OPRACOWALI:
MGR INŻ. JAKUB DŁUGOSZ
MGR INŻ. MARCIN MICHALSKI

OGNIWA PALIWOWE I PRODUKCJA WODORU
LABORATORIUM

I- ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMU OGNIW PALIWOWYCH TYPU PEM NA PRZYKŁADZIE SYSTEMU NEXA® 1,2 kW

II- POMIAR PARAMETRÓW PRACY SYSTEMU NEXA® 1,2 kW, POMIAR SPRAWNOŚCI STOSU OGNIW PALIWOWYCH WCHODZĄCYCH W SKŁAD SYSTEMU NEXA® 1,2 kW I POMIAR SPRAWNOŚCI CAŁEGO SYSTEMU NEXA® 1,2 kW PRZY ZASTOSOWANIU ODBIORNIKÓW PRĄDU O RÓŻNYCH MOCACH ELEKTRYCZNYCH

III- SPRAWNOŚĆ OGNIWA WODOROWEGO W ZALĘŻNOŚCI OD PARAMETRÓW WLOTOWYCH – CIŚNIENIA WODORU

WSTĘP TEORETYCZNY:

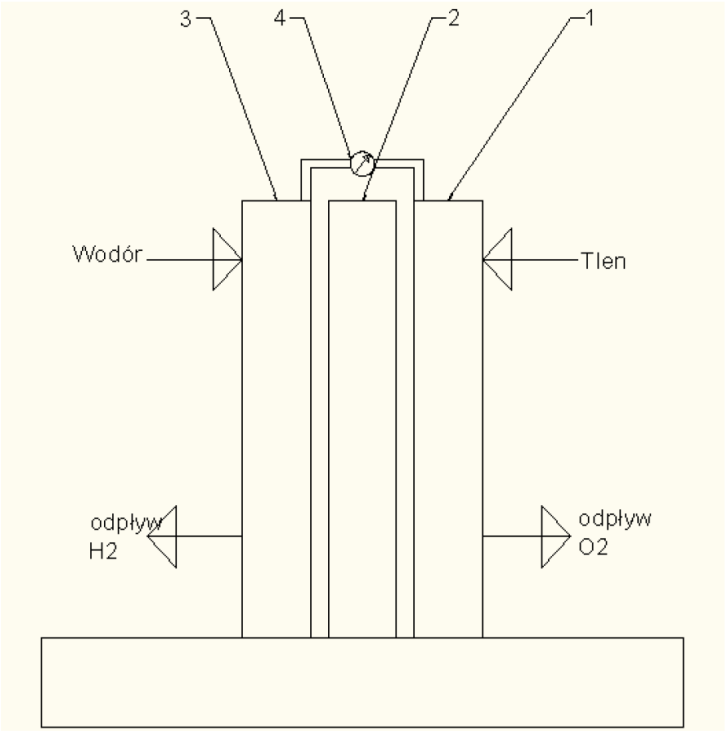
Ogniwo paliwowe typu PEM (ang. PEM-FC)

Ogniwa paliwowe są urządzeniami elektro – chemicznymi , stanowiącymi przełom w dziedzinie źródeł energii, pozwalają na uzyskanie energii elektrycznej i ciepła bezpośrednio z zachodzącej w nich reakcji elektrochemicznej.
W ogniwach zachodzi konwersja energii chemicznej paliw (wodór, metan, butan, metanol, a nawet benzyna) na energię elektryczną.

Zasada działania ogniwa typu PEM

Ogniwo paliwowe zbudowane jest z dwóch elektrod: anody i katody. Elektrody odseparowane są poprzez elektrolit występujący w formie płynnej lub jako ciało stałe. Kryterium klasyfikacyjnym ogniw jest rodzaj elektrolitu i w przypadku ogniwa typu PEM, elektrolit jest specjalną membraną przepuszczającą tylko jony dodatnie wodoru (protony) stąd skrót PEM -od angielskiej nazwy Proton Exchange Membrane Fuel Cell.

