Research on the potential of electrolysis and gasification of solid fuels for the production of synthetic natural gas in a polygeneration system

DARIA KATLA

Supervisors:

Anna Skorek-Osikowska

Michał Jurczyk

Doctoral Thesis in Environmental Engineering, Mining and Energy

Silesian University of Technology

Gliwice, Poland, 2023

Author:

Daria Katla, MEng.

Silesian University of Technology

Joint Doctoral School

daria.katla@polsl.pl

Supervisor:

Anna Skorek-Osikowska, Prof.

Silesian University of Technology

Faculty of Energy and Environmental Engineering

Department of Power Engineering and Turbomachinery

anna.skorek-osikowska@polsl.pl

Co-Supervisor:

Michał Jurczyk, PhD

Silesian University of Technology

Faculty of Energy and Environmental Engineering

Department of Power Engineering and Turbomachinery

michal.jurczyk@polsl.pl

Polish title:

Badanie potencjału procesów elektrolizy i zgazowania paliw stałych do produkcji syntetycznego gazu ziemnego w układzie poligeneracyjnym

Streszczenie

W rozprawie doktorskiej przedstawiono wyniki badań nad systemami power to synthetic natural gas (PtSNG) opartych na technologiach elektrolizy wody i tlenowego zgazowania biomasy. Główną zaletą systemów produkcji SNG jest produkcja paliwa, które w przeciwieństwie do czystego wodoru ma szeroki potencjał wykorzystania w obecnych systemach energetycznych, może być łatwo transportowane przez obecne sieci przesyłowe oraz jest znacznie prostsze w przechowywaniu. Badane w ramach niniejszej rozprawy różne konfiguracje proponowanych układów power to SNG wpisują się w kierunek badań nad nowymi systemami magazynowania energii.

Rozprawa doktorska obejmowała badania nad procesem metanizacji w oparciu o dwie główne części - eksperymentalną i analizę techniczno-ekonomiczną. Prace eksperymentalne zostały przeprowadzone w celu poszerzenia wiedzy na temat procesu metanizacji w różnych warunkach pracy oraz zebrania danych istotnych dla badań nad zastosowaniem PtSNG. Celem było opracowanie reaktora metanizacji, którego głównym założeniem będzie wysoka efektywność, prostota i jednocześnie niska cena (w aspekcie kosztów kapitałowych I eksploatacyjnych) oraz ocena wpływu wybranych warunków procesu na efektywność produkcji metanu. Prace eksperymentalne pozwoliły dodatkowo na określenie wpływu wybranych parametrów na przebieg i wskaźniki oceny termodynamicznej procesu metanizacji, a także na optymalizację parametrów operacyjnych procesu.

W przypadku analizy eksperymentalnej na instalacji metanizacji reaktor wypełniony katalizatorem rutenowym badano przy przepływach objętościowych dwutlenku węgla i wodoru (w stosunku stechiometrycznym, H_2:CO_2 = 4:1) w zakresie od 4.5 Ndm^3/min do 10 Ndm^3/min, uzyskując energię chemiczną wytworzonego SNG w zakresie od 0.81 kW do 1.44 kW. Wartości współczynnika konwersji dwutlenku węgla dla pracy reaktora metanizacji w warunkach atmosferycznych wynoszą od 84.37% do 88.47%. Konwersja dwutlenku węgla do metanu wzrasta przy podwyższonym ciśnieniu reakcji. Dla przypadku ciśnienia manometrycznego w reaktorze metanizacji wynoszącego 6 barów, parametr konwersji CO_2 jest równy 94.36 – 95.83%.

W pracy przeprowadzono również analizę techniczno-ekonomiczną różnych konfiguracji układu produkcji SNG w zależności od rodzaju technologii zgazowania biomasy założonej do symulacji, a także od dostępności produkcji wodoru ze źródeł odnawialnych. W celu uzyskania składu SNG o zawartości CH_4 równej lub wyższej niż 90% i zawartości H_2 równej lub niższej niż 5% (aby spełnić wymagania konwencjonalnej sieci gazu ziemnego), konieczne było przeprowadzenie symulacji metanizacji w niestechiometrycznym stosunku H_2:CO_2:CO. Obliczona sprawność proponowanych układów produkcji SNG wynosi od 63.27% do 77.10%.

Analiza wrażliwości granicznej ceny sprzedaży SNG została przeprowadzona dla różnych cen biomasy i energii elektrycznej z OZE. W zależności od rozpatrywanego przypadku i przyjętych cen surowców, obliczone ceny progu rentowności SNG wahały się od 57.9 €/MWh_{SNG} do 137.7 €/MWh_{SNG}. Uzyskane zakresy kosztów produkcji SNG są zgodne z danymi znalezionymi w literaturze.

Można stwierdzić, że analizowane układy power to SNG charakteryzują się wysoką sprawnością i mają potencjał do produkcji SNG, który w przyszłości może stać się konkurencyjny dla konwencjonalnego gazu ziemnego. Oparcie proponowanych układów na procesie elektrolizy przyczynia się również do możliwości bilansowania systemów energetycznych poprzez magazynowanie nadwyżek energii zgromadzonej przez odnawialne źródła energii (OZE).