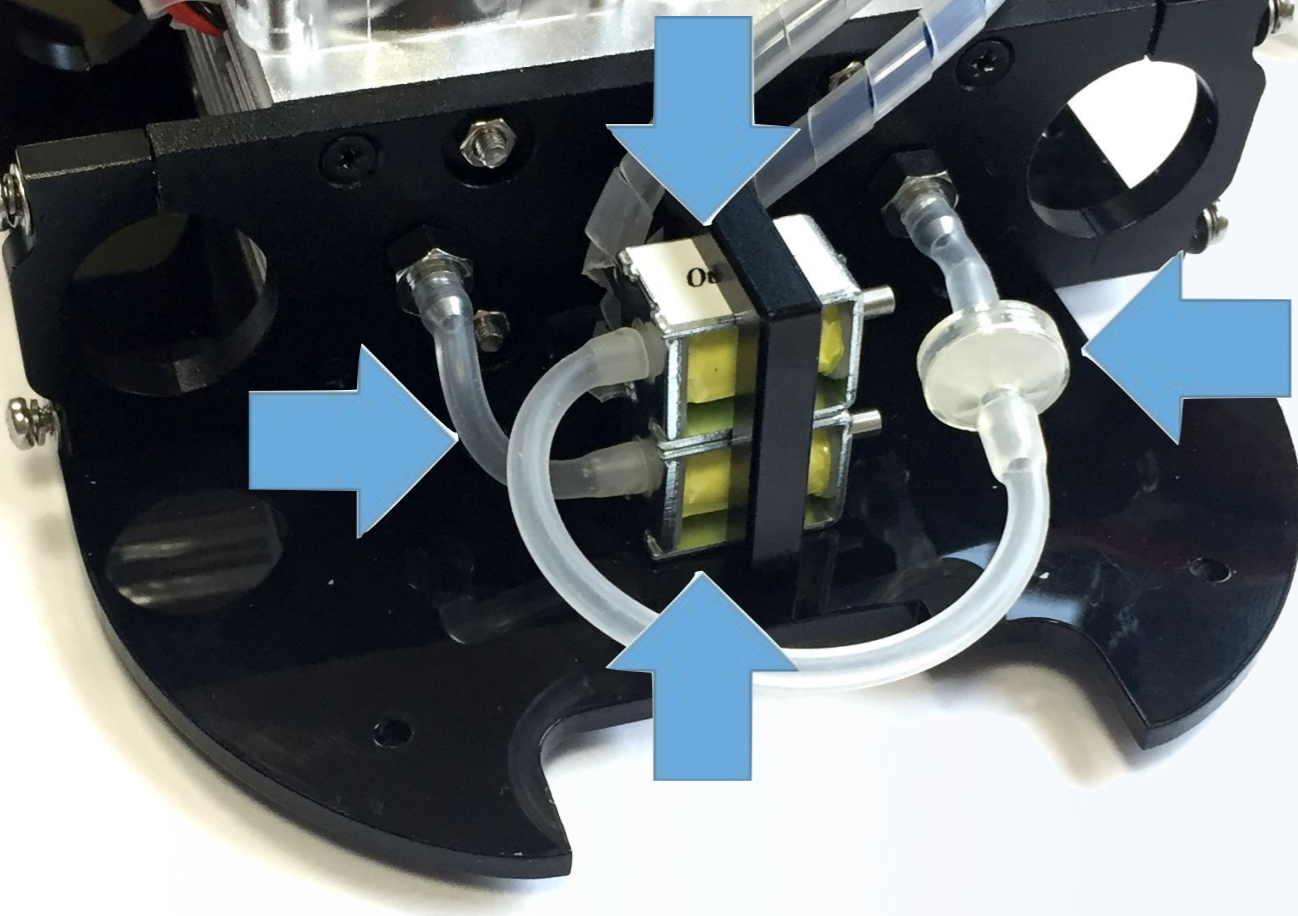
## INSTALACJA GAZOWA

W wodorowych ogniwach paliwowych zachodzi reakcja łączenia wodoru i tlenu. W związku z tym należy do nich dostarczać oba te gazy i w systemie występują dwa obwody gazowe - tlenowy i wodorowy. W przypadku opisywanego tu systemu ogniw paliwowych (tak jak w większości rozwiązań) tlen absorbowany jest bezpośrednio z powietrza. Oznacza to, że obwód tlenowy jest obwodem „otwartym”, czyli katoda jest odsłonięta i samoczynnie dostaje

się do niej powietrze z otoczenia. Nie trzeba wykonywać w tym celu żadnych połączeń.

Moduł ogniwa jest wyposażony w dwa króćce, ale to nie oznacza, że jeden jest „do tlenu”, a drugi „do wodoru”. Oba króćce są elementami obwodu zasilania ogniwa wodorem. Jeden z nich to króciec wlotowy, przez który, w trakcie pracy, do ogniw dostarczane jest paliwo. Drugi - króciec wylotowy - normalnie jest zamknięty, tylko co pewien czas otwiera się go w celu usunięcia gromadzących się w ogniwach zanieczyszczeń. Oznacza to, że do obu króćców należy dołączyć odpowiednie elementy obwodu wodorowego: zbiorniki z wodorem, elektrozawory, filtr oraz czujnik ciśnienia. Do wykonania połączeń wykorzystywane są silikonowe wężyki. W celu poprawnej pracy systemu konieczne jest używanie wężyków o średnicy wewnętrznej nie mniejszej niż 2 mm, a całkowita długość połączenia między zbiornikami wodoru i ogniwem nie może przekroczyć 30 cm