Elektrolit umożliwia przepływ kationów, natomiast uniemożliwia przepływ elektronów. Reakcja chemiczna zachodząca w ogniwie polega na rozbiciu wodoru na proton i elektron na anodzie, a następnie na połączeniu substratów reakcji na katodzie. Procesom elektrochemicznym towarzyszy przepływ elektronu od anody do katody z pominięciem nieprzepuszczalnej membrany. W wyniku elektrochemicznej reakcji wodoru i tlenu powstaje prąd elektryczny, woda i ciepło.
Paliwo - wodór w stanie czystym lub w mieszaninie z innymi gazami - jest doprowadzany w sposób ciągły do anody, a utleniacz - tlen w stanie czystym lub mieszaninie (powietrze) - podawany jest w sposób ciągły do katody.



1-katoda, 2- membrana, 3- anoda, 4- prąd stały

Rys. 1 Uproszczony schemat ogniwa paliwowego

Ogniwa paliwowe PEM zasilane są czystym wodorem lub reformatem. Membraną ogniwa PEM jest materiał polimerowy np. nafion. Charakterystyczną cechą ogniw PEM jest duża sprawność w produkcji energii elektrycznej - do 65% oraz mała ilość wydzielanego ciepła. Niewątpliwą zaletą ogniwa PEM jest dobra nadążność ogniwa w systemach poddawanych zmiennym obciążeniom oraz krótki czas rozruchu. Cechy te wynikają z niskiej temperatury reakcji zachodzącej w ogniwie - 60 do 100 stopni Celsjusza.
Ogniwo paliwowe teoretycznie nie ulega rozładowaniu. W rzeczywistości degradacja lub niesprawność komponentów ograniczają żywotność ogniwa paliwowego.

Oto jakie reakcje chemiczne zachodzą w ogniwie paliwowym:

na anodzie: $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e$

na katodzie: $O_2 + 4e \rightarrow 2O^{-2}$

Następnie jony wodorowe H+ są zobojętnianie zjonizowanym tlenem:

$$2O^{-2} + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$$

Końcowy produkt to H_2O czyli woda w postaci ciekłej lub para.

Zalety ogniw paliwowych

Duża niezawodność – brak ruchomych części, wysoka jakość dostarczanej energii. Energia dostarczana przez ogniwa paliwowe jest bardzo odporna na zakłócenia. Ogniwa paliwowe są idealnym źródłem zasilania dla urządzeń medycznych, aparatury pomiarowej, komputerów itp. Ogniwa paliwowe charakteryzują się wysoką sprawnością i gęstością energetyczną.

Ogniwo paliwowe jest zawsze mniejsze i lżejsze od innych źródeł energii o porównywalnej mocy. Sprawność ogniw paliwowych w generowaniu energii elektrycznej osiąga nawet 50%. W procesie kogeneracji, produkcji energii elektrycznej i ciepła, ogniwa paliwowe osiągają sprawność nawet 85%.

W ogniwach paliwowych możemy stosować różnego rodzaju paliwa. Ogniwa paliwowe mogą być zasilane każdym paliwem bogatym w wodór. Uzyskiwanie wodoru z paliwa może przebiegać wewnątrz ogniwa paliwowego, tzw. wewnętrzny reforming lub poza ogniwem w zewnętrznym urządzeniu zwanym: fuel reformer. Dzięki zjawisku elektrolizy, wodór dla ogniwa paliwowego można wytwarzać korzystając ze źródeł energii alternatywnej.

Zanieczyszczenia wynikające z produkcji energii "konwencjonalnymi" metodami są powodem degradacji środowiska naturalnego i powodem pojawiania się nowych chorób cywilizacyjnych. Ogniwo paliwowe produkuje 25 razy mniej zanieczyszczeń w porównaniu z generatorami spalinowymi. W przypadku zasilania ogniwa paliwowego wodorem, ilość produkowanych zanieczyszczeń jest śladowa. Pojedyncze ogniwa paliwowe można łączyć ze sobą w celu osiągnięcia pożądanego poziomu generowanej mocy (skalowalność). Zespoły ogniw paliwowych o różnych kształtach stosuje się zarówno do zasilania pojedynczej żarówki jak i do napędzania maszyn przemysłowych.

Sprawność ogniwa paliwowego typu PEM określa się jako stosunek energii elektrycznej otrzymanej do energii chemicznej wodoru użytego w procesie.

