



Politechnika Śląska w Gliwicach
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych

Wytwarzanie i wykorzystanie wodoru w hybrydowych układach energetycznych

prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak
dr inż. Sebastian Lepszy

Gliwice 16.12.2020



Politechnika
Śląska

www.kmie.polsl.pl

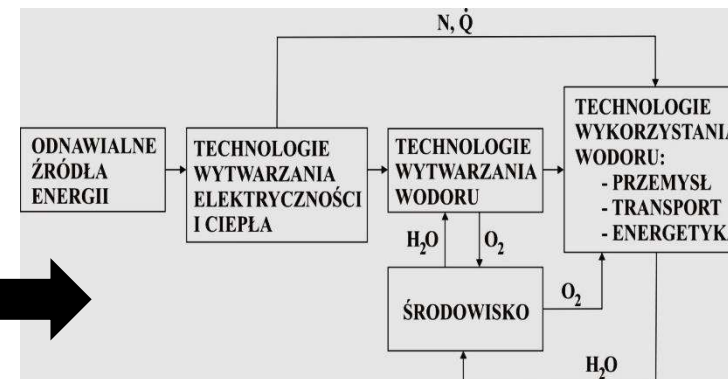
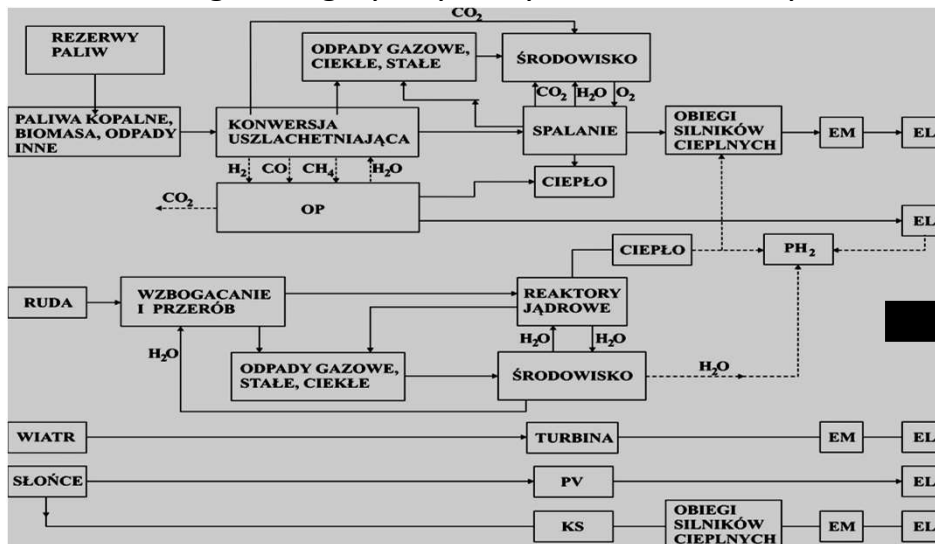
Plan wystąpienia

- Tematyka badawcza zespołu
- Dotychczasowe badania – projekt HESTOR
- Aktualne problemy badawcze
- Propozycje współpracy
- Podsumowanie



Technologie wodorowe

Cechy: **różnorodność** (różne źródła napędowe procesów elektrolizy, termolizy, różne procesy konwersji paliw organicznych w wodór, itd.); **hybrydowość** (integracja różnych procesów fizyko-chemicznych i różnych technologii energetycznych wytwarzania elektryczności i ciepła).



Struktura oczekiwana (pożądana)

Struktura integracji obecnych technologii z generacją wodoru i jego wykorzystaniem



Tematyka badawcza zespołu

- Modelowanie matematyczne wodorowych systemów energetycznych
 - Modelowanie matematyczne ogniw paliwowych
 - Modelowanie matematyczne elektrolizerów
 - Modelowanie procesów koelektrolizy wody i ditlenku węgla
 - Modele turbin gazowych zasilanych wodorem
 - Analizy systemowe układów wykorzystania wodoru z maszynami przepływowymi
 - Optymalizacja systemów energetycznych wytwarzania magazynowania i wykorzystania wodoru z uwzględnieniem kryteriów ekonomicznych



Projekt badawczy - Magazynowanie energii w postaci wodoru w kawernach solnych – HESTOR

