

KONCEPCJA OCENY JAKOŚCIOWEJ UKŁADU POJAZD-TOR NA PODSTAWIE ODPOWIEDZI DYNAMICZNEJ POJAZDU

Julian Kominowski

mgr inż., Zakład Pojazdów Szynowych, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska, Ul Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. 61 665 2841

Streszczenie. W niniejszym artykule przedstawiono koncepcję jakościowej oceny dynamiki układu pojazd-tor na podstawie odpowiedzi dynamicznej pojazdu pomiarowego. Opisano podstawowe wymagania i założenia dotyczące przedstawionego eksperymentu oceny jakościowej. Ukazano system pomiarowy sygnałów wibroakustycznych wraz z miejscem zamontowania czujników pomiarowych. Dodatkowo do pełnej oceny jakościowej zaproponowano porównanie wyników pomiarowych z, jednocześnie zmierzonej metodą pośrednią, geometrią toru kolejowego.

Słowa kluczowe: ocena stanu toru, diagnostyka, pojazd kolejowy

1. Wstęp

Poprawa bezpieczeństwa oraz należyte utrzymywanie stanu technicznego toru kolejowego są głównymi zagadnieniami poprawnego funkcjonowania transportu szynowego. Częste monitorowanie stanu technicznego torów kolejowych ma istotne znaczenie nie tylko dla zarządcy infrastruktury, ale przede wszystkim dla przewoźników towarów i ludzi. Wczesne ujawnienie usterek lub nieprawidłowości jest podstawą do sporządzenia syntetycznych ocen stanu torów mających bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo prowadzonego ruchu kolejowego.

Przeprowadzone analizy istniejącego stanu monitorowania infrastruktury wykazały, iż główny zarządca infrastruktury w Polsce, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., przeprowadza badania pojazdami pomiarowymi maksymalnie cztery razy do roku, zależnie od ustalonych maksymalnych prędkości na danej linii kolejowej [8]. Dodatkowo na wyposażeniu Centrum Diagnostyki PLK S.A. znajdują się dwa pojazdy pomiarowe do pomiarów pośrednich infrastruktury kolejowej, wyposażone w automatyczną rejestrację i analizę wyników. Podstawowe pomiary geometrii toru przez pojazdy pomiarowe wykonywane są metodami klasycznymi, w przeciwieństwie do obecnie stosowanych technologii pomiarowych.

Do pomiarów pośrednich linii kolejowych w Polsce używane są dwie bliźniacze drezyny pomiarowe serii EM120 wyprodukowane przez firmę Plasser & Theurer

w latach 80. poprzedniego wieku. Pomiar geometrii oraz oceny stanu toru odbywa się metodą pośrednią.

Drezyna pomiarowa porusza się na trzech wózkach, w tym tylko jeden jest napędzany za pomocą półautomatycznej przekładni hydrokinetycznej. Spalinowy silnik trakcyjny umieszczony jest w przedziale maszynowym na pojeździe. Na każdym wózku zamontowana jest rama pomiarowa, na której umieszczone są siłowniki pneumatyczne, za pomocą których opuszczone są ślizgi pomiarowe do wewnętrznych stron główki szyny. Kolejno do każdego ślizgu pomiarowego przymocowane są po dwa czujniki suwakowe, które dokonują pomiarów różnicy odległości, w stosunku do pozycji wzorcowej, w dwóch osiach: poziomej i pionowej. Wzorcowanie układu pomiarowego odbywa się w bazie technicznej podczas przerw pomiędzy wyjazdami pomiarowymi.