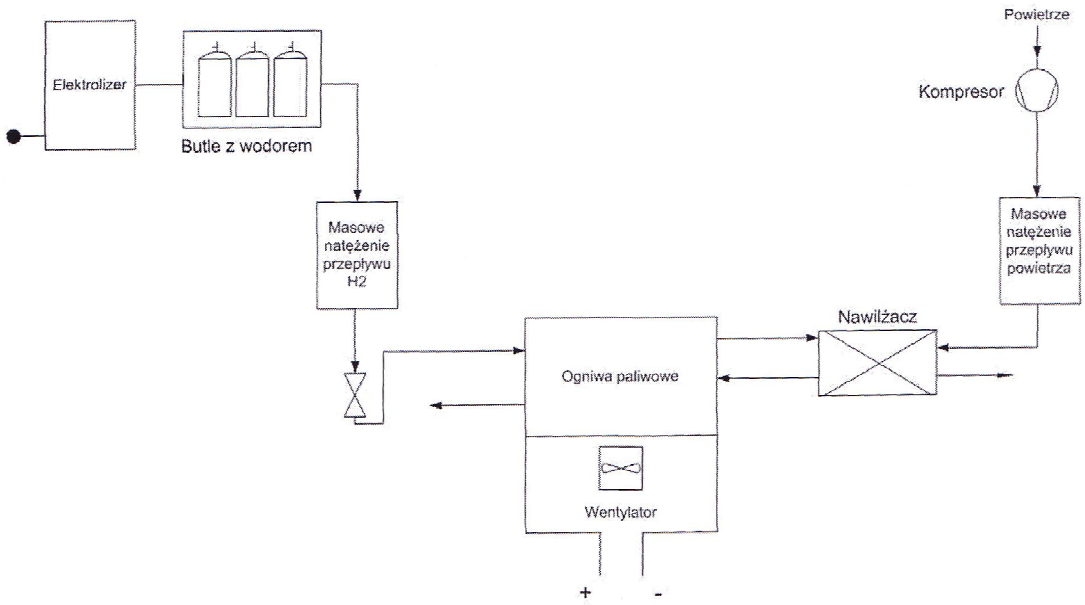
CEL ĆWICZENIA:

1. Przypomnienie podstawowych własności paliwa wodorowego
    a. zasady bezpieczeństwa w przypadku korzystania z paliwa wodorowego
    b. cel posiadania, sposób korzystania i elementy składowe osobistego czujnika wodoru (Rys. 4, Rys. 5)
2. Przypomnienie zasady działania ogniwa paliwowego typu PEM
3. Analiza elementów składowych systemu ogniw paliwowych typu PEM mogącego wytworzyć moc elektryczną powyżej 1kW – na przykładzie systemu ogniw paliwowych Nexa®.
4. Wyznaczenie sprawności i pomiar parametrów pracy systemu ogniw paliwowych Nexa® 1,2 kW przy zastosowaniu odbiorników prądu o różnych mocach elektrycznych w zależności od ciśnienia paliwa, pojemności podłączonych do systemu akumulatorów i w zależności od konfiguracji parametrów ładowania akumulatorów.

Celem doświadczenia jest uzyskanie prądu elektrycznego przy zastosowaniu ogniwa paliwowego typu PEM. Jest to ogniwo z membraną do wymiany protonów (Proton Exchange Membrane). Na anodę ogniwa doprowadzany jest wodór, który dysocjuje. Jony wodorowe są przepuszczane przez membranę, podczas gdy swobodne elektrony przepływają przez układ elektryczny. Po drugiej stronie membrany, na katodzie, zachodzi reakcja utleniania wodoru z tlenem pochodzącym z doprowadzanego powietrza (do wody).

Paliwo – wodór wytwarza się z wody w elektrolizerze. W urządzeniu tym poprzez przyłożenie napięcia do elektrod (anody i katody) zachodzi proces tzw. elektrolizy, czyli rozpadu cząsteczki wody na naładowane dodatnio i ujemnie jony, które przyciągane są do odpowiednich silnie naładowanych elektrod, na których ich ładunki zostają wyrównane.