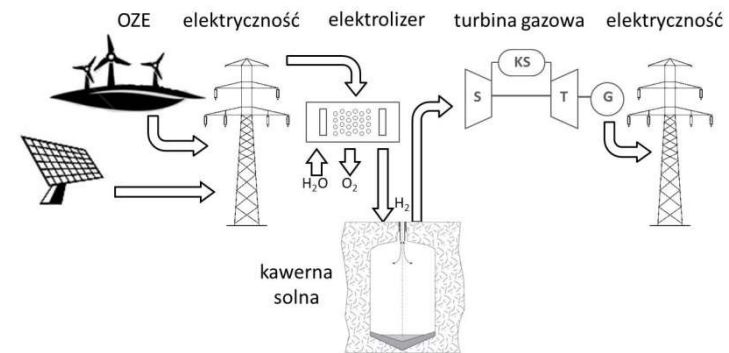
- Projekt dofinansowany ze środków NCBiR w ramach programu GEKON
- Kierownik projektu na Politechnice Śląskiej: prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak
- Okres: 01.01 2015 – 31.10.2017
- Cele projektu:
 - Zaadoptowanie do warunków polskich i wdrożenie technologii magazynowania wodoru w kawernach solnych
 - Zastąpienie części wodoru produkowanego dla potrzeb GL S.A z gazu ziemnego wodorem elektrolitycznym - optymalizacja gospodarki energią, obniżenie emisyjności
 - Podniesienie wykorzystania mocy elektrowni wiatrowych i solarnych pozwalające na zwiększenie udziału OZE w bilansie energetycznym kraju.



Projekt badawczy - Magazynowanie energii w postaci wodoru w kawernach solnych – HESTOR

Główne etapy:

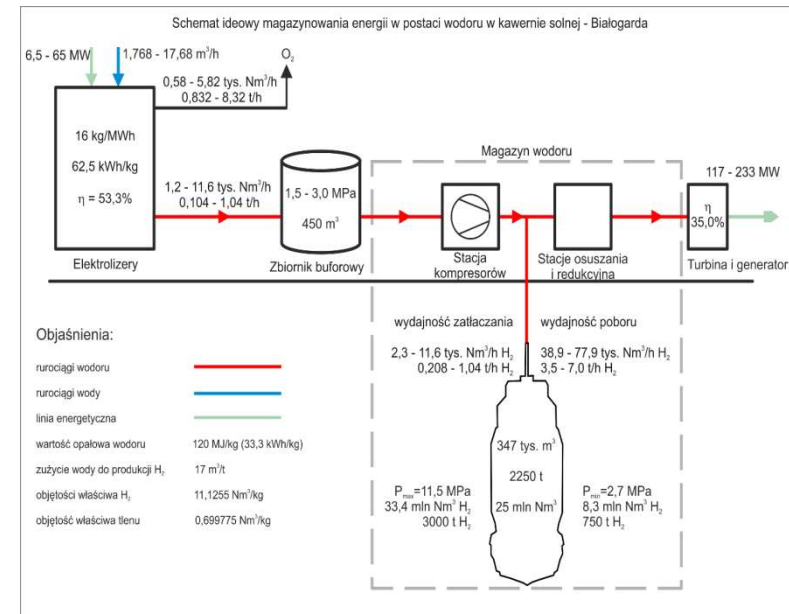
- **Identyfikacja potrzeb magazynowania energii**
- Określenie możliwości lokalizacji kawern magazynowych na wodór
- **Wstępny dobór parametrów technologicznych kawern**
- **Analiza możliwości bezpiecznego transportu rurociągowego wodoru**
- **Analiza warunków pracy elektrolizerów, kompresorów sprężających wodór do magazynu i turbin gazowych**
- **Model pracy magazynu – analiza ryzyka związanego z bezpieczeństwem**
- **Analiza efektywności magazynowania wodoru**



Projekt badawczy - Magazynowanie energii w postaci wodoru w kawernach solnych – HESTOR

Wybrane problemy badawcze:

- Zasilanie elektrolizerów z farm wiatrowych i elektrowni fotowoltaicznych;
- Uzupelnienie pracy systemu magazynowania pracą zespołu turbiny gazowej;
- Dobór optymalnych wartości mocy systemu produkcji wodoru, pojemności układu magazynowania, mocy układu wykorzystania wodoru.
- Analiza parametrów elektrolizerów; ogniw paliwowych; turbin gazowych pod kątem wykorzystania do wstępnych analiz ekonomicznych.



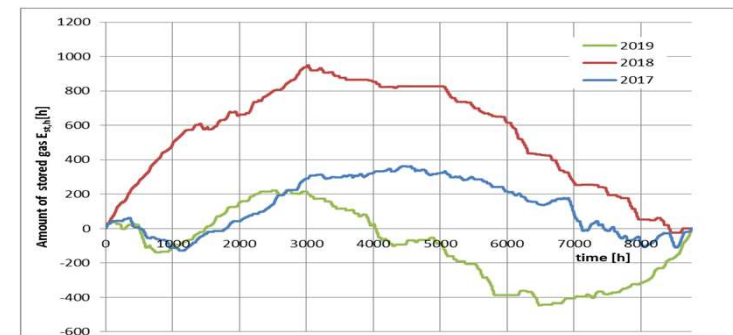
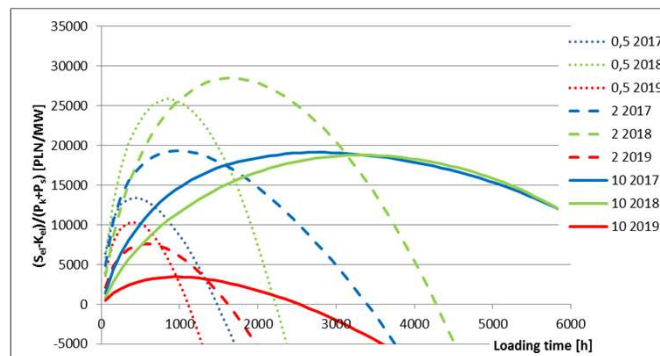
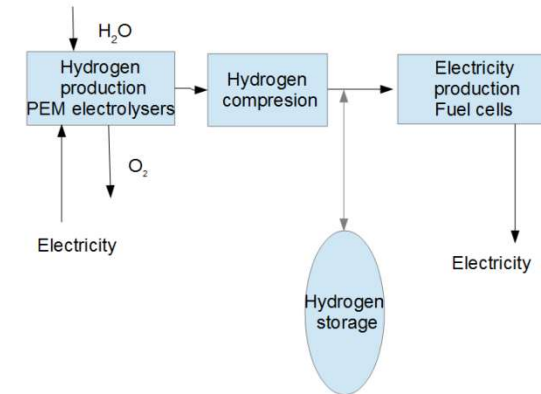
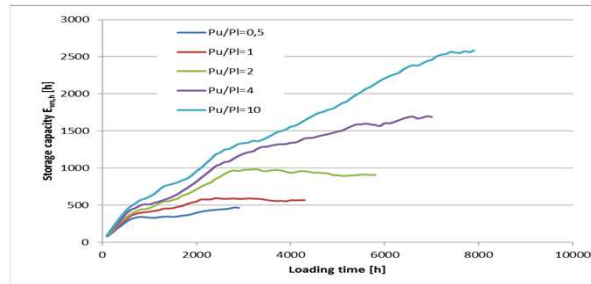
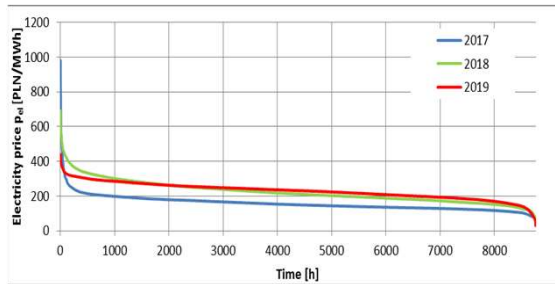
Aktualne problemy badawcze - Modelowanie matematyczne wodorowych systemów energetycznych

Zakres modelowania

- **Identyfikacja charakterystyk:** promieniowania słonecznego, energii wiatru i turbin wiatrowych, ogniw fotowoltaicznych, ogniw paliwowych, elektrolizerów, koelektrolizy (modele dla zero i wielu zmiennych przestrzennych), syntezy paliw.
- **Algorytmizacja integracji różnych technologii, optymalizacja hybrydowych układów energetycznych:** modelowanie, skalowanie i optymalizacja układów Power to gas, Power to liquid, Power to power dla różnych strategii eksploatacyjnych; modelowanie i optymalizacja układów hybrydowych w różnych zakresach mocy (np. ogniwo + turbina gazowa); układy zgazowania odpadów komunalnych i biomasy zintegrowane z wytwarzaniem wodoru