Fot. 1. Drezyna pomiarowa EM120 z wagonem socjalnym

W czasie dokonywania pomiarów opuszczone ślizgi pomiarowe poruszają się po wewnętrznej stronie toków szynowych, ok. 15 mm poniżej główki szyny. Wyniki pomiarów geometrii toru pokazywane są na monitorach w dwóch kabinach pojazdu, niezależnie od kierunku jazdy. Obsługa drezyny pomiarowej składa się z trzech osób: mechanika prowadzącego pojazd, diagnosty reagującego na elementy infrastruktury kolejowej, przejazdu, urządzenia kolejowe mające wpływ na dokonywany pomiar oraz diagnosty sprawującego nadzór nad prawidłowym działaniem systemu pomiarowego. Dodatkowo podczas pomiarów obecny jest również diagnosta linii kolejowej, na której dokonywany jest pomiar. Podczas pomiarów na bieżąco drukowane są wykresy ukazujące mierzone parametry geometrii toru. Wersja elektroniczna wykresów dostępna jest wyłącznie w Centrum Diagnostyki, wyjątkiem są główni diagnosty w poszczególnych Zakładach Linii Kolejowych Polskich Linii Kolejowych mający dostęp do tych informacji, jednakże często na swoim wyposażeniu nieposiadający odpowiedniego oprogramowania do wczytania i analizy wyników. Zwrócono uwagę na sposób upowszechniania zebranych wyni-

ków pomiarowych. Drukowane wykresy geometrii toru przekazywane są w jednej kopii bezpośrednio do diagnosty odpowiedzialnego za dany odcinek pomiarowy, który przekazuje je do głównego diagnosty danego Zakładu Linii Kolejowych. Druga kopia wydruku przewożona jest do archiwum Centrum Diagnostyki, razem z wersją elektroniczną. Tabele pokazujące usterki i nieprawidłowości [8] wykazane w trakcie pomiarów geometrii wysyłane są, przez jedną z osób obsługujących, do głównego diagnosty po zakończeniu wszystkich pomiarów przewidzianych w danym dniu pracy.

Na terenie Polskich Linii Kolejowych przeprowadzane są pomiary geometrii toru metodami pośrednimi i bezpośrednimi. Dodatkowo jednostki badawcze prowadzą badania [np. 1, 2, 3, 6, 11] odpowiedzi dynamicznej na podstawie drgań na różnego rodzaju pojazdach kolejowych na infrastrukturze o dobrym stanie technicznym (tor testowy, magistrala kolejowa). Prowadzono również badania symulacyjne zachowania wybranych modeli pojazdów [9, 10, 11]. Eksperyment zakłada pomiar odpowiedzi dynamicznej pojazdu pomiarowego podczas prowadzenia pomiarów geometrii toru kolejowego na linii kolejowej o mieszanym ruchu pociągów.

2. Cel badań

Głównym założeniem jest podjęcie jakościowej oceny stanu toru na podstawie odpowiedzi dynamicznej pojazdu kolejowego. Dla uzyskania takiego celu zostaną wykorzystane pomiary geometrii i oceny stanu toru wykonane metodą pośrednią przez drezynę pomiarową. Dodatkowo podczas jazd pomiarowych na wybranym odcinku infrastruktury kolejowej zostanie zamontowany niżej przedstawiony system pomiarowy sygnałów wibroakustycznych. W czasie badań poligonowych dojdzie do jednoczesnego pomiaru geometrii toru oraz pomiaru drgań przez zespół badaczy z Politechniki Poznańskiej. Po przeprowadzeniu badań poligonowych zostanie dokonane porównanie wyników pomiaru geometrii toru z wynikami zmierzonych sygnałów wibroakustycznych na wybranym odcinku infrastruktury w celu sprawdzenia geometrii toru oraz miejsc, w jakich doszło do przekroczenia dopuszczalnych wartości przyspieszeń [4]. Dodatkowo po analizie wyników planowane jest stworzenie dokumentacji fotograficznej pokazującej rzeczywisty stan miejsc, w jakich doszło do ich przekroczenia. W czasie badań przyspieszeń drgań w różnych częściach pojazdu pomiarowego planowane jest rozpoznanie takich nierówności toru jak pęknięcia szyn [1], korugację [7] czy lokalną zmianę sztywności toru. Porównanie wyników jakościowej oceny stanu toru nastąpi na wybranym odcinku infrastruktury kolejowej po dokonaniu pomiarów. Odcinek powinien w sobie zawierać przynajmniej dwa odwrotne łuki z przechyłką oraz jeden obiekt inżynierski mający wpływ na dokonany pomiar (np. rozjazd, przejazd drogowy). Badania będą przeprowadzane w trakcie normalnej eksploatacji pojazdu pomiarowego. Jazdy pomiarowe będą odbywały się na jednej z linii kolejowych o mieszanym ruchu kolejowym. Otrzymane wyniki będą odnosiły się do stanu