Uproszczony schemat stanowiska:



Rys. 2 Uproszczony schemat stanowiska

OPIS APARATURY:

Ćwiczenie pozwala zapoznać się z rozwiązaniami konstrukcyjnymi użytymi w systemie ogniw paliwowych typu PEM Nexa®:

- w stosie ogniw paliwowych,
- umożliwiającymi podłączenie lub ew. symulację zewnętrznego odbiornika prądu,
- w układzie doprowadzenia paliwa i tlenu do systemu.

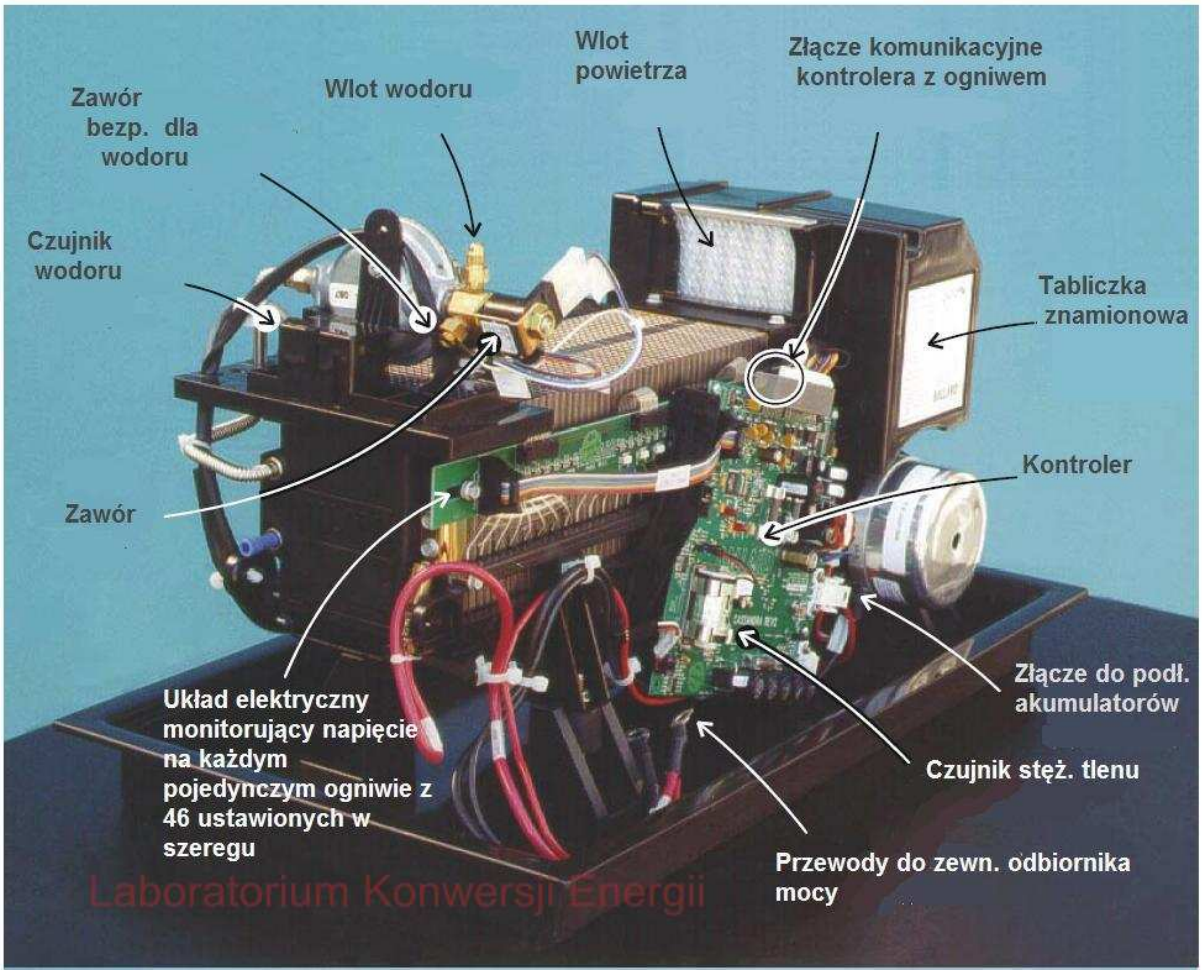
Rys. 3 Stos ogniw paliwowych firmy Ballard wchodzący w skład systemu Nexa Training System