Aktualne problemy badawcze - Systemy energetyczne z magazynowaniem wodoru



Aktualne problemy badawcze – modelowanie integralnych charakterystyk napięciowo – prądowych ogniw paliwowych

- Modele 0-D

$$V_{el} = E - \eta_c = (\Delta V_0 + \Delta V_\Omega + \Delta V_{kt} + \Delta V_a)$$

$$E = \frac{-\Delta_r \bar{g}_0}{zF} - \frac{(MR)T}{zF} \ln \frac{\bar{p}_{H_2O}^2}{\bar{p}_{H_2}^2 \bar{p}_{O_2}}$$

$$\eta_c = \eta_0 + \eta_\Omega + \eta_{kt} + \eta_{ka} = \eta_0 + \eta_\Omega + \eta_k = \Delta V_0 + \Delta V_\Omega + \Delta V_{kt} + \Delta V_a$$

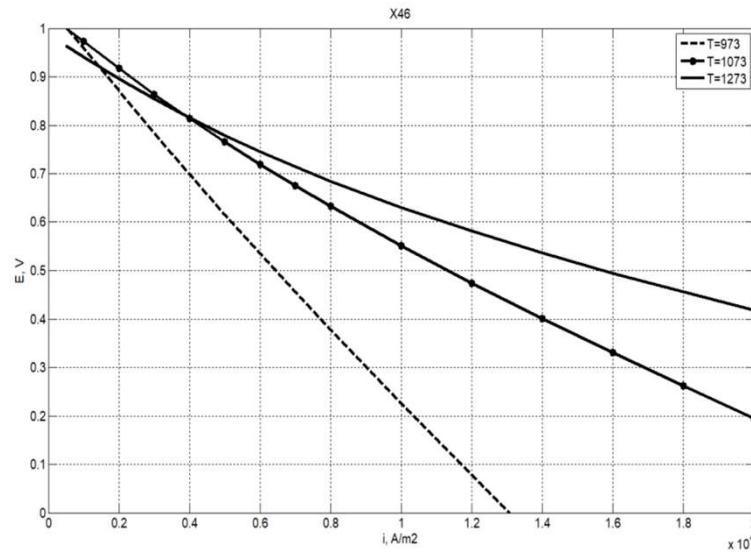
gdzie: $\eta_0 = \frac{T\bar{s}_{gen,0}}{zF}$ – straty „biegu luzem”, $\eta_\Omega = \frac{T\bar{s}_{gen,\Omega}}{zF}$ – straty omowe, $\eta_{kt} = \frac{T}{F} \sum_{p,s} \frac{\bar{s}_{gen,p,s}}{z_{p,s}}$

straty potencjału związane z transportem przez elektrody substratów(s) i produktów(p),

$\eta_{ka} = \left(\frac{T\bar{s}_{gen,ka}}{zF} \right)_{k,a}$ – nadnapięcie aktywacyjne dla katody i anody.

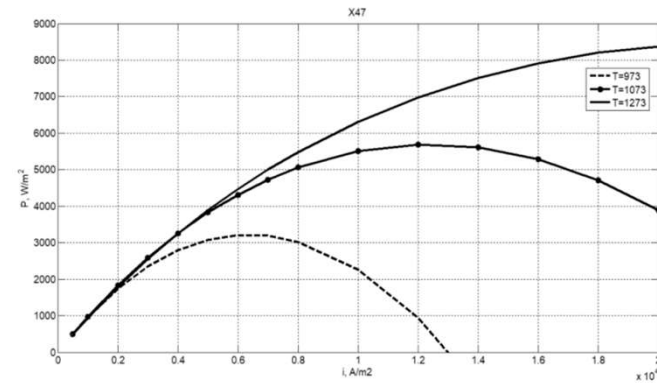


Przykład. Ogniwo ceramiczne

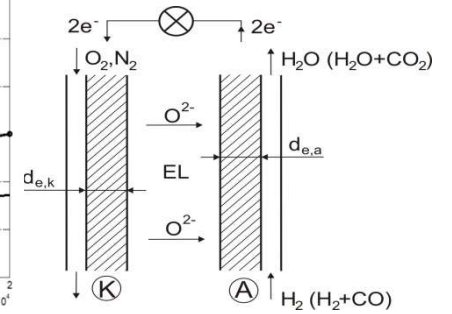
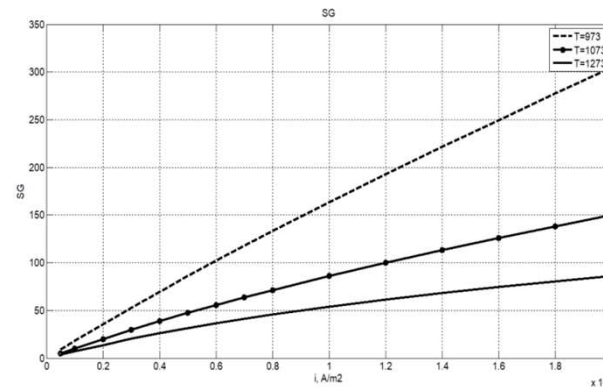


