Streszczenie

Tytuł: Inteligentne nadrzędne sterowanie zespołem sprężarek minimalizujące zużycie energii elektrycznej przy zapewnieniu stałości dostaw sprężonego powietrza w kontekście założeń Przemysłu 4.0

Słowa kluczowe: BiLSTM, sprężarki śrubowe, predykcja obciążenia, dedykowana funkcja straty, sterowanie nadrzędne, efektywność energetyczna, asymetryczny koszt, Przemysł 4.0

Sprężone powietrze jest jednym z podstawowych mediów energetycznych w przemyśle, często stanowiąc istotny koszt operacyjny zakładu produkcyjnego. Dyrektywa Unii Europejskiej 2023/1791 nakłada obowiązek ograniczenia zużycia energii elektrycznej, której sprężarki śrubowe są istotnym konsumentem. Jednocześnie Przemysł 4.0 zachęca do rozwoju oraz wykorzystania zbieranych i archiwizowanych danych procesowych w nowy sposób, jakim może być wzbogacenie istniejących systemów sterowania o warstwę predykcyjną, której celem w rozprawie jest minimalizacja zużycia energii elektrycznej w układach sprężonego powietrza.

W celu synchronizacji pracy wielu sprężarek śrubowych zakłady produkcyjne używają sterownika nadrzędnego, który podejmuje decyzję o sekwencyjnym załączaniu lub wyłączaniu maszyn, dostosowując ich liczbę do aktualnego zapotrzebowania na sprężone powietrze. Systemy te, często bazujące na dedykowanych zamkniętych sterownikach lub programowalnych sterownikach logicznych, nie mają wiedzy o cykliczności lub wzorcach zapotrzebowania, jakie występują w danym zakładzie. Skutkiem tego oraz dużej zmienności zapotrzebowania, może być potrzeba utrzymywania maszyn w stanie biegu jałowego, w którym pobierają energię elektryczną jednocześnie nie wytwarzając sprężonego powietrza.

Rozprawa proponuje warstwę predykcyjną systemu sterowania jako wartość dodaną istniejących rozwiązań sterowania nadrzędnego, bazując na dwukierunkowej sieci rekurencyjnej BiLSTM, przewidując stany obciążenia poszczególnych maszyn w zadanym horyzoncie na podstawie przebiegu ciśnienia i stanów historycznych. Zaprojektowane rozwiązanie nie wymaga dodatkowego opomiarowania i korzysta z już dostępnych sygnałów. Praca wprowadza czteroskładnikową funkcję straty, którą można zaadaptować do różnych charakterystyk poboru, z naciskiem na wykrywanie błędów krytycznych (mogących zachwiać stabilność dostaw sprężonego powietrza), które stanowią kryterium walidacji modelu produkcyjnego. Do oceny przyjęte zostały wskaźniki, które zamiast bazować na uśrednionych miarach odchyłek, skupiają się na ocenie decyzji wspierających wyłączenie maszyny przy pojawieniu się stanu odciążenia.

Metodyka została zweryfikowana na 12 obiektach przemysłowych należących do trzech popularnych klas o zróżnicowanej strukturze oraz zapotrzebowaniu. Wdrożenie produkcyjne zostało wykonane na ośmiu obiektach, spośród których cztery nie wchodziły w skład badanych wcześniej. Studium ablacji wykazało, że dwukierunkowość przetwarzania jest warunkiem koniecznym, ponieważ architektury jednokierunkowe mogą degenerować się do przewidywania tylko jednego stanu. Wdrożenia przyniosły redukcję czasu pracy na biegu jałowym sięgającą 83%, przy dwóch obiektach bez poprawy statystycznej. Wskazano również granice stosowania metody oraz wskaźniki pozwalające je rozpoznać. Wdrożenie zaowocowało również wskaźnikiem nadzoru operacyjnego pozwalającego wykryć degradację

modelu.

Wkładem pracy jest funkcja straty wiążąca koszt procesowy z wyborem modelu, zestaw wskaźników oceny odniesionych do zdarzeń decyzyjnych, a także kryteria kwalifikacji obiektu i mechanizm nadzoru operacyjnego.