

Streszczenie

Z uwagi na trwający kryzys klimatyczny, konieczne stało się poszukiwanie paliwa przejściowego, które pozwoli na redukcję emisji dwutlenku węgla do atmosfery podczas dążenia do neutralności klimatycznej. Gaz ziemny został zaproponowany jako takie paliwo, głównie ze względu na niższą emisję zanieczyszczeń w porównaniu z innymi paliwami kopalnymi i dojrzałość technologiczną. Mimo obaw dotyczących przedłużenia globalnej zależności od paliw kopalnych, spowodowanej inwestycjami w technologię skroplonego gazu ziemnego (LNG), niezaprzeczalny jest historyczny wzrost znaczenia tego gazu w energetyce światowej.

Przed wykorzystaniem LNG jako źródła energii konieczna jest jego regazyfikacja. Celem pracy jest teoretyczna oraz eksperymentalna analiza procesu regazyfikacji cieczy kriogenicznej wraz z minimalizacją ryzyka zamarzania czynnika grzewczego oraz określenie wpływu procesu wrzenia błonowego na ogólny proces regazyfikacji.

Cel pracy zrealizowano, przeprowadzając badania teoretyczne i eksperymentalne dwóch typów wymienników do aplikacji mobilnych: wymiennika płaszczowo-rurowego stosowanego w transporcie morskim oraz wymiennika spiralnego dedykowanego do transportu drogowego. Ze względu na konieczność zapobieżenia niekontrolowanemu narostowi warstwy lodu na stronie czynnika grzewczego, którym w przypadku badań eksperymentalnych była woda, wrzenie czynnika kriogenicznego odbywało się w rejonie wrzenia błonowego, charakteryzującego się niskimi współczynnikami przeniesienia ciepła. Wymiennik ciepła został zaprojektowany do regazyfikacji LNG, jednakże jako czynnik roboczy wybrano ciekły azot ze względu na jego właściwości: jest niekorozyjny, stosunkowo tani, chemicznie obojętny, łatwo dostępny, niepalny i nie prezentuje żadnych dodatkowych zagrożeń poza standardowymi właściwościami cieczy kriogenicznej.

Wykazano, że proces wrzenia błonowego generuje największe opory termiczne pod-

czas procesu regazyfikacji i ma więc największy wpływ na całość procesu wymiany ciepła między kriogenem a czynnikiem grzewczym. Kluczowym więc jest zastosowanie odpowiedniego modelu opisującego proces wrzenia, jednakże obszar wrzenia błonowego wciąż nie został w pełni zrozumiany i opisany teoretycznie ze względu na pojawiające się niestabilności przepływowe oraz brak równowagi termodynamicznej między fazami.

Opracowano autorski, dwuwymiarowy model matematyczny wymiennika spiralnego, w którym zaimplementowano powszechnie stosowane wyrażenia dla obliczania liczb kryterialnych w kontekście wrzenia błonowego, opływu rurki oraz współczynników przewodzenia ciepła przez ściankę spirali i przez warstwę lodu. Przeprowadzono walidację opracowanych modeli dzięki uzyskanym wynikom eksperymentalnym, zaproponowano wprowadzenie zmian do istniejących modeli opisujących wrzenie błonowe przy przepływie wymuszonym w temperaturach kriogenicznych i określono miejsce narostu lodu na spirali przy zbyt wysokim strumieniu masowym regazyfikowanego kriogenu, które zostało również potwierdzone eksperymentalnie.

M. Kieda