Charakterystyka napięciowo – prądowa $E=f(i)$ dla różnej temperatury pracy ogniwa

Moc jako funkcja gęstości prądu

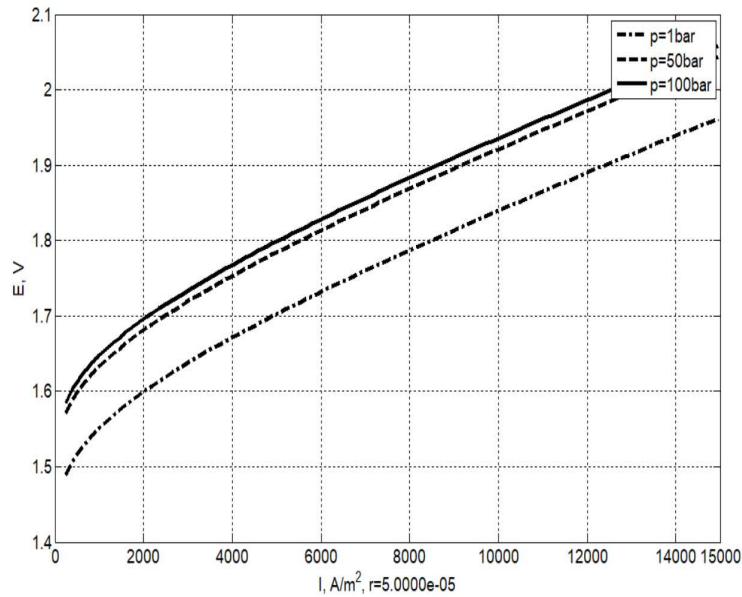


Generacja entropii

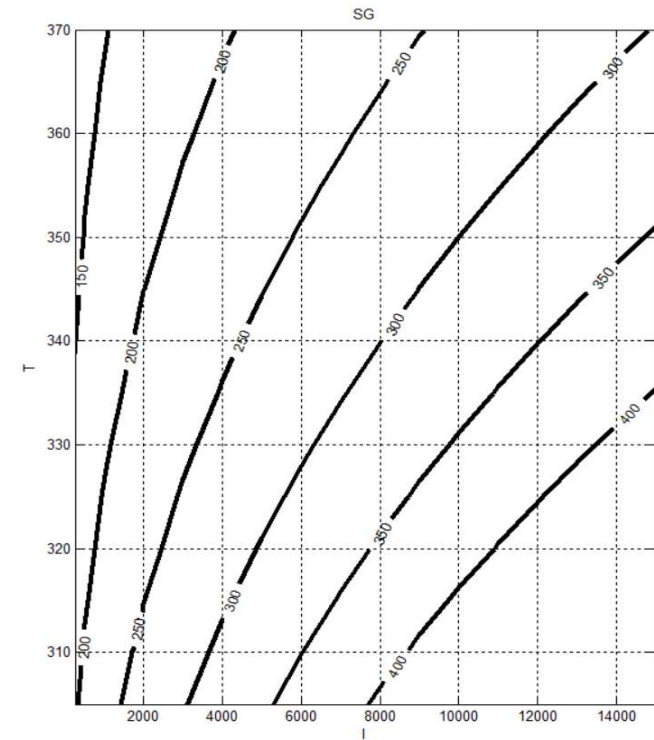


Przykład. Elektrolizer polimerowy

$$V_{el} = E_{el} + \Delta V_a + \Delta V_{kt} + \Delta V_{\Omega}$$



