Parthkumar Anilbhai Parmar

Dissertation supervisors: prof.dr hab.inż.Anna Burduk, dr hab. Inż. Leszek Jurdziak

Streszczenie

Taśmociągi pracujące w trudnych warunkach górniczych są podatne na uszkodzenia podczas transportu materiału, a awaria odcinka taśmy w obiegu może zakłócić pracę przenośnika, potencjalnie prowadząc do znacznych strat finansowych. Skala tych strat jest bezpośrednio uzależniona od wielkości operacji wydobywczych i ich zdolności produkcyjnej. Celem naukowym niniejszej rozprawy jest opracowanie metody opartej na sztucznej inteligencji (AI) do prognozowania parametrów związanych z uszkodzeniami taśm przenośnikowych, w tym wielkości uszkodzeń i wskaźników ich występowania, z wykorzystaniem charakterystyk eksploatacyjnych oraz historycznych danych dotyczących utrzymania ruchu, pozyskanych ze środowisk górniczych. Celem utylitarnym pracy jest poprawa efektywności operacyjnej kopalń poprzez opracowanie systemu predykcyjnego utrzymania ruchu taśmociągów opartego na AI. Remonty zapobiegawcze oparte na prognozowanym stanie mogą przeciwdziałać poważnym uszkodzeniom i awaryjnym przestojom taśmociągów, a jednocześnie umożliwiają bardziej efektywne wykorzystanie zasobów, wydłużenie żywotności taśmy oraz poprawę bezpieczeństwa, co zapewnia płynne funkcjonowanie procesów wydobywczych.

Dotychczasowe badania [1-6] zidentyfikowały kombinacje parametrów zależnych (wyjściowych) i niezależnych (wejściowych), wpływających na stopień uszkodzeń taśmociągów, takich jak rodzaj transportowanego materiału, długość przenośnika oraz prędkość taśmy. Jednak rzadziej analizowane parametry i dodatkowe czynniki uwzględnione w niniejszej rozprawie — zidentyfikowane przy użyciu diagramu Ishikawy w ramach analizy przyczyn źródłowych — obejmują nachylenie przenośnika i konfigurację trasy (stałą lub przesuwaną), a także rodzaj transportowanego materiału (nadkład, węgiel brunatny i jego mieszaniny oraz wapień).

W rozprawie opracowano i zweryfikowano metodę predykcyjną opartą na sieciach neuronowych typu long short-term memory (LSTM) do prognozowania wielkości i charakterystyk uszkodzeń taśmociągów w górnictwie odkrywkowym. Wykorzystano dwa niezależne zbiory danych empirycznych: (i) bazę danych inspekcji wizualnych z jednej z kopalń węgla brunatnego (927 rekordów, 11 zmiennych wejściowych opisujących geometrię taśmy, transportowany materiał, wiek i historię napraw; 5 zmiennych wyjściowych związanych z uszkodzeniami) oraz (ii) bazę danych skanów magnetycznych DiagBelt+ z jednej z kopalń wapienia w Polsce (≈929 rekordów,

6 wejść, 5 wyjść). Metoda została opracowana i zweryfikowana przy użyciu subiektywnych danych historycznych z inspekcji wizualnych (w której stosowane są przenośniki proste) oraz obiektywnych danych z oceny stanu rdzenia taśmy, uzyskanych dzięki diagnostyce magnetycznej systemu DiagBelt+ podczas kolejnych skanów (w kopalni wapienia, w której stosowany jest bardzo długi przenośnik krzywoliniowy).

Parametry zależne uwzględnione w rozprawie obejmują liczbę przeciętych linek w rdzeniu, skumulowaną liczbę napraw, całkowitą liczbę uszkodzeń w odcinkach, gęstość uszkodzeń (liczbę uszkodzeń na metr taśmy w odcinku), powierzchnię i wymiary uszkodzeń (długość i szerokość zarejestrowanych sygnałów uszkodzeń) oraz czas wystąpienia tych zdarzeń. Modele prognozowały w szczególności wskaźniki stanu taśmy, takie jak liczba napraw, liczba przeciętych linek stalowych oraz geometria uszkodzeń (długość, szerokość, powierzchnia).

Metoda została zaimplementowana w Pythonie/TensorFlow i przetestowana z wykorzystaniem różnych hiperparametrów (np. 3 warstwy ukryte z 36 neuronami, rozmiar partii 16, optymalizatory Adam/Nadam/ RMSprop, funkcje aktywacji ReLU lub Swish). W rozprawie omówiono uzasadnienie wyboru algorytmu sieci LSTM w porównaniu z innymi popularnymi podejściami modelowania, a także decyzje dotyczące doboru hiperparametrów podczas uczenia sieci. Ewaluacja obejmowała trzy wskaźniki błędów względnych oraz wiele podziałów na zbiory treningowe i testowe. Dla danych DiagBelt+ mediany błędów względnych wyniosły ≈55% dla długości uszkodzeń i ≈60% dla szerokości; dla danych z inspekcji wizualnych najlepsze modele osiągnęły mediany błędów na poziomie ≈33% dla zmiennych związanych z wiekiem i naprawami. Ponadto modele zostały rozszerzone na prognozowanie przyszłościowe poprzez zastosowanie rekurencyjnego podejścia modelowania, co wykazało ich zdolność do dostarczania wiarygodnych informacji, mogących wspierać planowanie działań konserwacyjnych i naprawczych.

Badanie dowodzi, że zaproponowane podejście oparte na LSTM może wspierać predykcyjne utrzymanie ruchu taśmociągów, jednocześnie podkreślając wpływ jakości danych i długości odcinka taśmy na dokładność prognoz. Wszystkie zagadnienia omówione w rozprawie — w tym znaczenie taśmociągów w górnictwie, ich charakterystyka konstrukcyjna, występowanie uszkodzeń podczas transportu materiału oraz wybór odpowiednich algorytmów uczenia maszynowego — zostały przedstawione w kontekście literatury międzynarodowej, z uwzględnieniem zarówno perspektywy historycznej, jak i najnowszych osiągnięć badań naukowych.

References:

[1] P. Bortnowski,W. Kawalec, R. Krol, and M. Ozdoba, "Types and causes of damage to the conveyor belt – review, classification and mutual relations," Engineering Failure Analysis, vol. 140, p. 106 520, 2022, ISSN: 1350-6307. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2022.106520

[2] J. Ji, C. Miao, and X. Li, "Research on the energy-saving control strategy of a belt conveyor with variable belt speed based on the material flow rate," PLoS One, vol. 15, no. 1, e0227992, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0227992

[3] K. N. S. Ananth, V. Rakesh, and P. K. Visweswarao, "Design and selecting the proper conveyor-belt," International Journal of Advanced Engineering Technology, vol. 4, no. 2, pp. 43–49, 2013.

[4] M. Andrejiova, A. Grincova, and D. Marasova, "Measurement and simulation of impact wear damage to industrial conveyor belts,"Wear, vol. 368-369, pp. 400–407, 2016, ISSN: 0043-1648. DOI: 10.1016/j.wear.2016.10.010

[5] H. KomAnder, M. Hardygora, M. Bajda, G. Komander, and P. Lewandowicz, "Assessment methods of conveyor belts impact resistance to the dynamic action of a concentrated load," Eksploatacja i Niezawodno´s´c, vol. 16, no. 4, pp. 579–584, 2014.

[6] M. Bajda, R. Bła ˙ zej, and L. Jurdziak, "Analysis of changes in the length of belt sections and the number of splices in the belt loops on conveyors in an underground mine," Engineering Failure Analysis, vol. 101, pp. 436–446, 2019, ISSN: 1350-6307. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.04.003