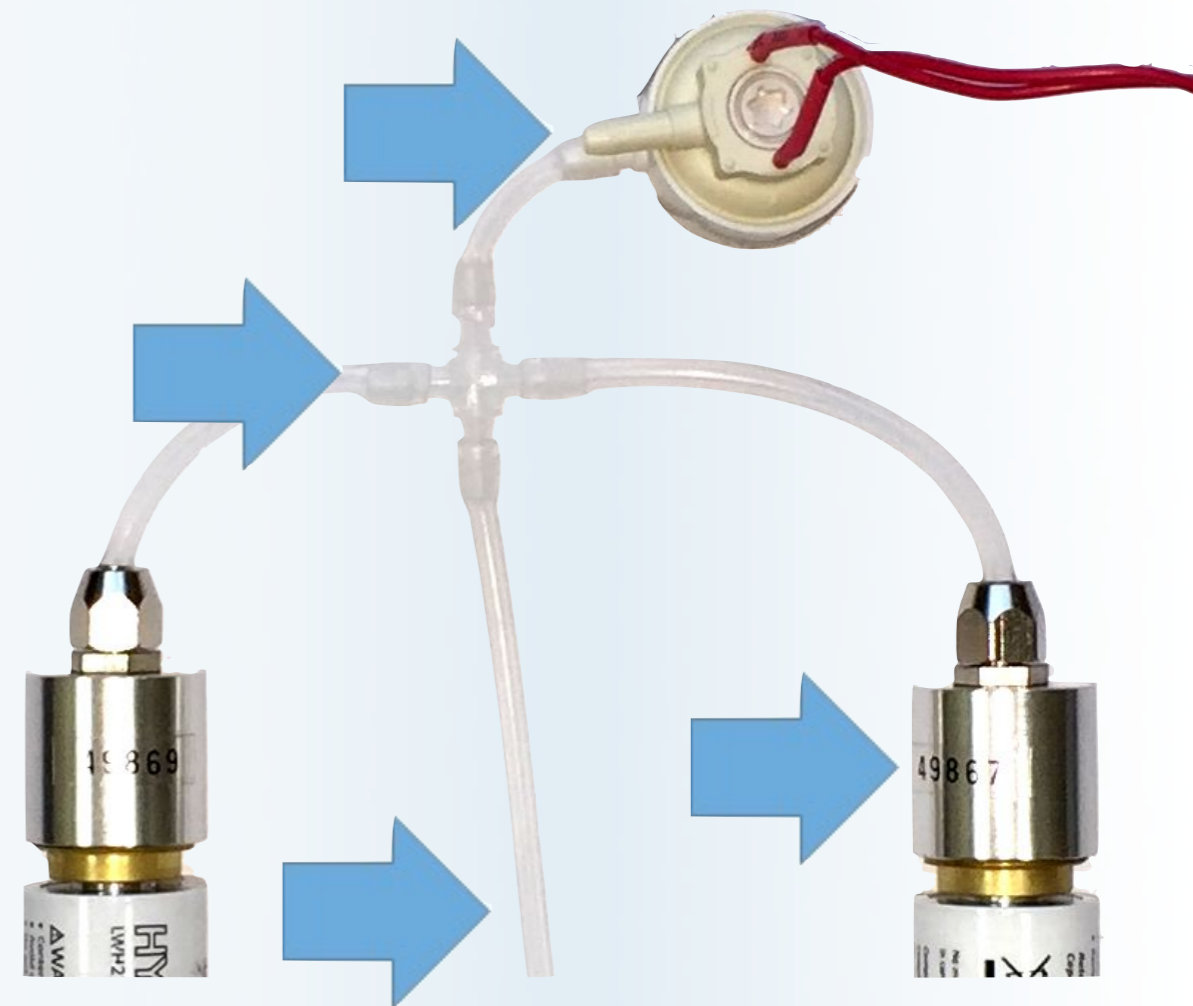


Do obu króćców powinny być podłączone elektrozwory: do króćca wlotowego - zawór oznaczony „Input”, a do króćca wylotowego - „Output”. W tym drugim przypadku po drodze jest jeszcze umieszczony filtr.

Należy zwrócić uwagę, że zawory z jednej strony mają króćce metalowe, a z drugiej plastikowe. Moduł ogniwa łączy się z króćcami plastikowymi.

Również filtr nie jest symetryczny. Z ogniwem połączony jest króciec o mniejszej średnicy.

Do zaworu „Input” dostarczany jest wodór ze zbiorników. Żeby możliwe było podłączenie dwóch

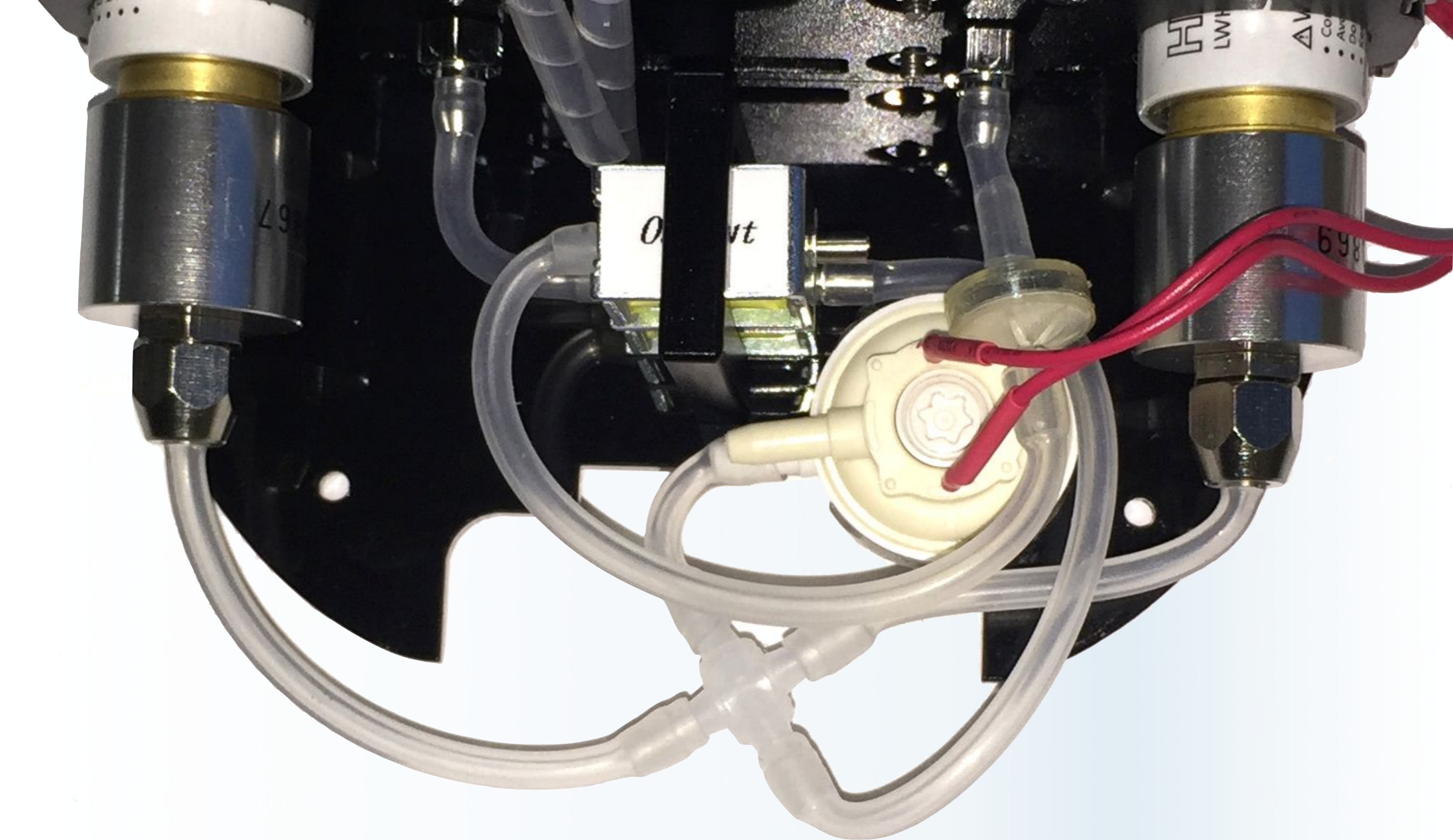


zbiorników z wodorem, oraz dodatkowo czujnika ciśnienia, zastosowany jest czwórnik.

Sposób podłączenia wężyków do głowic zbiorników z wodorem pokazuje [Obrazek 3.1](#).

Czwarty, „wolny” wężyk na powyższym rysunku podłączany jest do metalowego króćca zaworu „Input”.