Rys. 4 Osobisty czujnik wodoru

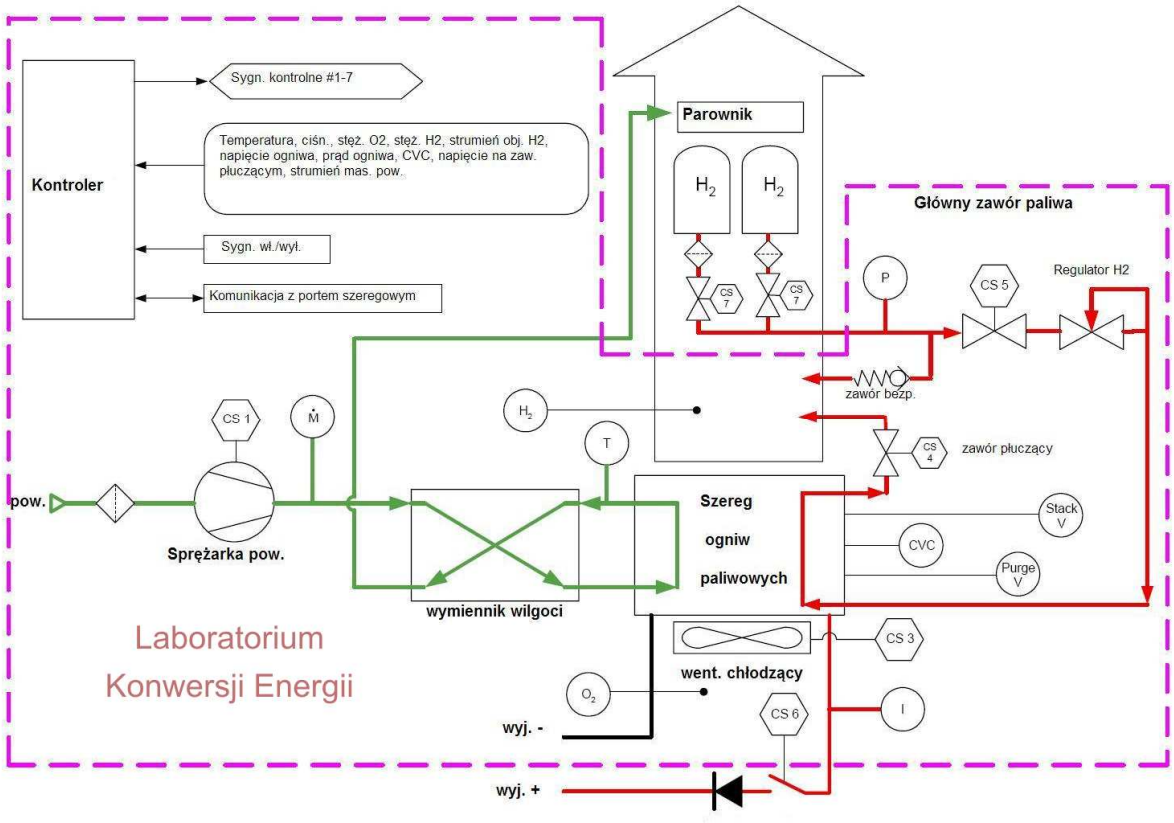
W skład systemu Nexa® wchodzi stos ogniw paliwowych firmy Ballard® złożony z 46 połączonych ze sobą ogniw mogący pokryć zapotrzebowanie odbiornika na moc do 1,2kW (krótkotrwale do 1,5 kW). Do funkcjonowania stosu ogniw potrzebny jest wodór o czystości co najmniej 99,99%. Każde pojedyncze ogniwo pozwala wytworzyć napięcie w granicach 0,6 V (pełne obciążenie systemu równe 1,2 kW) -1 V (brak obciążenia), natężenie prądu jest proporcjonalne do aktywnego obszaru membrany w ogniwie, system pozwala uzyskać maksymalne natężenie prądu równe 46 A, napięcie wytwarzane w systemie może być w granicach 43V (brak obciążenia) – 26 V (pełne obciążenie systemu równe 1,2 kW). Dla membran PEM użytych w systemie zalecaną temperaturą pracy jest 65º C dlatego ważne jest odpowiednie chłodzenie systemu. Wytworzone w stosie ogniw paliwowych ciepło jest wykorzystywane do desorpcji wodoru w karnistrach z wodorkami metali magazynujących wodór. Ciśnienie paliwa na wejściu do systemu musi być w zakresie 1-17 bar. Powietrze doprowadzane do systemu jest powietrzem atmosferycznym, jest ono dodatkowo sprężane przez sprężarkę a następnie nawilżane w wymienniku wilgoci zanim dostanie się do ogniwa. W przeprowadzanym ćwiczeniu w systemie Nexa® używamy pary akumulatorów (połączonych szeregowo) o pojemności 18 Ah każdy, bądź pary akumulatorów o pojemności 2,2 Ah każdy. W systemie określamy konfigurację parametrów ładowania akumulatorów – minimalne napięcie (wartość do której może spadać napięcie pary akumulatorów bez konieczności ich ładowania, po przekroczeniu której rozpocznie się ich ładowanie), maksymalne napięcie (wartość napięcia do której są ładowane akumulatory), prąd ładowania.

