

## **Analiza stateczności toru kolejowego w łuku o małym promieniu**

mgr inż. Dorota Błaszkiwicz-Juszczęć

### **Streszczenie**

Podjęcie tematyki stateczności toru kolejowego związane jest z wciąż obowiązującymi znacznymi ograniczeniami w zakresie stosowalności toru bezстыkowego. Ograniczenia te dotyczą w głównej mierze konstrukcji nawierzchni kolejowej w łukach o małych promieniach i wynikają z przyjętych regulacji prawnych. Przepisy i wytyczne ściśle regulują wielkości minimalnych łuków kołowych dla różnych typów konstrukcji nawierzchni, jednak nie precyzują zasad ich doboru. Do tej pory nie opracowano metod oraz narzędzi pozwalających na określenie warunków bezpiecznej eksploatacji toru bezстыkowego – prezentowana praca przedstawia metody oceny różnych sposobów zwiększenia stateczności położenia toru w łukach kołowych o małym promieniu.

W rozprawie autorka przedstawiła przegląd podstawowych problemów eksploatacji nawierzchni w łukach o małych promieniach wraz z przeglądem doświadczeń eksploatacyjnych i badań doświadczalnych. W przeglądzie opisano jakie obciążenia termiczne występują w nawierzchni kolejowej. Opisano problemy związane z występującym zużyciem szyn czy degradacją przytwierdzeń, a także poruszono problem nierówności pionowych, jakie mogą wystąpić w torze kolejowym w trakcie jego eksploatacji. Autorka dodatkowo skupiła się na opisie zagadnień związanych ze sztywnością ramową rusztu torowego oraz oporem poprzecznym podsypki, jako parametrów opisujących zachowanie się konstrukcji toru. Ponadto przedstawiono przegląd dotychczas stosowanych modeli obliczeniowych, a także metod wzmocnienia nawierzchni z uwagi na zastosowanie toru bezстыkowego.

W dysertacji opisano dwa nowe, innowacyjne sposoby wzmocnienia konstrukcji nawierzchni kolejowej w łuku o małym promieniu. Jedno z przedstawionych rozwiązań zostało opatentowane i oczekuje na wdrożenie. Autorka była jednym z członków zespołu naukowego odpowiedzialnego za projekt oraz przygotowanie i przeprowadzenie badań laboratoryjnych i pół-poligonowych tych rozwiązań. Oba rozwiązania powstały na Politechnice Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki w Katedrze Dróg Kolei i Inżynierii ruchu.

W ramach pracy przeprowadzono również analizy teoretyczne i numeryczne. Analizy teoretyczne dotyczyły stateczności toru w łuku o małym promieniu z uwzględnieniem różnych wartości zastępczego momentu bezwładności oraz oporu poprzecznego podsypki – wartości te przyjęto jako stałe na całej długości zniekształconego odcinka. Analizy dotyczą zarówno ścieżki przedkrytycznej, jak i ścieżki niestatecznej wyboczeniowej. Efekt krzywizny, promienia łuku, wprowadzono poprzez zmniejszenie wartości oporu poprzecznego. Obciążenie układu stanowi przyrost siły termicznej w szynach wynikający z przyrostu temperatury ponad temperaturę przytwierdzenia szyn do podkładów oraz wynikający z możliwych trwałych przemieszczeń wzdłużnych toru, czyli tzw. ekwiwalentny przyrost temperatury. Przedstawiony

model pół-analityczny pozwolił na określenie przyrostu minimalnej temperatury wyboczeniowej  $\Delta T_{\min}$  dla danych parametrów geometrycznych i mechanicznych nawierzchni kolejowej. Dodatkowo zaproponowano taką modyfikację przyjętego modelu obliczeniowego, która pozwala na wprowadzenie zmiennego na długości analizowanego odcinka oporu poprzecznego podsypki – co odzwierciedla praktyczną sytuację wstępowania odcinków toru z osłabieniem lub wzmocnieniem podsypki. Analizy te wykonano dla różnych długości odcinka, na którym wystąpiło wyboczenie, dla różnych wartości oporów podsypki w płaszczyźnie poziomej, uwzględniając różne typy nawierzchni kolejowych.

W zakresie analiz numerycznych na podstawie przyjętego modelu numerycznego przeprowadzono identyfikację parametrów (oporu poprzecznego podsypki oraz sztywności zginania rusztu torowego) pół-analitycznego modelu stateczności toru w oparciu o eksperymenty numeryczne. W modelu numerycznym zastosowano ekstrapolację wyników badań doświadczalnych w odniesieniu do oporów przytwierdzenia szyny do podkładu: oporu wzdłużnego oraz oporu na skręcanie, a także oporów podsypki: oporu wzdłużnego oraz oporu poprzecznego. Szyny i podkłady opisano jako ciała 2D o rzeczywistych właściwościach sprężystych. Wymuszając obciążenia poprzecznego układu, na podstawie bilansu energetycznego wyznaczono zidentyfikowane parametry oporu poprzecznego i sztywności ramowej przy minimalizacji różnicy pomiędzy pracą siły zewnętrznej i energii sprężystej układu. Przeprowadzone analizy pozwoliły na udowodnienie zgodności przyjętych parametrów.

Najistotniejszą część pracy stanowią kryteria oceny efektywności różnych sposobów wzmocnienia konstrukcji nawierzchni w łuku kołowym z uwagi na jego stateczność. W dysertacji przedstawiono dwa kryteria. Pierwsze z nich dotyczy wyznaczenia przyrostu minimalnej temperatury wyboczeniowej  $\Delta T_{\min}$ , poniżej którego eksploatacja toru bezстыkowego o zadanej konstrukcji jest zupełnie bezpieczna. Drugie kryterium, stanowiące wkład autorski, dotyczy bezpieczeństwa eksploatacji toru bezстыkowego przy przyroście temperatury powyżej  $\Delta T_{\min}$ . Kryterium to stanowi nowe rozwiązanie w aspekcie analiz określających możliwości eksploatacji toru bezстыkowego. Polega ono na tym, że określono możliwość przesunięcia toru z konfiguracji statecznej na niestateczną, biorąc pod uwagę bilans energetyczny, to znaczy możliwość przemieszczenia toru pod wpływem przejeżdżającego pociągu. W bilansie uwzględniono pracę sił poprzecznych pociągu (dla konkretnej konfiguracji pojazdu) na przemieszczenie toru, energię zginania ramy torowej, pracę przesunięcia toru pod podsypką oraz ubytek energii ściskania. Analizy te pozwoliły na udowodnienie, że w szerokim zakresie zmienności parametrów możliwa jest eksploatacja toru bezстыkowego przy przyroście temperatury powyżej  $\Delta T_{\min}$ .