

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Tytuł: Analiza cieplno-przepływowa zasobnika ciepła ze złożem porowatym przewidzianego do zastosowania w adiabatycznym systemie magazynowania energii w sprężonym powietrzu

Autor: mgr inż. Jakub Ochmann

Promotor: dr hab. inż. Łukasz Bartela, prof. PŚ

Promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Rusin

Transformacja polskiego systemu elektroenergetycznego, ukierunkowana na dekarbonizację sektora wytwórczego, generuje rosnące zapotrzebowanie na wielkoskalowe systemy magazynowania energii elektrycznej. Plan badawczy, stanowiący podstawę niniejszej rozprawy doktorskiej, opracowano w oparciu o opatentowaną koncepcję wykorzystania poeksploatacyjnego szybu górniczego jako rezerwuaru sprężonego gazu w adiabatycznym systemie magazynowania energii w sprężonym powietrzu (A-CAES). Zgodnie z założeniami tej koncepcji, szyb górniczy pełni równocześnie funkcję przestrzeni zabudowy zasobnika ciepła (TES), którego geometria istotnie odbiega od dotychczas stosowanych rozwiązań technologicznych w zakresie swojej smukłości.

Wysoka smukłość zasobnika ciepła o stałym wypełnieniu akumulacyjnym, wynikająca z ograniczonej średnicy szybu górniczego, została zidentyfikowana jako kluczowa luka badawcza. Rozprawa obejmuje trzy główne obszary badawcze: (1) eksperymentalne badania zasobnika ciepła w trzech wariantach geometrycznych, (2) wielowariantowe analizy numeryczne i optymalizację konstrukcji zasobnika TES oraz (3) numeryczne badania adiabatycznego systemu magazynowania energii w sprężonym powietrzu.

Badania eksperymentalne przeprowadzono na autorskim stanowisku pomiarowym, w którego skład wchodziły trzy zasobniki ciepła o identycznej objętości złoża akumulacyjnego, lecz różnej smukłości. Kampania pomiarowa została rozszerzona o badania z zastosowaniem wypełnienia w formie grysłu bazaltowego o dwóch różnych granulacjach. Szeroki zakres konfiguracji stanowiska laboratoryjnego umożliwił szczegółową analizę wpływu parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych – takich jak smukłość zasobnika, granulacja materiału akumulacyjnego oraz strumień masowy nośnika ciepła – na jego charakterystyki operacyjne. Analizie poddano m.in. spadek ciśnienia powietrza w złożu, czas osiągnięcia progowej wartości straty wylotowej, dynamikę przyrostu stopnia naładowania podczas etapu ładowania oraz ewolucję strefy termokliny oraz stref maksymalnej i minimalnej temperatury.

Wielowariantowe badania numeryczne zasobnika ciepła w skali laboratoryjnej przeprowadzono z wykorzystaniem zmodyfikowanego modelu opracowanego w środowisku ANSYS Fluent, którego dokładność potwierdzono w procesie walidacji z wynikami eksperymentalnymi dla wszystkich badanych konfiguracji. Obliczenia numeryczne umożliwiły

rozszerzenie wniosków z badań eksperymentalnych, zwłaszcza w zakresie rozwoju strefy termokliny w funkcji parametrów operacyjnych zasobnika. Wyniki te posłużyły również do określenia sprawności energetycznej i egzergetycznej cyklu zasobnika TES oraz całego układu magazynowania energii.

W procesie optymalizacji przyjęto maksymalizację sprawności egzergetycznej zasobnika TES jako funkcję celu. Wytypowany wariant optymalny poddano analizie cyklicznej pracy, uwzględniającej wpływ ciepła rezydualnego na osiągane sprawności energetyczne i egzergetyczne. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń opracowano metodykę wyznaczania przyjętej wartości stopnia naładowania magazynu, której osiągnięcie umożliwia zakończenie etapu ładowania i ograniczenie straty wylotowej z zasobnika.

Numeryczne badania adiabatycznego systemu magazynowania energii w sprężonym powietrzu przeprowadzono dla trzech modeli różniących się stopniem szczegółowości opisu procesów wymiany ciepła i przepływu powietrza w złożu akumulacyjnym. Uzyskane charakterystyki operacyjne wielkoskalowego zasobnika TES umożliwiły wykonanie wielowariantowych analiz systemu A-CAES.

Wyniki badań eksperymentalnych i numerycznych jednoznacznie wykazały wpływ parametrów charakterystycznych zasobnika ciepła – takich jak jego smukłość i średnica elementów materiału akumulacyjnego – na parametry operacyjne układu. Ponadto oszacowano potencjał implementacji systemów A-CAES z wykorzystaniem poeksploatacyjnych szybów górniczych w Polsce spełniających minimalne wymagania geometryczne. Wykazano, że stworzenie sieci magazynów energii elektrycznej opartych na infrastrukturze pogórnictwa może w istotny sposób przyczynić się do zwiększenia elastyczności i stabilności Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE).