

Streszczenie

Praca doktorska dotyczy opracowania, budowy oraz oceny w warunkach eksploatacyjnych systemu diagnostycznego do inspekcji wizyjnej szyn i podkładów kolejowych, wykorzystującego wieloczułnikowy układ kamer oraz algorytmy sztucznej inteligencji. System umożliwia automatyczną detekcję powierzchniowych wad oraz ocenę stopnia degradacji szyn i podkładów, zapewniając obiektywną i powtarzalną diagnostykę, stanowiącą alternatywę dla manualnego obchodu torów. Rozwiązanie zostało zaprojektowane jako modułowe i możliwe do instalacji na różnych typach pojazdów szynowych, co pozwala prowadzić inspekcje torów w trakcie standardowych operacji kolejowych bez negatywnego wpływu na przepustowość badanych odcinków torowych.

Celem pracy było opracowanie systemu, który zwiększy skuteczność wykrywania wad o 15–30%, skróci czas inspekcji o 40–50% oraz ograniczy koszty utrzymania infrastruktury o 20–30%. Cele te zweryfikowano poprzez badania laboratoryjne oraz terenowe, w tym testy systemu opracowanego systemu diagnostycznego na linii kolejowej nr 250. Sformułowana hipoteza zakładała, że integracja systemów wizyjnych z algorytmami sztucznej inteligencji zwiększy dokładność diagnostyczną względem tradycyjnych metod stosowanych przez zarządców infrastruktury kolejowej.

Metodyka badań obejmowała zaprojektowanie architektury systemu, budowę układu wieloczułnikowego, opracowanie algorytmów detekcji wad oraz stworzenie autorskiego algorytmu imperatywnego do oceny stopnia degradacji szyn i podkładów. Ten ostatni stanowi jedno z kluczowych osiągnięć pracy i pozwala na ilościową analizę zużycia na podstawie obrazów, bez konieczności identyfikacji konkretnego typu wady. Przeprowadzono kalibrację systemu oraz analizę wpływu parametrów jazdy i warunków środowiskowych na jakość danych. W pracy zawarto także eksperyment porównawczy, w którym efektywność systemu zestawiono z wynikami klasycznego obchodu torów.

Szczególnie istotnym elementem pracy jest autorski wkład, obejmujący opracowanie własnej metody oceny stopnia degradacji szyn i podkładów oraz przygotowanie i realizację badań porównawczych między inspekcją wizyjną, a tradycyjnym obchodem torów. Autor był odpowiedzialny za zdefiniowanie kluczowych wymagań funkcjonalnych systemu, udział w budowie prototypu, pozyskanie i ekspercką ocenę danych oraz opracowanie wskaźników diagnostycznych. Do zadań autora należała także kompleksowa organizacja i realizacja testów eksploatacyjnych, w tym przygotowanie stanowiska pomiarowego, integracja systemu z pojazdem kolejowym oraz

analiza wyników badań. Badania dowiodły, że opracowany system identyfikuje większą liczbę wad niż metoda manualna, w tym wczesne oznaki degradacji, które są trudne do uchwycenia podczas tradycyjnego obchodu. Dzięki temu umożliwia lepsze planowanie utrzymania oraz wcześniejsze reagowanie na postępujące zużycie elementów toru. System zwiększa powtarzalność i obiektywność oceny stanu infrastruktury, redukuje czas inspekcji i ogranicza ryzyko błędów ludzkich. Automatyzacja procesu diagnostycznego poprawia również bezpieczeństwo personelu poprzez ograniczenie konieczności pracy w torze oraz wpływa na redukcję kosztów utrzymania.

Wnioski końcowe wskazują, że inspekcja wizyjna wsparta algorytmami sztucznej inteligencji może stanowić wiarygodne narzędzie diagnostyczne w kolejnictwie i może być świetnym uzupełnieniem tradycyjnej diagnostyki. Opracowany system został pozytywnie zweryfikowany w warunkach rzeczywistych i stanowi istotny krok w kierunku cyfryzacji i automatyzacji procesów utrzymaniowych. Jednocześnie w pracy zidentyfikowano ograniczenia tego typu rozwiązań, wynikające m.in. z wpływu warunków środowiskowych, parametrów ruchu pojazdu czy zmienności charakteru wad. Ograniczenia te otwierają przestrzeń do dalszej dyskusji i rozwoju metod, które zwiększą odporność, stabilność oraz zakres zastosowań systemów wizyjnych w diagnostyce infrastruktury. Rezultaty pracy dostarczają solidnych podstaw do kontynuacji badań, rozszerzenia funkcjonalności systemu oraz jego integracji z platformami zarządzania infrastrukturą kolejową. Praca stanowi oryginalny wkład w rozwój nowych technologii diagnostycznych i ma znaczący potencjał wdrożeniowy w obszarze utrzymania nawierzchni torowej.