technicznego toru, po którym będą odbywały się jazdy pomiarowe. Dodatkowo zostanie podjęta próba oszacowania wpływu nierówności toru, zmierzona na podstawie przyspieszeń drgań badanych elementów pojazdu, na wyniki pomiaru geometrii i syntetycznej oceny stanu toru. Jakościowa ocena stanu toru sporządzona na podstawie zarejestrowanych przyspieszeń drgań będzie poddana konfrontacji ze zmierzoną geometrią toru kolejowego. Pozwoli to na określenie wielkości drgań z bieżącą geometrią toru.

3. Podstawowe założenia i wymagania systemu pomiarowego

Biorąc pod uwagę techniczne i ekonomiczne możliwości przeprowadzenia eksperymentu przyjęto następujące założenia funkcjonalne:

- podstawowym nośnikiem informacji będą sygnały wibroakustyczne,
- do monitorowania stanu toru wykorzystana będzie oś toczna pojazdu badawczego na wózku tocznym, rama wózka oraz pudło pojazdu pomiarowego,
- montaż, demontaż oraz kalibracja urządzeń pomiarowych powinna przebiegać bez trudności i zakłóceń pracy pojazdu pomiarowego oraz z zachowaniem bezpieczeństwa pracy osób z zespołu badawczego,
- pozycjonowanie oraz prędkość pojazdu będzie ustalane przy pomocy urządzenia GPS, co pozwoli na zsynchronizowanie pomiarów z wynikami pochodzącymi z drezyny pomiarowej,
- ocena stanu toru będzie wyłącznie pod kątem jakościowym, sprawdzane będzie wyłącznie przekroczenie dopuszczalnych poziomów odpowiedzi dynamicznej elementów pojazdu,
- miary progowe pochodzą z [13] oraz [4],
- system pomiarowy w żaden sposób nie będzie wpływał na działanie drezyny pomiarowej, w tym na pomiary geometrii i oceny stanu toru.

Koncepcyjny system pomiarowy stanu toru kolejowego powinien pozwolić na zlokalizowanie oraz ocenę jakościową następujących zjawisk:

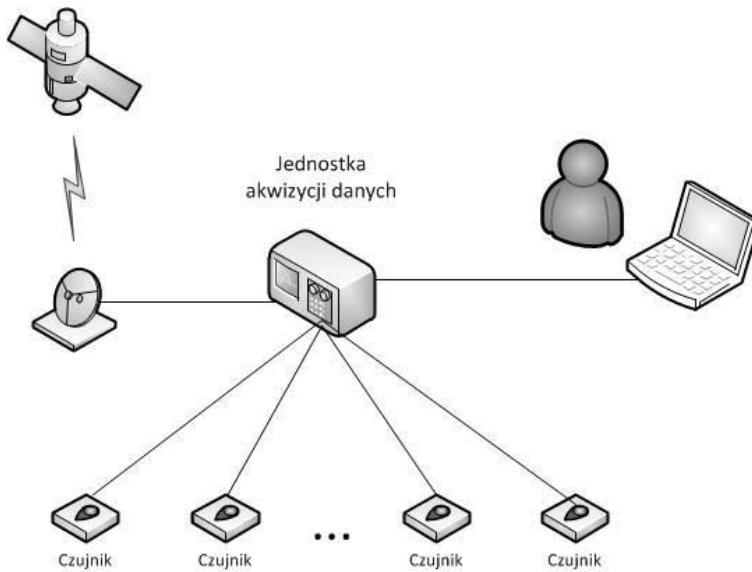
- pęknięcia szyn,
- lokalne odkształcenia podtorza i podsypki tłuczniowej,
- korugację toków szynowych,
- porównanie geometrycznej oceny stanu toru z wynikami sygnałów wibroakustycznych.

4. Półkładowy system pomiarowy

Zadaniem systemu półkładowego jest rejestracja i przesyłanie sygnałów pomiarowych pochodzących z czujników zamontowanych w różnych częściach kolejowego pojazdu pomiarowego. Zebrane wartości pozwolą na oszacowanie jakościowego stanu toru na podstawie analizy rejestrowanych wartości chwilowych wybranych miar statystycznych oraz trendów występujących w zgromadzonych informacjach.