Dokręcenie „do oporu” głowic na zbiornikach z wodorem powoduje otwarcie zaworów w tych zbiornikach - należy to zrobić dopiero po podłączeniu czwartego wężyka do elektrozworu.



Gotowy układ połączeń gazowych powinien wyglądać w sposób pokazany na powyższej ilustracji. Po dokręceniu głowic do zbiorników z wodorem wężyki wypełnią się gazem. Jednak dla tego, że przy braku zasilania elektrozawory są zamknięte, wodór nie będzie się ulatniał z instalacji (choćby metalowy króciec zaworu „Output” nie jest nigdzie podłączony).



# INSTALACJA ELEKTRYCZNA

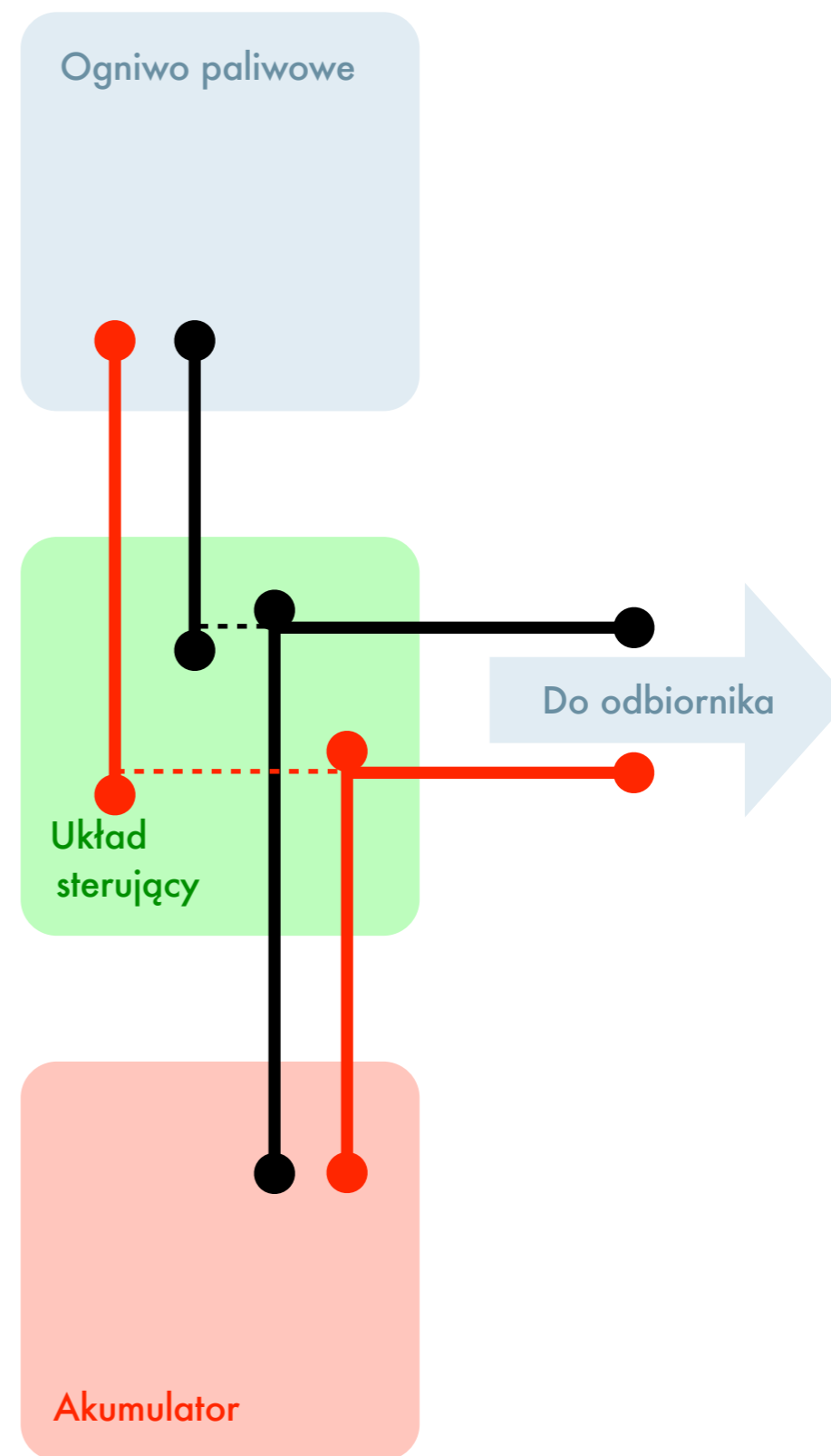
Centralnym elementem obwodów elektrycznych systemu zasilania hybrydowego jest układ sterujący. Wszystkie pozostałe elementy systemu łączą się z tym układem.

Najważniejszy jest tutaj obwód przez który stos paliwowy dostarcza wytworzoną energię elektryczną, łączący go z akumulatorem i odbiornikiem.

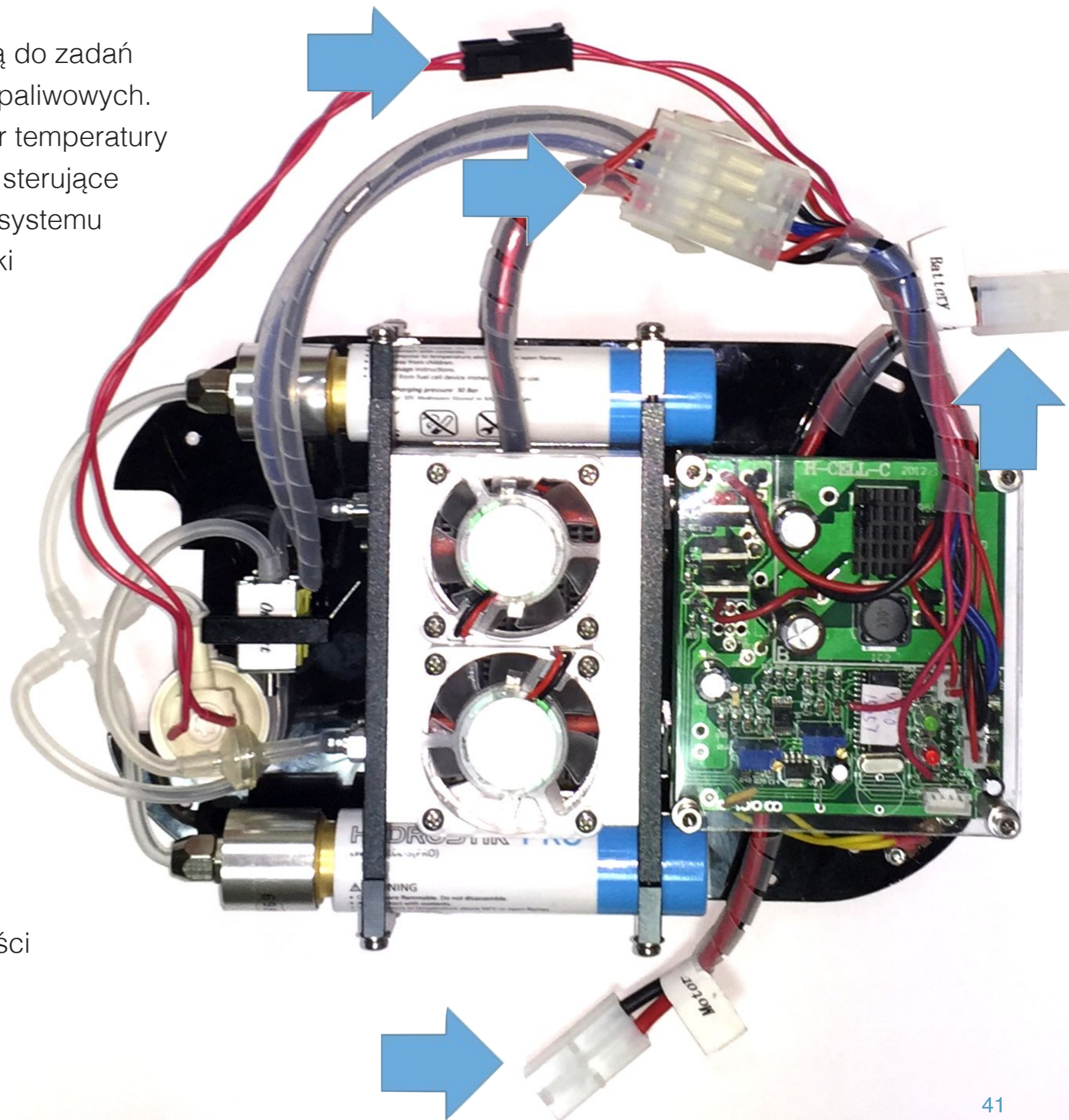
Energia otrzymywana z modułu ogniwa paliwowego kierowana jest przede wszystkim do odbiornika. Jeśli jednak odbiornik ma niższe zapotrzebowanie niż wydajność ogniw, pozostała energia wykorzystywana jest, w miarę potrzeby, do ładowania akumulatora. W sytuacji, gdy obciążenie wymaga większej ilości energii, niż jest w stanie dostarczyć stos paliwowy, potrzebna energia pobierana jest z akumulatora.