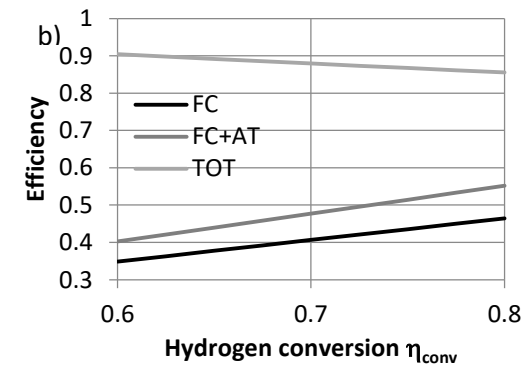
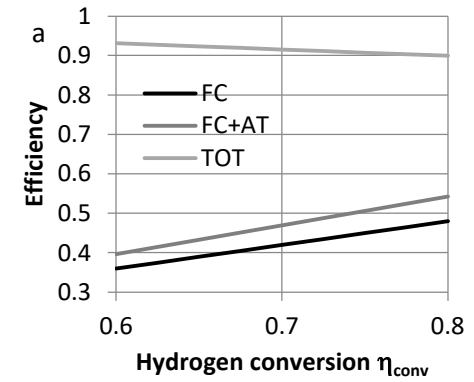
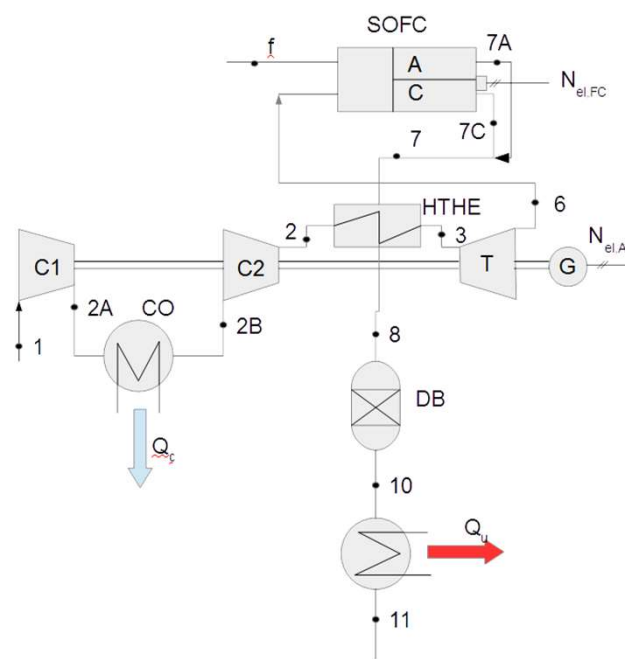
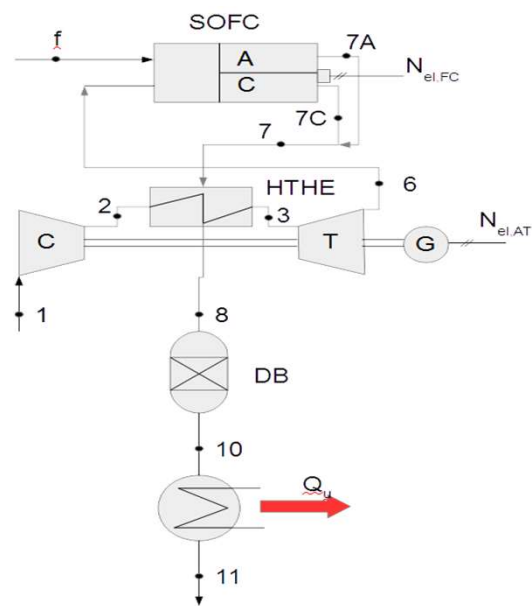
Wartość generacji entropii SG [J/mol K] w elektrolizerze polimerowym dla wybranych wartości T [K], gęstości prądu i [A/m²] i $p = 1$ bar.