Poprawne działanie urządzeń pomiarowych ma decydujący wpływ na przebieg oraz rezultat planowanych badań, dlatego ważne jest staranne dobranie komponentów dla zapewnienia odpowiedniej niezawodności. W doborze należy również uwzględnić trudne warunki, w których dochodzi do montażu urządzeń takie jak bocznicą kolejową, niewielka ilość czasu przewidziana na montaż oraz nieprzewidywalne warunki atmosferyczne, w których może być prowadzone doświadczenie. Podzespoły wchodzące w skład systemu pomiarowego powinny zapewnić wymaganą częstotliwość i dokładność pomiarów, jak również odpowiednią niezawodność i przepustowość łączy. Odnosi się to zarówno do doboru sprzętu jak i oprogramowania komputerowego.

Zadaniem systemu zamontowanego na pojeździe pomiarowym jest zbieranie oraz akwizycja danych z poszczególnych czujników i modułów pomiarowych rozmieszczonych w różnych częściach drezyny. Architektura przedstawianego rozwiązania powinna cechować się łatwością montażu, dużą przepustowością informacji i powinna być oparta na strukturze wielu komunikujących się czujników i modułów [6]. Na rys. 1 pokazano architekturę systemu montowanego na pojeździe pomiarowym.



Rys. 1. Architektura podstawowego systemu pomiarowego

Do zmierzenia odpowiedzi dynamicznej pojazdu na podstawie pomiarów sygnałów wibroakustycznych zdecydowano się na wykorzystanie następujących modułów i czujników pomiarowych:

- czujniki pomiarowe umieszczone w miejscu pomiaru,
- jednostka rejestracji i akwizycji danych pomiarowych,
- jednostka pozycjonowania pojazdu odpowiedzialna za określenie fizycznego położenia geograficznego pojazdu oraz prędkości pojazdu,

- komputer pozwalający na bezpośredni wgląd do rzeczywistych wyników pomiarów.

5. Czujniki pomiarowe

System pomiarowy składa się z czujników dokonujących pomiarów drgań w różnych częściach pojazdu. Wszystkie czujniki w czasie rejestracji będą przysyłać rzeczywiste wyniki bezpośrednio do modułu akwizycji danych.

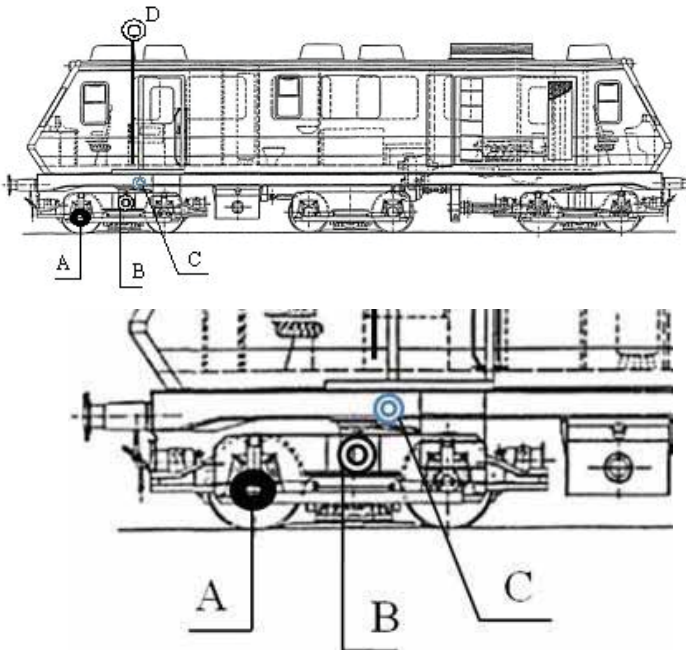
Na podstawie analizy literaturowej [np.1, 2, 3, 6, 7, 9, 12, 14], doświadczenia oraz postawionego celu badań stwierdzono, że optymalnymi lokalizacjami do zamontowania czujników pomiarowych będą miejsca:

- obudowa łożysk tocznych osi,
- rama zewnętrznego wózka tocznego, w centralnej części podłużnicy,
- pudło pojazdu, miejsce pod podłogą w okolicy czopu skrzytu.