Akumulator jest tutaj rodzajem bufora, zapewniającego obsługę chwilowych „skoków” pobieranej przez odbiornik mocy. Natomiast stos paliwowy jest źródłem stałego dopływu energii.

Dodatkowo akumulator wykorzystywany jest do zasilania samego układu sterującego.



Pozostałe obwody wykorzystywane są do zadań związanych z obsługą modułu ogniwo paliwowych. Pełnią one funkcje pomiarowe (pomiar temperatury ogniwo, pomiar ciśnienia wodoru) oraz sterujące (otwieranie elektrozaworów, zasilanie systemu chłodzenia ogniwa). Wszystkie czujniki i elementy wykonawcze także są podłączone do układu sterującego. Układ sterujący weryfikuje wyniki pomiarów i w odpowiedni sposób kieruje pracą całego systemu. Przykładowo, jeśli ciśnienie wodoru spadnie poniżej wymaganego poziomu układ sterujący wyłączy stos paliwowy, zamykając zawór „Input” oraz odłączając ogniwo paliwowe od obwodu odbiornika. Wszystkie czujniki i elementy wykonawcze podłączone są do układu sterującego przez zestaw odpowiednich złączy. Dzięki zróżnicowaniu złączy nie ma możliwości wykonania błędnych połączeń.



# TEST PODSUMOWUJĄCY

Pytanie 1 z 5

Jakie typy instalacji występują w systemie zasilania hybrydowego z ogniwem paliwowym?

---

- A.** Instalacja wodna
- B.** Instalacja gazowa
- C.** Instalacja elektryczna



Sprawdź





6

## PRACA SYSTEMU OGNIWA PALIWOWEGO

Rozdział ten pokazuje, w jaki sposób poprawnie uruchomić system zasilania hybrydowego i jak kontrolować stan jego pracy.

# PRZYGOTOWANIE DO URUCHOMIENIA

System zasilania hybrydowego wykorzystuje do zasilania odbiorników dwa rodzaje energii źródłowej: energię elektryczną, zgromadzoną w akumulatorze oraz energię chemiczną paliwa dostarczanego do stosu paliwowego. W celu uruchomienia i prawidłowej pracy systemu trzeba mu zapewnić pełen dostęp do obu tych rodzajów energii.

Po pierwsze do systemu musi być podłączony akumulator. Jest on

wykorzystywany nie tylko jako źródło energii dla odbiorników, ale także zasila układ sterujący systemu ogniwa paliwowego. Bez podania napięcia z akumulatora systemu nie da się w ogóle uruchomić.

Najlepiej, żeby akumulator był w pełni naładowany.

W przeciwnym przypadku, po uruchomieniu systemu, energia wytwarzana przez stos paliwowy będzie dodatkowo wykorzystywana do ładowania akumulatora, niepotrzebnie zwiększając zużycie wodoru.





Po drugie, do systemu należy dołączyć zbiorniki z wodorem. Dostęp do tego źródła energii nie jest sprawą tak krytyczną jak w przypadku akumulatora – przy braku wodoru system da się uruchomić. Jednak w tym przypadku oczywiście nie będzie pracować stos paliwowy, więc będziemy mieli do czynienia tylko z zasilaniem elektrycznym, a nie hybrydowym.

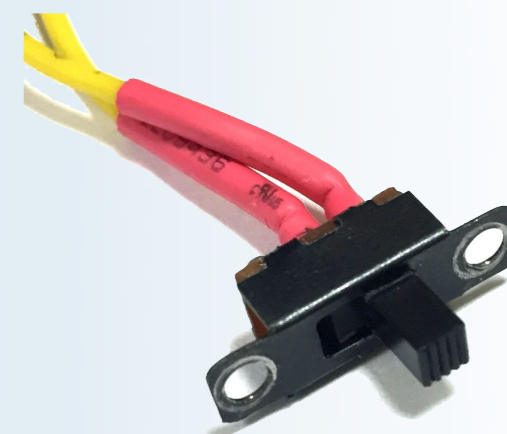
Oczywiście najlepiej żeby zbiorniki z wodorem były w pełni naładowane, ale krytyczne jest zapewnienie odpowiedniego ciśnienia wodoru – minimum to 0,45 bara. Użyte w systemie zbiorniki HYDROSTIK

PRO w połączeniu z głowicami redukującymi są w stanie dostarczyć wodór pod ciśnieniem o odpowiedniej wartości prawie do całkowitego opróżnienia zbiorników. Stąd poziom naładowania zbiorników decyduje przede wszystkim o czasie pracy stosu paliwowego.