Laboratorium Konwersji Energii

Rys. 5 Elementy składowe osobistego czujnika wodoru



Rys. 6 Elementy składowe szeregu ogniw paliwowych firmy Ballard



Rys. 7 Elementy składowe stosu ogniw paliwowych firmy Ballard

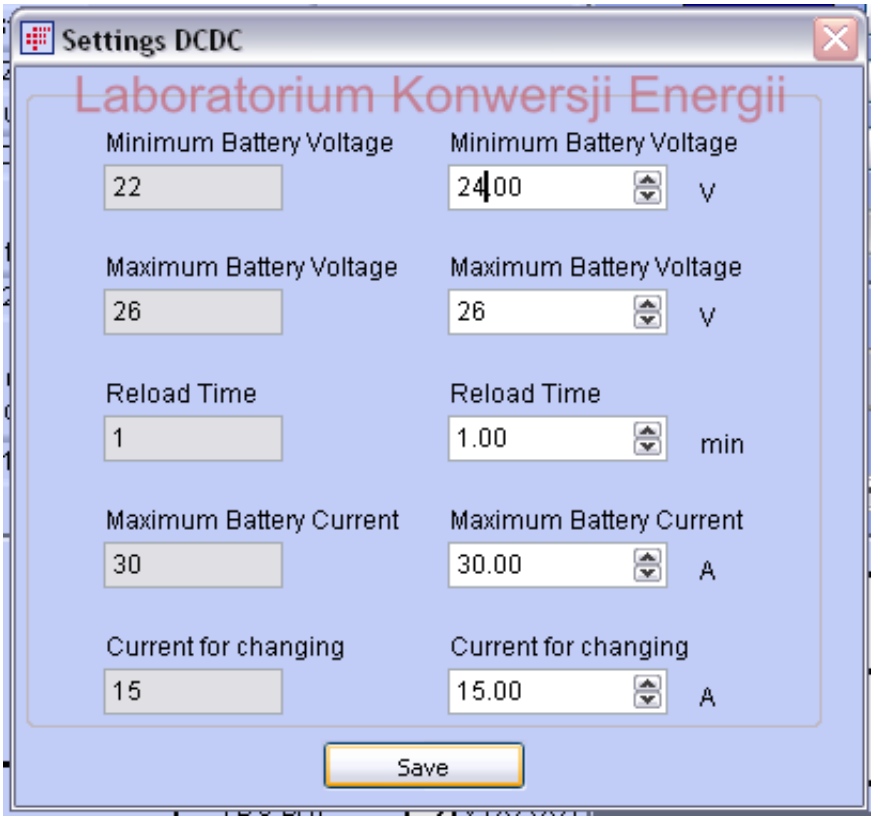
Rys. 8 Zawór regulujący przepływ paliwa

Rys. 9 Do systemu możemy podłączyć parę akumulatorów takich jak egzemplarz po lewej stronie (pojemność pojedynczego akumulatora 2,2 Ah) bądź parę akumulatorów takich jak egzemplarz po prawej stronie (pojemność pojedynczego akumulatora 18Ah)