W omawianym eksperymencie zastosowane będą następujące typy czujników:

- trójosiowe czujniki przyspieszeń drgań na obudowie łożysk tej samej osi z dwóch stron pojazdu,
- czujniki inklinometryczne na ramie wózka (pomiar pochylenia),
- trójosiowe czujniki przyspieszeń drgań zamontowane w centralnej części podłużnicy z dwóch stron ramy wózka.

Na rys. 2 przedstawiono miejsca zamontowania omówionych czujników.



Rys. 2. Rozmieszczenie czujników pomiarowych, A-czujnik zamontowany na obudowie łożyska osi, B-czujnik na ramie wózka, C-czujnik na pudle pojazdu, D-nadajnik GPS

Zdecydowano się na zamontowanie czujników pomiarowych na wózku tocznym ze względu na umiejscowienie zespołu napędowego. Bliskość przedziału maszynowego oraz elementów układu napędowego i związane z nim wibracje przypuszczalnie będą decydować o wartościach wyników pomiarowych. Biorąc pod uwagę fakt, że drezyna pomiarowa jest dwukierunkowa, dlatego podczas prowadzonego badania nie jest możliwe przewidzenie kierunku jazdy. Moduł GPS będzie umiejscowiony w przedziale pasażerskim drezyny, w najbliższej okolicy czopu skrzyżowania nad wózkiem pomiarowym. Pozwoli to na jak najdokładniejsze zlokalizowanie miejsc, w których dojdzie do przekroczenia założonych wartości granicznych drgań.

Podjęto decyzję o zamontowaniu czujników trójosiowych, jednak na potrzeby badań wykorzystane zostaną pomiary tylko z drgań pionowych i poprzecznych. Inklinometr zostanie wykorzystany do pomiaru pochyłeń poprzecznych.

Prędkość pojazdu szynowego w trakcie pomiarów będzie rejestrowana przez moduł GPS, jednak nadal rozpatrywany jest dodatkowy pomiar obrotu osi lub, w miarę możliwości technologicznych, podpięcie się do prędkościomierza drezyny pomiarowej. Warto zwrócić uwagę, iż w wynikach pomiarowych geometrii toru rejestrowana jest również prędkość pojazdu podczas dokonywania pomiarów.

6. Analiza wyników

Do odczytu wyników geometrii toru kolejowego na wybranym odcinku pochodzących z drezyny pomiarowej EM120 posłużył program „GeoTec System App”, którego producentem jest firma P.U.T. GRAW Sp. z o.o. z Gliwic. Producent z Gliwic jest również wykonawcą całego systemu pomiarowego zamontowanego na drezynach pomiarowych będących w dyspozycji Centrum Diagnostyki Polskich Linii Kolejowych S.A. w Warszawie. Wyniki w formie graficznej oraz tabelarycznej z wykazem miejsc niebezpiecznych dla ruchu oraz lokalizacją obiektów inżynierskich i innych wpływających na dokonywany pomiar, będą analizowane w zamienionej postaci wspólnie z wynikami pochodzącymi od czujników przyspieszeń drgań oraz inklinometrów. Dodatkowo program pozwala na przekonwertowanie wyników w postać arkuszy kalkulacyjnych, dzięki czemu możliwe będzie ich wprowadzenie do programu modelującego i wykonanie symulacji zachowania modeli pojazdów szynowych po torze o określonej geometrii. Do wykonania symulacji wykorzystane zostaną tylko wyselekcjonowane odcinki badanego toru po szczegółowej analizie wyników. W wyznaczonych miejscach, w których szczególnie dostrzeżono przekroczenie wartości granicznych, planowana jest inspekcja środowiskowa wraz z wykonaniem szczegółowej dokumentacji fotograficznej. Warto odnotowania będą aktualne warunki atmosferyczne panujące w trakcie prowadzonych badań. Cennymi informacjami mogą okazać się także dane techniczne linii kolejowej, na której przeprowadzono eksperyment, takie jak nośność podtorza, rodzaj badanych szyn, historia napraw w założonym okresie czasu mających

wpływ na otrzymane wyniki oraz obciążenie przewozami w ciągu roku lub od ostatniej modernizacji z uwzględnieniem jej zakresu.