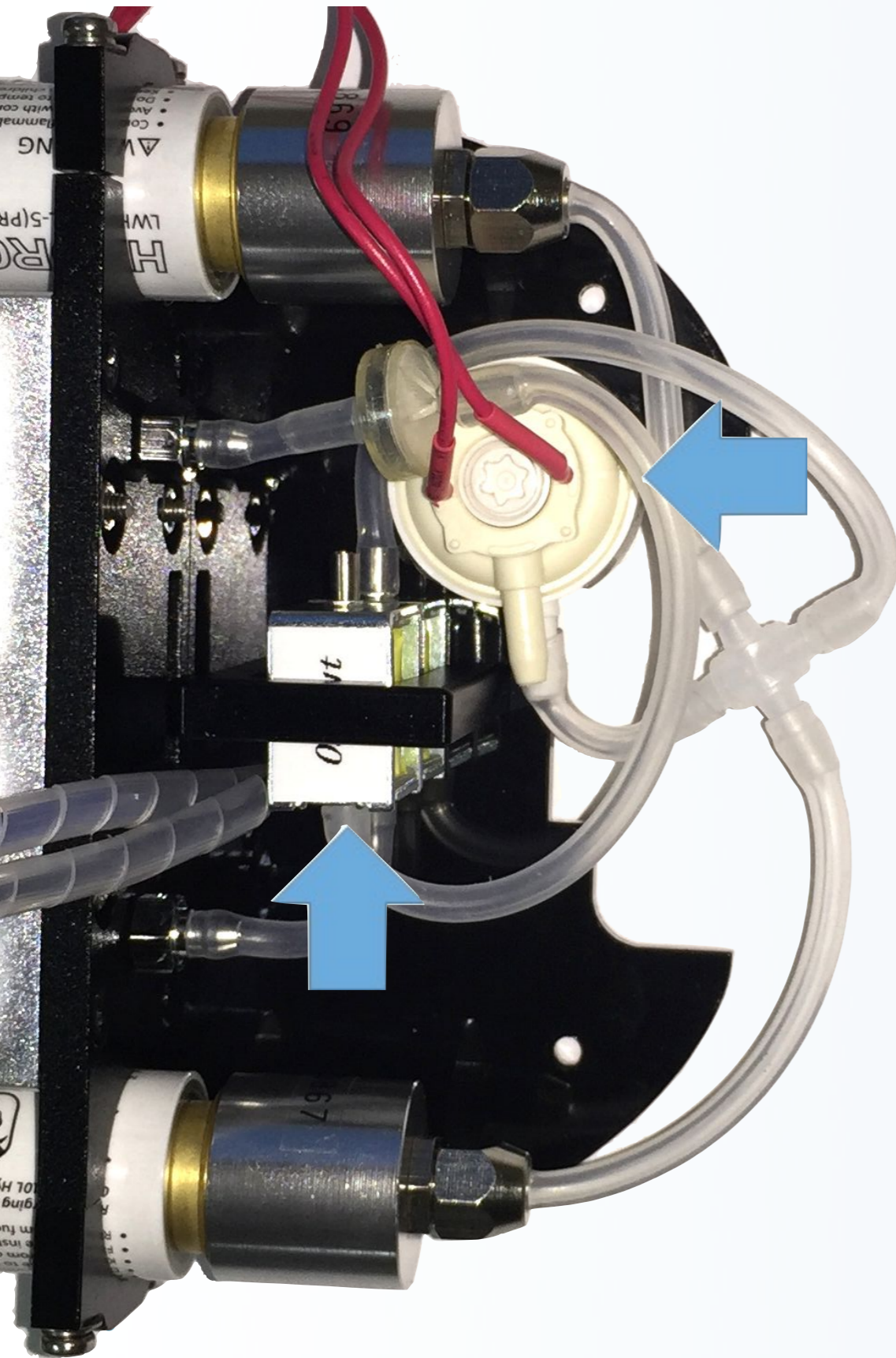
Zbiorniki z wodorem najlepiej „wkręcić” w głowice, a tym samym je otworzyć, dopiero przed samym uruchomieniem systemu zasilania hybrydowego. Wodór jest gazem o najmniejszych możliwych cząsteczkach, dlatego jest go trudno utrzymać w zamknięciu. Pozostawienie otwartych zbiorników może spowodować, że w ciągu kilku dni zbiorniki samoczynnie się opróżnią.

Po podłączeniu akumulatora oraz zbiorników z wodorem można uruchomić cały system zasilania hybrydowego. Robi się to przy pomocy przełącznika dołączonego do układu sterującego.

Ogniwo paliwowe uzyskuje pełną moc w ciągu 30 sekund od momentu uruchomienia. Dlatego dopiero po tym czasie można do systemu dołączyć odbiorniki energii.



## PRACA SYSTEMU



Pierwszą czynnością wykonywaną przez układ sterujący po włączeniu systemu jest otwarcie obu elektrozaworów. Ma to na celu wypełnienie instalacji gazowej oraz stosu paliwowego wodorem i usunięcie znajdującego się tam powietrza. Towarzyszy temu syk ulatniającego się gazu. Po krótkiej chwili zawór wylotowy zostaje zamknięty. Układ sterujący weryfikuje poziom ciśnienia wodoru i jeśli ma on wystarczającą wartość następuje uruchomienie ogniwa. Ogniwo zostaje dołączone do obwodu zasilania odbiorników oraz włączony zostaje system chłodzenia stosu paliwowego.

Informacja o stanie pracy ogniwa paliwowego przekazywana jest poprzez stan pary diod LED znajdujących się w układzie sterującym. Jedna z diod ma kolor czerwony, druga – zielony. Jeżeli system działa prawidłowo zielona dioda świeci się w sposób ciągły, natomiast czerwona jest wyłączona.

W czasie normalnej pracy podstawowym źródłem energii dla odbiorników jest stos paliwowy. O wielkości energii wytwarzanej przez ogniwo decyduje poziom obciążenia, czyli natężenie prądu pobieranego przez odbiorniki.

Ogniwa przeznaczone są do pracy z prądem o maksymalnym natężeniu 3,6 A. Aktualna wartość energii pobieranej z ogniwa decyduje o ilości pobieranego i zużywanego wodoru.