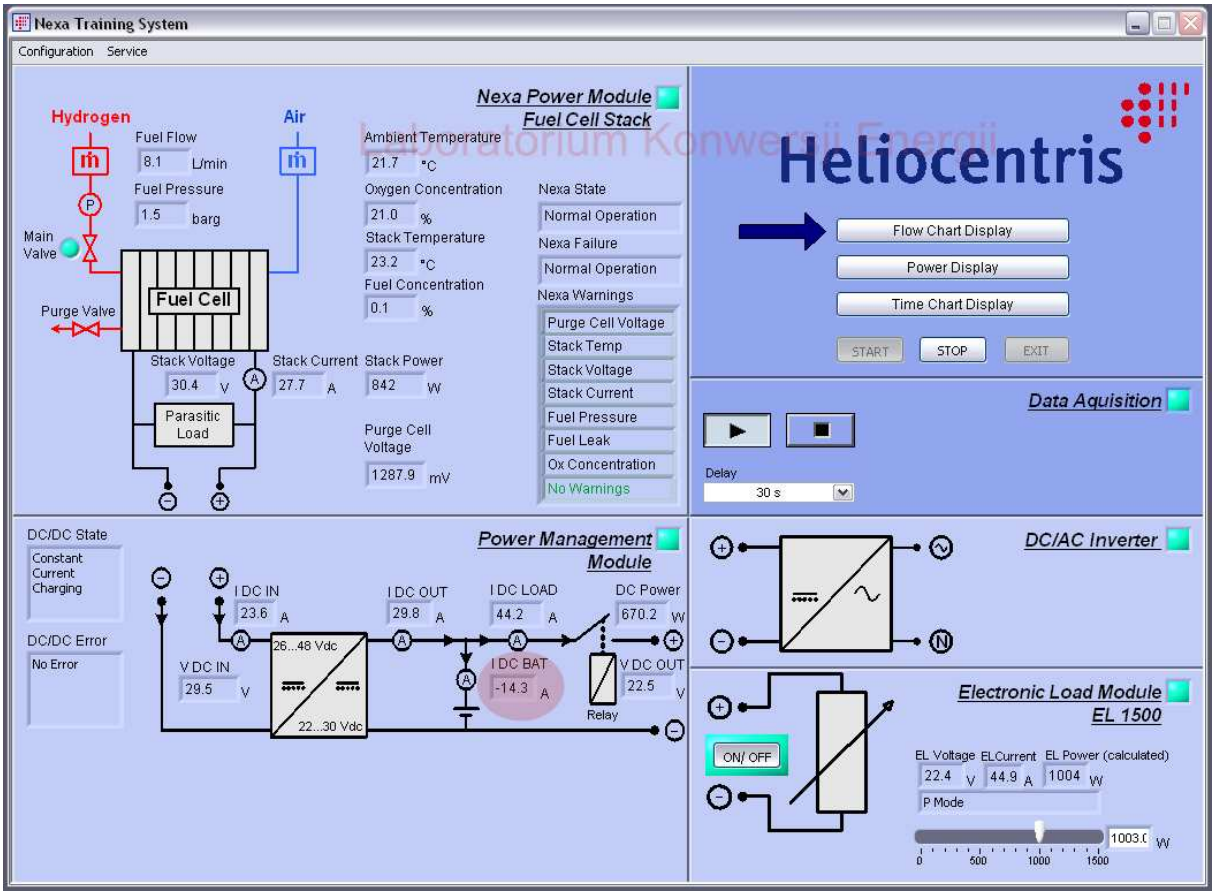
Laboratorium Konwersji Energii

Rys. 10 Tabliczka znamionowa stosu ogniw paliwowych

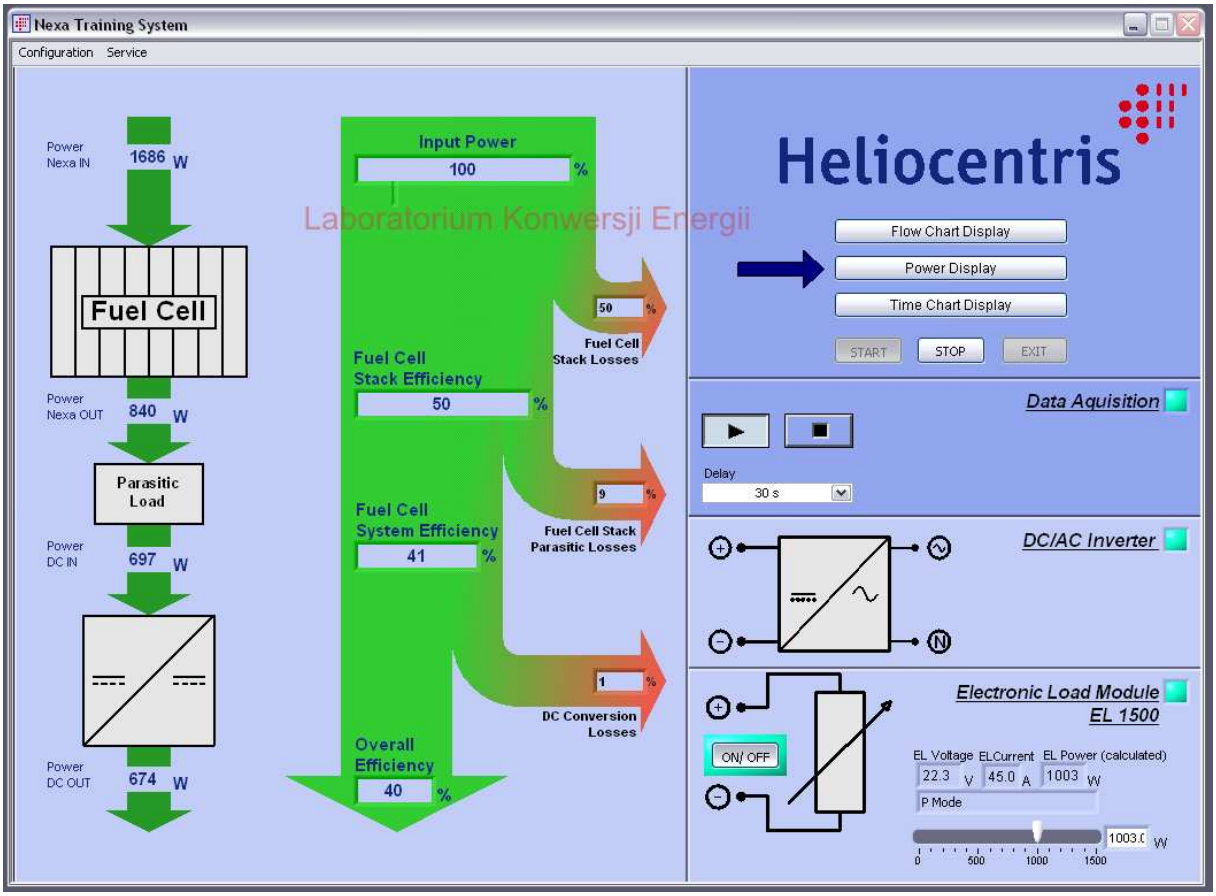
Rys. 11 Karnistry do magazynowania wodoru zawierające wodorki metali



Rys. 12 Ustawienie parametrów ładowania akumulatorów



Rys. 13 Monitorowanie pracy systemu



Rys. 14 Straty mocy i sprawność systemu

OBLICZENIA:

P_{pal} - Moc dostarczona z paliwem

$P_{pal} = \dot{B} \cdot Q_i$, gdzie: $\dot{B}$ -strumień paliwa, $Q_i = 12770 \frac{kJ}{m_n^3}$ -wartość opałowa wodoru.

Sprawność:

$\eta = \frac{P_{el}}{P_{pal}}$, gdzie: P_{el} -uzyskana moc elektryczna.

Na podstawie obliczeń należy sporządzić:
- wykres sprawności w funkcji wytwarzanej mocy elektrycznej przy co najmniej dwóch odbiornikach różnej mocy,
- porównać wartości obliczeniowe z danymi z pliku zawierającego parametry pracy systemu Nexa (generowane przez ogniwo),
- ocenę parametrów pracy sytemu ogniwa paliwowego dla różnych ciśnień wodoru na wlocie do ogniwa 5, 10 i 17 bar,
- charakterystykę dynamiczną (przy zastosowaniu generatora wodoru i butli gazowej) magazynowania i rozładowania karnistra na wodorkach metali dla ustalonego obciążenia ogniwa dla różnych ciśnień i strumieni wodoru.