

STRESZCZENIE

Celem rozprawy doktorskiej było opracowanie i walidacja autorskiego algorytmu sterowania magazynowania energii zintegrowanego ze źródłami energii odnawialnej, czyli Hybrydowym Systemem Zasilania (HES). Zadaniem opracowanego algorytmu, opartego na zaproponowanej funkcji celu, była optymalizacja wykorzystania energii zgromadzonej w magazynie na potrzeby własne lub na jej wymianę z siecią, w celu uzyskania najwyższej ceny sprzedaży. Jako dane wejściowe wykorzystano zarówno dane meteorologiczne, jak i informację o zmienności cen energii. Do optymalizacji pracy magazynu zaproponowano podejście hybrydowe wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe typu LSTM i algorytm genetyczny (GA) ze zmodyfikowaną procedurą inicjalizacji populacji. Jako warunki początkowe, algorytm genetyczny (GA) wykorzystuje wyniki otrzymane z rozwiązania algorytmu opartego na regułach (RB). Jak się okazuje, to podejście pozwala na szybsze opracowanie optymalnego harmonogramu pracy magazynu energii w jednodniowym horyzoncie czasowym (Day-Ahead), poprzez eliminację ryzyka początkowej losowości rozwiązań.

Do zrealizowania celu pracy opracowano model matematyczny hybrydowego systemu zasilania złożonego z instalacji fotowoltaicznej, turbiny wiatrowej, magazynu energii i lokalnego obciążenia. W pierwszym etapie porównano skuteczność działania opracowanego algorytmu (GA) z klasycznym sterowaniem opartym na regułach (RB). Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano rzeczywiste dane meteorologiczne oraz dynamikę cen z 15-minutową rozdzielczością dla jednego pełnego roku kalendarzowego. Analiza otrzymanych wyników wykazała, że zastosowanie zaproponowanego algorytmu genetycznego pozwala uzyskać większe korzyści ekonomiczne w stosunku do metody RB, nawet po uwzględnieniu kosztów zużycia magazynu. Wykazano również zdecydowane korzyści wynikające ze wzrostu liczby cykli ładowania i rozładowania magazynu energii, spowodowane inteligentnym arbitrażem cenowym. Jest to ekonomicznie uzasadnione i zdecydowanie przewyższa strategie oparte wyłącznie na wykorzystaniu energii na potrzeby własne. Przeprowadzona analiza wrażliwości wykazała, że oprócz danych meteorologicznych i dynamiki cen energii, również pojemność magazynu oraz stan jego naładowania na koniec dnia, są kluczowymi parametrami, które należy brać pod uwagę.

W kolejnym etapie przeprowadzono walidację działania zaproponowanego algorytmu sterowania wykorzystując dane zebrane z obiektu rzeczywistego. Również w tym przypadku, otrzymane wyniki wyraźnie wskazują, że zaproponowany autorski algorytm harmonogramowania pracy magazynu wpływa na znaczący wzrost zysków ekonomicznych dzięki możliwości wdrożenia dynamicznego arbitrażu cenowego, czego nie są w stanie zapewnić klasyczne algorytmy oparte na regułach.

W tej pracy, do sprawdzenia działania opracowanego algorytmu harmonogramowania wykorzystano magazyn energii elektrycznej. Jest to jeden z przykładów możliwości zastosowania tego algorytmu, ponieważ otrzymane wyniki badań jednoznacznie wskazują, że jest to narzędzie uniwersalne, które może zostać wykorzystane do pracy z dowolnym magazynem energii.

31.01.2026 Bartłomiej Bobrowski