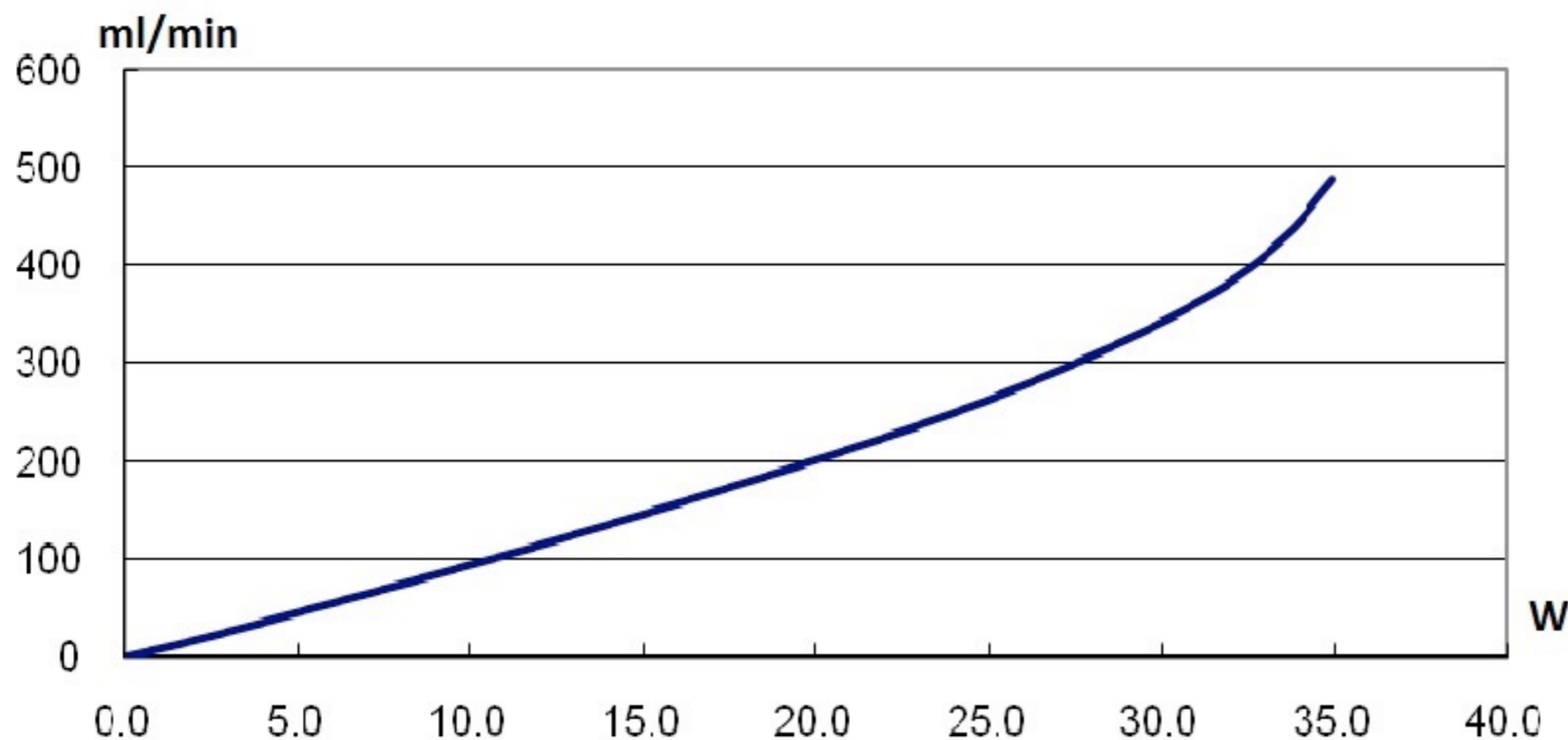
Jeśli odbiorniki będą wymagały zasilania prądem o wyższym natężeniu, dodatkowa energia będzie pobierana z akumulatora.

Natomiast jeśli energia potrzebna odbiornikom będzie niższa od wydajności stosu paliwowego, a akumulator nie będzie w pełni naładowany, nadmiar dostępnej z ogniw energii zostanie użyty do ładowania akumulatora.

Układ sterujący weryfikuje poziom napięcia akumulatora, a tym samym poziom jego naładowania. Jeśli napięcie to uzyska maksymalną wartość dopuszczalną dla zastosowanego akumulatora, czyli 8,4 V, proces

ładowania jest przerywany. Od tego momentu stos paliwowy wytwarza tylko tyle energii, ile potrzebują odbiorniki.

W czasie normalnej pracy układ sterujący co pewien czas otwiera na chwilę zawór wylotowy („Output”) w celu usunięcia z ogniwa zanieczyszczeń. Słyszalne jest to w postaci krótkich „Syknień”.



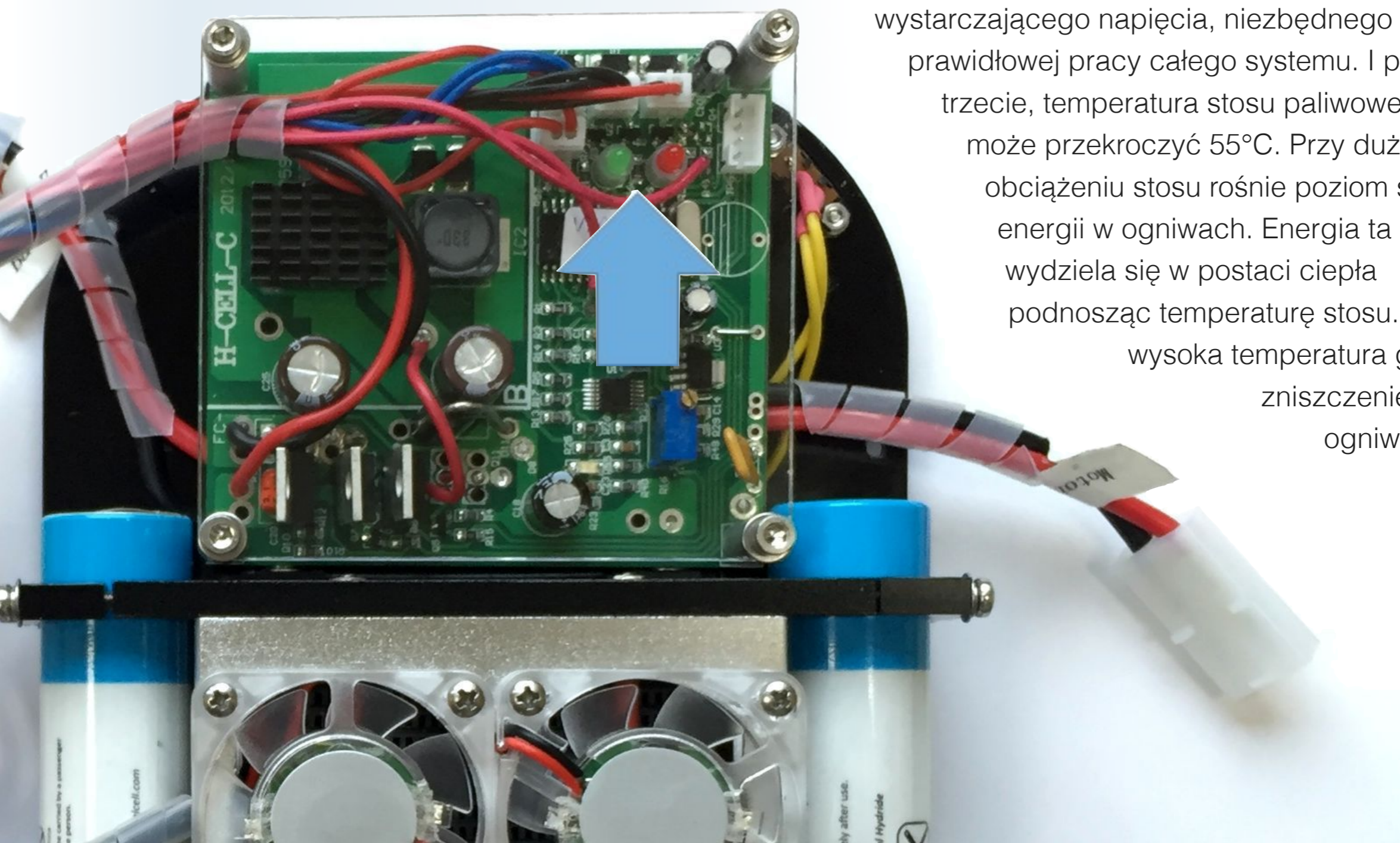
Zależność zużycia wodoru od poziomu obciążenia



## ZAKŁÓCENIA W PRACY SYSTEMU

Żeby system pracował poprawnie musi być spełnionych kilka warunków. Po pierwsze napięcie akumulatora nie może być niższe niż 6 V. Rozładowanie akumulatora

poniżej tego poziomu grozi jego zniszczeniem. Po drugie, ciśnienie wodoru nie może być za niskie. Jeśli wartość ciśnienia spadnie poniżej 0,45 bara ogniwa nie są w stanie wytworzyć wystarczającego napięcia, niezbędnego do prawidłowej pracy całego systemu. I po trzecie, temperatura stosu paliwowego nie może przekroczyć 55°C. Przy dużym obciążeniu stosu rośnie poziom strat energii w ogniwach. Energia ta wydziela się w postaci ciepła podnosząc temperaturę stosu. Zbyt wysoka temperatura grozi zniszczeniem ogniw.



Wszystkie te parametry są weryfikowane przez układ sterujący. Przekroczenie dopuszczalnych wartości, poza uruchomieniem działań prewencyjnych, jest sygnalizowane przy użyciu wspomnianej wcześniej pary diod LED. Poniższa tabela zawiera zestawienie sposobu sygnalizacji poszczególnych sytuacji awaryjnych.

<b>Uruchamianie systemu</b>	
<b>Wskaźniki LED modułu sterującego</b>	<b>Status</b>
Czerwona LED miga & Zielona LED nie świeci	Napięcie baterii litowej < 6 V
Czerwona LED świeci & Zielona LED nie świeci	Napięcie ogniwa paliwowego < 8,4 V
Czerwona LED miga & Zielona LED świeci	Napięcie baterii litowej < 7 V
Czerwona LED nie świeci & Zielona LED świeci	Poprawny proces uruchamiania
<b>Praca systemu</b>	
<b>Wskaźniki LED modułu sterującego</b>	<b>Status</b>
Czerwona LED świeci & Zielona LED nie świeci	Napięcie ogniwa paliwowego $\leq 6,7$ V
Czerwona LED miga & Zielona LED miga	Napięcie baterii litowej $\leq 6$ V
Czerwona LED świeci & Zielona LED miga	Temperatura ogniwa paliwowego $\geq 65^{\circ}\text{C}$

# TEST PODSUMOWUJĄCY

Pytanie 1 z 5

Jak zachowa się system zasilania hybrydowego z ogniwem paliwowym w momencie uruchamiania jeżeli podłączony do niego akumulator nie będzie w pełni naładowany?

- A.** System nie da się uruchomić
- B.** System wystartuje, ale akumulator nie zostanie dołączony do obwodu zasilania odbiorników.
- C.** System wystartuje, a po uruchomieniu stosu paliwowego rozpocznie się ładowanie akumulatora.



Sprawdź





7

## ROZWIĄZYWANIE PROBLEMÓW

Rozdział ten wskazuje jakiego typu problemy mogą pojawić się w trakcie pracy z systemem zasilania hybrydowego i jak je rozwiązywać.

## ZBYT NISKIE CIŚNIENIE WODORU

Podstawowe informacje o stanie systemu zasilania hybrydowego dostarcza para diod LED znajdujących się w układzie sterującym. Znaczenie sygnałów dostarczanych przez te diody przedstawione zostało w tabeli w poprzednim rozdziale.

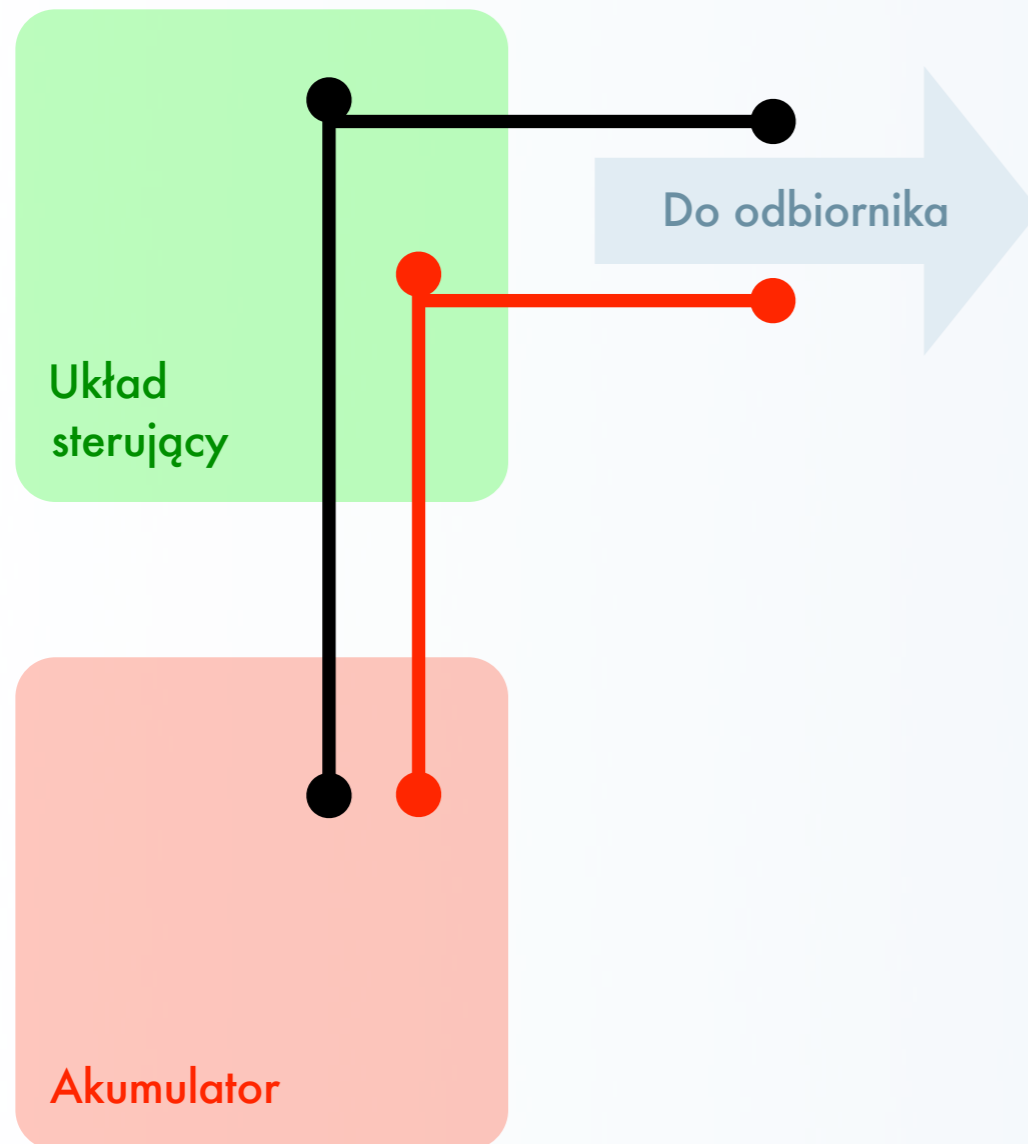
Jeśli wszystko jest w porządku świeci się światłem ciągłym dioda zielona, natomiast dioda czerwona jest wyłączona.