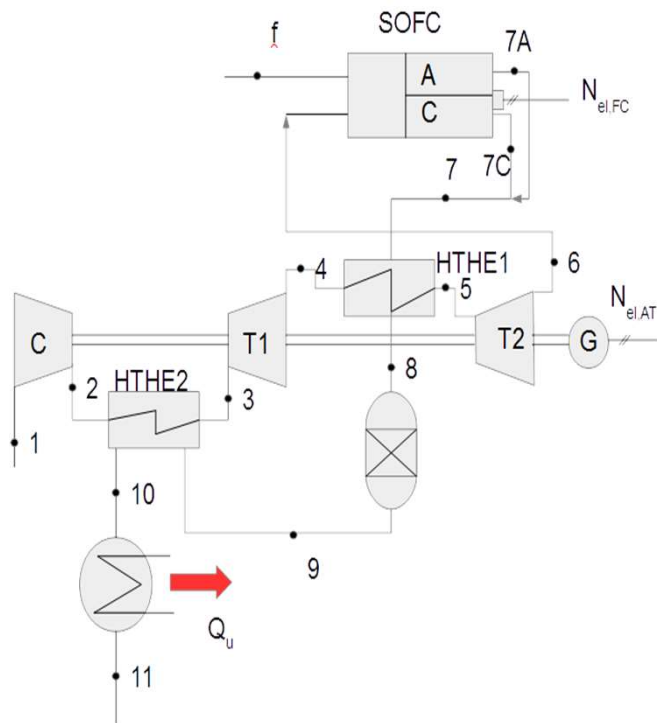
Charakterystyka napięciowo – prądowa (r – wartość oporu w przewodnikach elektronów). Wpływ ciśnienia . Temperatura pracy elektrolizera $T = 323.15$ K.



Aktualne problemy badawcze - Układy hybrydowe FC-AT



Aktualne problemy badawcze - Układy hybrydowe FC-AT



	$\eta_{el,FCt}$	η_{el}	η_{tot}
Variant 1	46%	54,27%	89,95%
Variant 2	46%	55,21%	85,54%
Variant 3	46%	62,8%	81,6%

	$(N_{el,FC} + N_{el,AT}) / m_1$ [kJ/kg]	$N_{el,FC} / m_1$ [kJ/kg]	$N_{el,AT} / m_1$ [kJ/kg]
Variant 1	717,5	617,1	100,4
Variant 2	897,3	758,9	138,4
Variant 3	347,2	259,1	88,0



Zagadnienia w trakcie przygotowania

- Wielowymiarowe modele procesów konwersji energii w ogniwach paliwowych
- Wielowymiarowe modele procesów elektrolizy i koelektrolizy wody i ditlenku węgla
- Wykorzystanie modeli do optymalizacji układów hybrydowych o różnej strukturze i optymalizacji strategii eksploatacyjnych technologii integrujących generację wodoru ze źródeł odnawialnych z jego wykorzystaniem do różnych celów (technologie power to power, power to gas, power to liquid)

Modele uwzględniające:

- kryteria ekonomicznych (nakłady inwestycyjne, koszty i przychody, wymagania dla rynku energii zwiększające efektywność);
- warunki lokalne (kogeneracja; poligeneracja)
- charakterystyki technicznych systemów (czasy rozruchu; praca z częściowym obciążeniem; praca w różnych warunkach otoczenia)



Propozycje współpracy

- Szczegółowe zagadnienia rynku energii (dotychczasowe próby oparte o rynek dnia następnego, brak wykorzystania bardziej złożonych rynków)
- Szczegółowe zagadnienia współpracy systemów wodorowych z siecią elektroenergetyczną (usługi systemowe; inteligentne sieci)



Podsumowanie i tezy dla ugruntowania technologii wodorowej

- Urynkowanie ceny energii ze źródeł odnawialnych (uwzględnienie dyspozycyjności energii z odnawialnych źródeł)
- Możliwości uzyskania efektu ekonomicznego w jednym przedsiębiorstwie (kogeneracja, magazynowanie długoterminowe, koszty przesyłania energii elektrycznej)

Wybrane pozycje literatury:

- Tadeusz Chmielniak, Leszek Remiorz, Entropy analysis of hydrogen production in electrolytic processes. Energy 211 (2020) 118468
- Sebastian Lepszy: Analysis of the storage capacity and charging and discharging power in energy storage systems based on historical data on the day-ahead energy market in Poland. Energy vol. 213 (2020) 118815
- Lepszy Sebastian, Chmielniak Tadeusz: Analysis of fuel cell - gas turbine hybrid cycles. Proceedings of the 6th International Conference Contemporary Problems of Thermal Engineering. CPOTE 2020, Poland, 21-24 September 2020. Ed. by Wojciech Stanek, Paweł Gładysz, Sebastian Werle, Lucyna Czarnowska
- Lepszy Sebastian, Chmielniak Tadeusz, Mońka Paweł: Storage of energy obtained from renewable sources using hydrogen-fired gas turbines. J. Power Technol. 2016 vol. 96 404-408



Dziękuję za uwagę.



Politechnika
Śląska



Katedra Maszyn
i Urządzeń Energetycznych

www.kmie.polsl.pl

18