7. Wnioski

W niniejszym artykule przedstawiono podstawowe wymagania dla projektowanego systemu pomiaru odpowiedzi dynamicznej kolejowego pojazdu szynowego w zależności od geometrii i oceny syntetycznej stanu toru. Przytoczono założenia i zasadę działania opisanego projektu badawczego. Dla proponowanego rozwiązania systemu pomiarowego zasugerowano użycie współczesnych oraz dostępnych technologii informatycznych i sprzętowych. Zastosowanie jednostki akwizycji danych z szeregiem dodatkowych wolnych portów przyłączeniowych pozwala na ewentualną rozbudowę opisanego systemu o dodatkowe urządzenia.

Zagwarantowano małe prawdopodobieństwo awaryjności oraz dużą dokładność otrzymywanych danych pomiarowych przy komforcie i wygodzie obsługi systemu. Poprzez otwartość systemu i możliwość dołączenia kolejnych urządzeń, naturalne wydaje się w przyszłości zwiększenie jego funkcjonalności. Eksperyment jest wstępem do pracy doktorskiej autora, której celem będzie opracowanie metody umożliwiającej przewidywanie tempa degradacji toru kolejowego w zależności od warunków jego eksploatacji.

Literatura

- [1] Bogacz R., Czyczuła W., Konop J., Monitorowanie stanu toru pojazdami szynowymi wyposażonymi w czujniki przyspieszeń na korpusach łożysk zestawów kołowych. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, 3(99)/2012.
- [2] Bogacz R., Grzyb A., Tokaj P., Monitorowanie stanu pojazdu i toru na podstawie pomiaru przyspieszeń na korpusach łożysk zestawu kołowego. Czasopismo techniczne Politechniki Krakowskiej, 2-M/2011.
- [3] Bruni S., Goodall R., Mei T. X., Tsunashima H., Control and monitoring for railway vehicle dynamics. *Vehicle System Dynamics*, vol.45, July-August 2007.
- [4] Chudzikiewicz A., Monitorowanie stanu układu dynamicznego pojazd szynowy-tor. Wyd. Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
- [5] Esveld C., *Modern railway track*. Delft University of Technology 2001.
- [6] Firlík B., Chudzikiewicz A., Koncepcja systemu monitorowania stanu technicznego lekkiego pojazdu szynowego. *Czasopismo techniczne Politechniki Krakowskiej*, 2-M/2011.

- [7] Firlik B., Czechyra B., Symulacyjne podstawy metody monitorowania stanu technicznego toru tramwajowego. Zeszyty naukowe Politechniki Warszawskiej, Zeszyt 84/2012.
- [8] Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów Id-14, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
- [9] Kardas-Cinal E., Badania symulacyjne wpływu lokalnego stanu toru na bezpieczeństwo jazdy pojazdu szynowego – analiza statystyczna. Czasopismo techniczne Politechniki Krakowskiej, 7-M/2012.
- [10] Kurowski P., Martowicz A., Uhl T., Lasko G., Analiza wpływu nierówności toru na odpowiedź dynamiczną pojazdu szynowego z zastosowaniem symulacji metodą wielobryłową. Czasopismo Logistyka, nr 4/2010
- [11] Kurowski P., Martowicz A., Uhl T., Lasko G., Analysis of the Rail Roughness Influence on Vehicle Dynamic Behavior by Means of Multibody Simulation, Archives of Transport. Volume 23, Issue 1, July 2011
- [12] Ngigi R., Pislaru, Crinela, Ball, Andrew and Gu, Fengshou, Modern techniques for condition monitoring of railway vehicle dynamics. Journal of Physics: Conference Series, 364/2012
- [13] Norma PN-EN14363:2007, Badania właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu, Badanie właściwości biegowych i próby stacjonarne
- [14] Weston, P F;Ling, C S;Goodman, C J;Roberts, C; Monitoring lateral track irregularity from in-service railway vehicles, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, March 2007