Najbardziej typowe zakłócenie występująca w trakcie pracy ogniwa sygnalizowane jest miganiem zielonej diody. Oznacza to brak wodoru, a dokładniej zbyt niskie jego ciśnienie. Praca ogniwa jest w tym momencie przerywana, ale system działa dalej. W większości przypadków oznacza to, że skończyło się paliwo i trzeba wymienić zbiorniki z wodorem na pełne.

Jeśli jednak zbiorniki są pełne, a problem jest nadal sygnalizowany konieczne jest sprawdzenie instalacji gazowej. Silikonowe wężyki używane w tej instalacji mają tendencję do „zaginania się”, co powoduje zamknięcie przepływu wodoru. W ten sposób może zostać odcięte któreś z ogniw lub sam czujnik ciśnienia. W każdym z tych przypadków czujnik wykryje spadek ciśnienia i uruchomi alarm. Może dojść także do zaciśnięcia wężyka łączącego czwórnik z ze stosem paliwowym. W tym przypadku czujnik ciśnienia nie wykaże jego spadku, jednak nastąpi spadek napięcia ogniw paliwowych – zielona dioda zgaśnie a zaświeci się czerwona.



# ZBYT NISKIE NAPIĘCIE AKUMULATORA



Inną typową sytuacją jest rozładowanie akumulatora. Stan ten sygnalizowany jest miganiem obu diod, ale układ sterujący nie jest w stanie odłączyć obciążenia od akumulatora. Dlatego w takim wypadku konieczna jest interwencja obsługi.

# NIEWŁAŚCIWA TEMPERATURA

W czasie pracy, zwłaszcza przy dużym obciążeniu ogniwo się nagrzewa. Jest to spowodowane ograniczoną sprawnością ogniwa, w którym część energii chemicznej paliwa zamienia się w ciepło. System ogniwa przeznaczony jest do pracy w środowisku, którego temperatura nie przekracza  $50^{\circ}\text{C}$ . Jest to próg znacznie wyższy od typowej temperatury otoczenia. Jeśli jednak system jest umieszczony wewnątrz obudowy zasilanego urządzenia, a obudowa ta nie jest odpowiednio „przewiewna” może łatwo dojść do przekroczenia tej wartości granicznej temperatury. Stan ten sygnalizowany jest świeceniem czerwonej diody i miganiem zielonej. Wyłączenie systemu pozwoli obniżyć temperaturę, lecz jeśli układ ma pracować stale w danej konfiguracji, to konieczna może być zmiana konstrukcji urządzenia lub lokalizacji modułu ogniwa tak, aby zapewnić lepszą wentylację. Dalsza praca ogniwa przy zbyt wysokiej temperaturze może doprowadzić do jego zniszczenia.

Należy także zwrócić uwagę na działanie niskich temperatur. Niedopuszczalne jest umieszczenie systemu w środowisku o ujemnej temperaturze. Zamarznięcie

wody, którą nasączone są ogniwa doprowadzi do ich całkowitego zniszczenia.



# WYSCHNIĘCIE MEMBRANY PEM

Oddzielną kwestią jest spawa tej właśnie wody. W ogniwie musi być pewna ilość wilgoci. W czasie normalnej pracy wilgoć ta powstaje w wyniku reakcji wodoru z tlenem. Nasącza ona membranę PEM, pełniącą rolę elektrolitu. Niedopuszczalna jest sytuacja całkowitego wyschnięcia membrany – grozi to jej zniszczeniem, albo przynajmniej pogorszeniem jej właściwości, a tym samym wydajności ogniwa.

Problem z wysychaniem ogniwa pojawia się w sytuacji dłuższych przerw w użytkowaniu systemu. W takim przypadku zaleca się przechowywanie ogniw w hermetycznie zamkniętym pojemniku. Wysychania można przede wszystkim uniknąć korzystając z ogniw. System zasilania hybrydowego należy przynajmniej raz w miesiącu uruchamiać i pozwolić mu pracować z pełnym obciążeniem chociaż przez 15 minut.

Jeśli jednak dojdzie do nadmiernego wyschnięcia ogniwa istnieje pewna szansa jego uratowania. Podstawowym objawem takiej sytuacji jest spadek napięcia ogniwa oraz jego wydajności.

W celu przeprowadzenia testu wydajności stosu paliwowego najlepiej skorzystać z tak zwanego obciążenia elektronicznego. Jest to urządzenie które potrafi pobierać ze źródła zasilania ściśle określoną wartość mocy lub natężenia prądu elektrycznego. Dzięki temu można w prosty sposób zweryfikować czy stos paliwowy jest w stanie dostarczać moc na poziomie zgodnym z jego danymi znamionowymi.

Jeśli testy wypadną negatywnie oznacza to, że ogniwa wymagają regeneracji. Realizuje się to przez wypełnienie ogniw na czas 2-3 minut wodą demineralizowaną.

Uwaga! Operację taką należy wykonywać wyłącznie wtedy, wydajność ogniw spadnie w bardzo znacząco, na przykład do 50% wartości znamionowej. Normalnie nie wolno wprowadzać wody do ogniw, a już całkowicie niedopuszczalne jest uruchamianie i obciążanie ogniw w których znajduje się woda.





Wodę należy wprowadzić do systemu ogniw jednym z króćców przy pomocy strzykawki. Wprowadza się jej tyle, aby wypłynęła drugim króćcem. Napętnione ogniwa pozostawia się na około 2 minut. Następnie

należy wodę całkowicie usunąć z ogniw. Najlepiej zrobić to „przedmuchując” ogniwa wodorem sprężonym w zbiorniku. Wystarczy podłączyć wężyk głowicy do jednego z króćców modułu ogniw, a następnie wkręcić na chwilę w głowicę zbiornik z wodorem. Strumień przepływającego przez ogniwa gazu skutecznie usunie z nich wodę oraz inne zanieczyszczenia.

Następnie należy uruchomić system zasilania hybrydowego i obciążyć go mocą 5-6 W. Jeśli napięcie na wyjściu stosu paliwowego będzie poprawne należy zwiększyć obciążenie do 30 W. Jeśli proces regeneracji przebiegł poprawnie ogniwo powinno pracować z pełnym obciążeniem przez 30 minut.

Jeśli jednak przy obciążeniu mocą 5-6 W napięcie stosu ogniw było za niskie, można jeszcze raz powtórzyć procedurę zalewania ogniwa wodą destylowaną, a następnie ponownie wykonać testy wydajnościowe. W większości przypadków procedura ta przynosi pozytywne rezultaty. Jeśli jedna za drugim razem parametry stosu paliwowego będą niewłaściwe oznacza to, że ogniwa uległy trwałemu uszkodzeniu i należy je wymienić na nowe.

# TEST PODSUMOWUJĄCY

Pytanie 1 z 5

W jaki sposób system sterujący sygnalizuje zbyt niskie ciśnienie wodoru?

---

- A.** Powtarzającym się regularnie sygnałem akustycznym.
- B.** Miganiem diod na module ogniw paliwowych.
- C.** Miganiem czerwonej diody w układzie sterującym.
- D.** Miganiem zielonej diody w układzie sterującym.



Sprawdź

