Streszczenie

Rozwój cyfryzacji oraz systemów monitoringu konstrukcji prowadzi do coraz szerszego wykorzystania cyfrowych bliźniaków w inżynierii lądowej. Ich podstawową ideą jest powiązanie rzeczywistego obiektu z jego wirtualnym odpowiednikiem, umożliwiając bieżącą analizę pracy konstrukcji oraz identyfikację zjawisk zachodzących podczas eksploatacji. Podejście to nabiera szczególnego znaczenia w przypadku obiektów mostowych, które coraz częściej zaliczane są do infrastruktury o znaczeniu strategicznym.

Pomimo dynamicznego rozwoju cyfrowych bliźniaków, w literaturze nadal nie funkcjonuje jedna powszechnie akceptowana definicja tego pojęcia. Dostępne badania koncentrują się na różnych aspektach procesu ich budowy, podkreślając jednak konieczność integracji danych pomiarowych, modeli numerycznych oraz algorytmów wspomagających podejmowanie decyzji. Jednym z kluczowych wyzwań pozostaje natomiast identyfikacja rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych działających na konstrukcję. W niniejszej rozprawie przedstawiono metodykę rozwiązania tego problemu, traktując proces identyfikacji obciążeń jako jeden z podstawowych elementów warstwy informacyjnej cyfrowego bliźniaka.

Badania przeprowadzono na przykładzie mostu łukowego zlokalizowanego w Wolinie, na którym zainstalowano system monitoringu odkształceń. W tym celu wykorzystano czujniki światłowodowe bazujące na technologii siatki Bragga, realizując pomiar w trzech przekrojach zlokalizowanych w $1/4$, $1/2$ oraz $3/4$ rozpiętości przęsła. Szczególną uwagę poświęcono lokalizacji punktów pomiarowych, przeprowadzając teoretyczną analizę statyczną. Wyznaczone linie wpływu poprzecznic wykazały, że możliwa jest identyfikacja pojazdów znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie analizowanego przekroju, bez zaburzania wyników przez pojazdy stojące w dalszej odległości. Taka cecha konstrukcji pozwoliła na trzykrotny niezależny pomiar masy tego samego pojazdu podczas przejazdu przez obiekt.

W kolejnym etapie przeprowadzono badania pod próbnym obciążeniem, obejmujące schematy statyczne oraz dynamiczne. Pozyskane dane wykorzystano do identyfikacji modelu numerycznego, na podstawie którego wygenerowano zbiór danych treningowych. Posłużył on do uczenia modeli sieci neuronowych, wykorzystywanych w procesie ważenia pojazdów w ruchu. Opracowane rozwiązanie zwalidowano na danych obejmujących różne scenariusze ruchu, uzyskując średnie wartości MAPE dla przejazdów losowych na poziomie 7 – 8 %. Uzyskane wyniki potwierdziły możliwość integracji danych pomiarowych, modeli numerycznych oraz algorytmów uczenia maszynowego w ramach warstwy informacyjnej cyfrowego bliźniaka, umożliwiając tym samym identyfikację rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych.

17.06.2026